

図2-36 Pacitanの地理図(1:65,000)

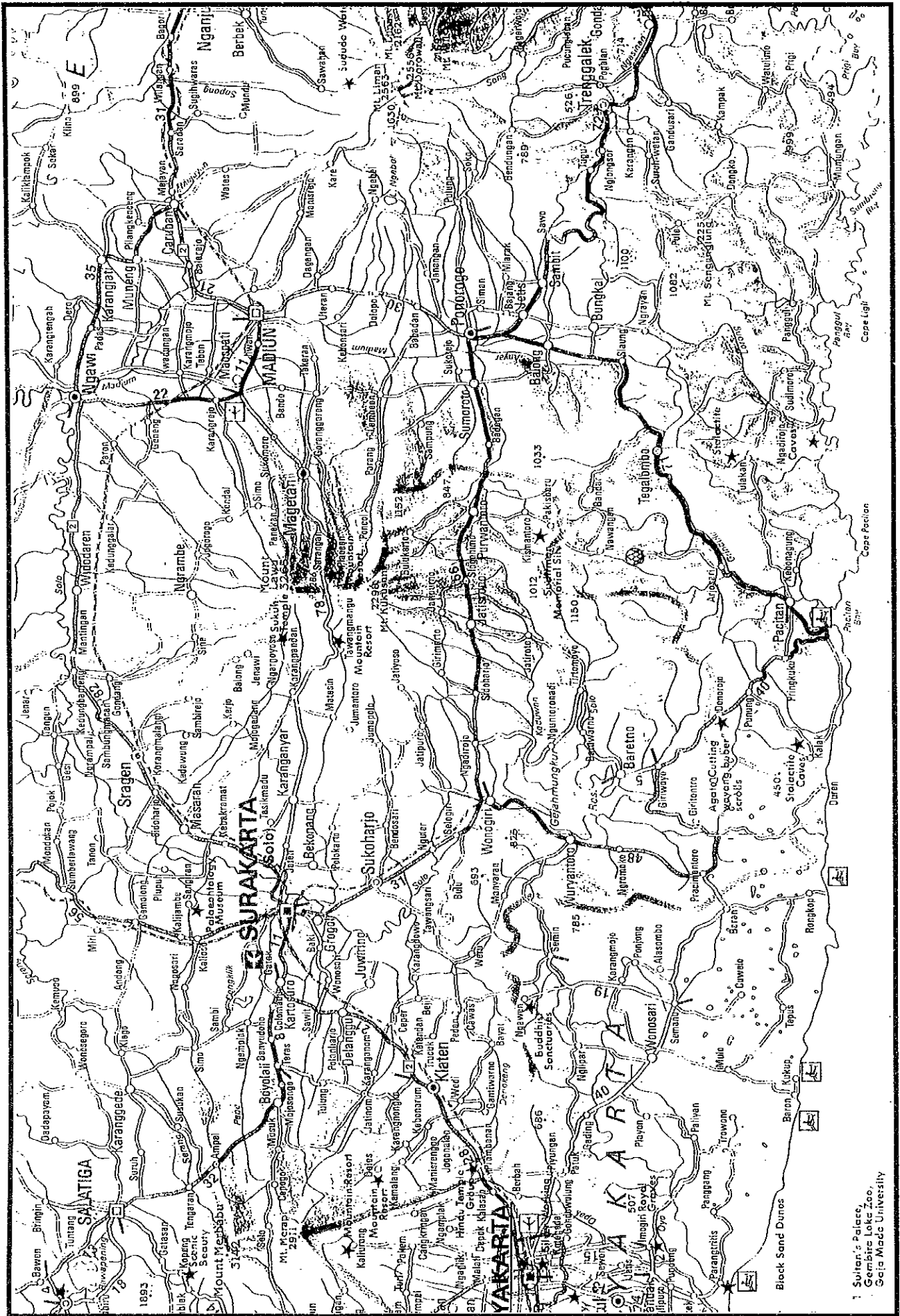


図2-37 Pacitanの地形図(1:25,000)

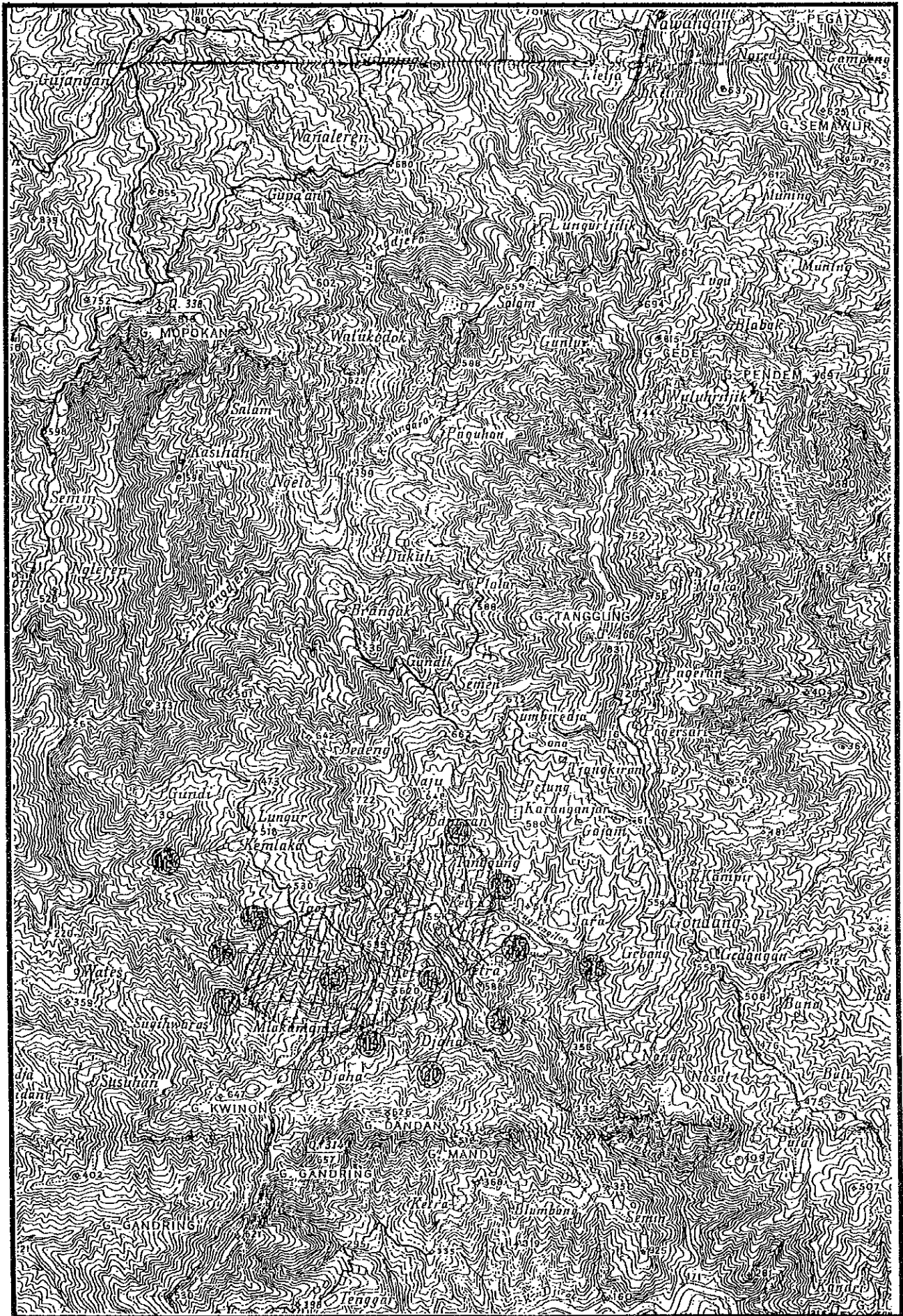


図2-38 Pacianの地形図(1:25,000)

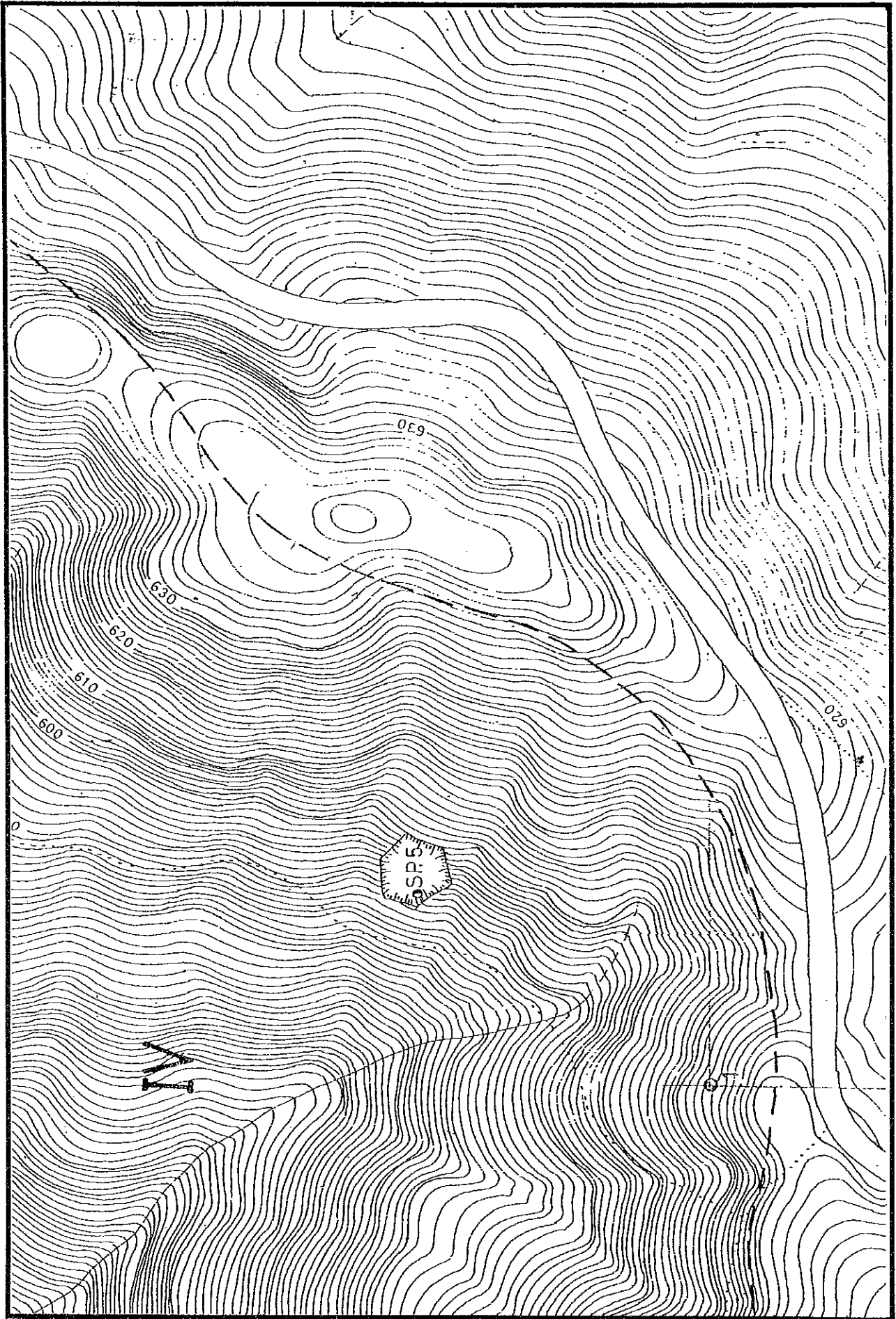






写真2-1 (1) Sukabumi北部採鉱地



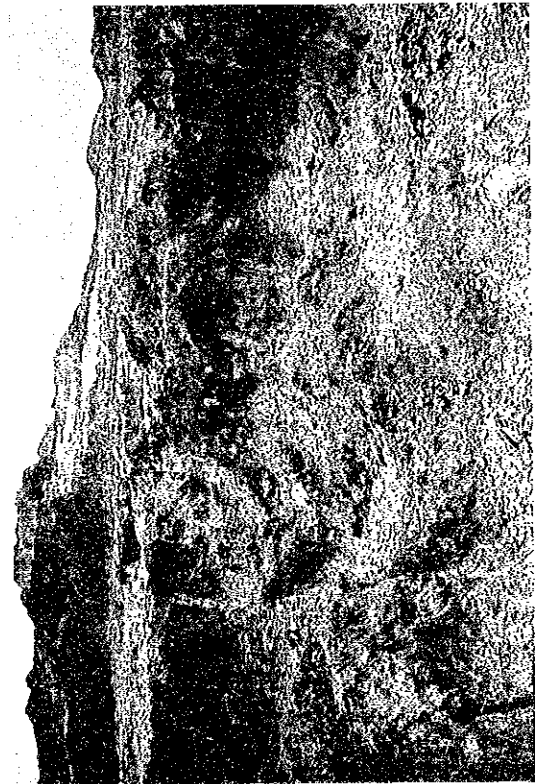
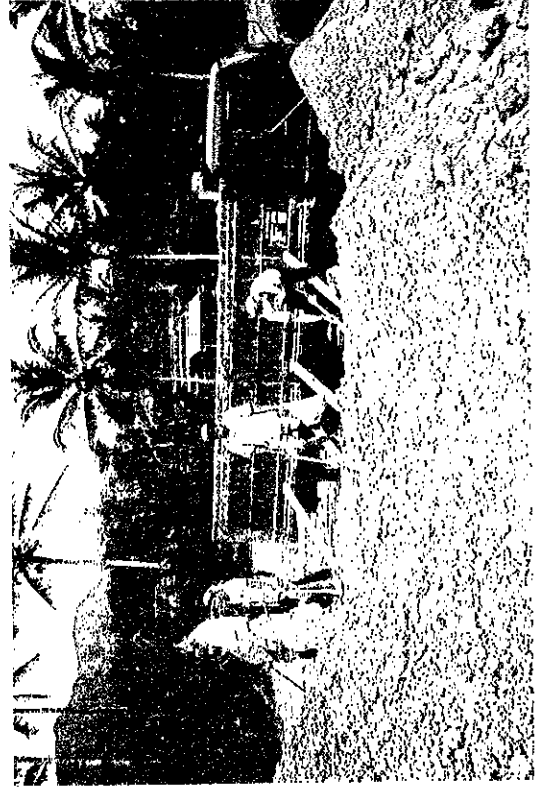


写真2-1 (2) Sukabumi南部採鉱地

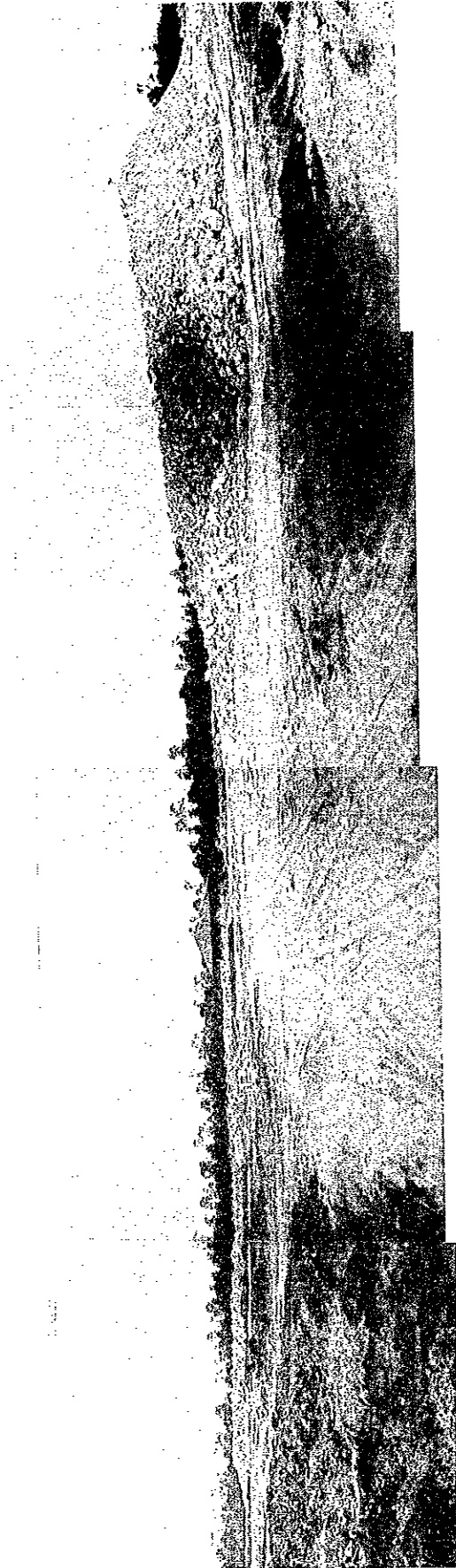


写真2-2 Monterado (Capkala Mandor) 探鉱地

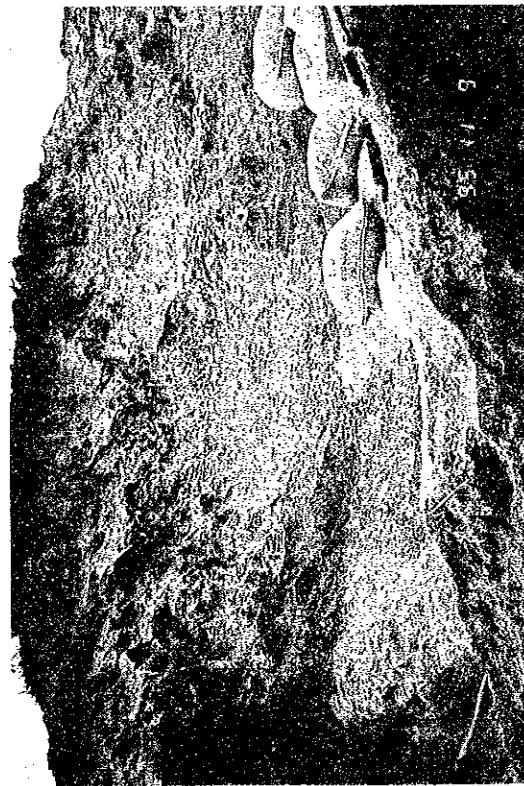


写真2-3 (1) Banjarnegara採鉱地 (Kalitengah、Kebon Dalem)



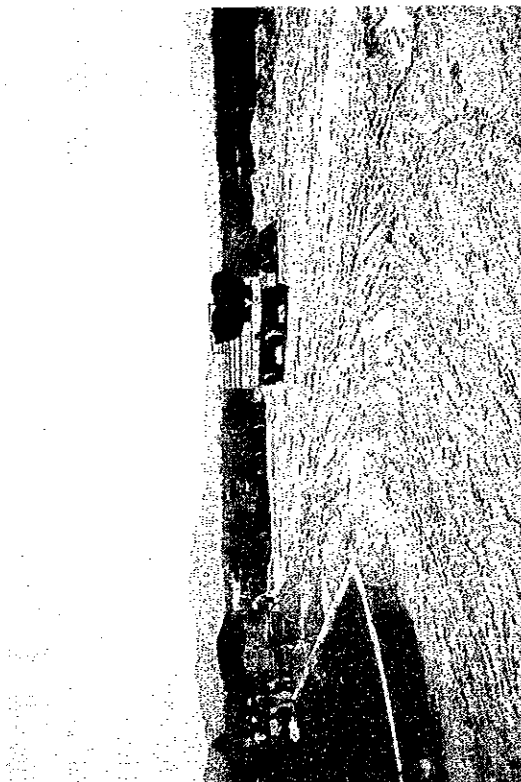


写真2-3 (2) Banjarnegara採鉱地 (Kebutuh Jurang、Stock yard)



写真2-4 Lampung、Kalimati 鉈山



写真2-5 Lampung、Trengealok 鉦山

### 3 原料評価の方法と評価結果

#### 3.1 評価方法

##### 3.1.1 焼成呈色試験

###### (1) 目的および試験機関

焼成呈色は原料中に含まれる、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  や  $\text{TiO}_2$  などの不純物に由来する。白色陶磁器用原料としては、焼成呈色試験での白色度の高いものが要求される。

焼成呈色の試験は日本の佐賀県窯業技術センター（SCRL: Saga Ceramics Research Laboratory）およびインドネシアの BBK で実施し、分析の手合わせを行った。

###### (2) SCRL における試験

###### 1) 試料

各セラミック原料を磁製乳鉢を用いて 60mesh 以下に粉砕して試験試料とした。

###### 2) テストピースの成形

試料を 50mm  $\Phi$  x 10mm の円板状に 200kg/cm<sup>2</sup> の圧力で成形し 1,250℃ の電気炉による酸化焼成、1,250℃ の電気炉による還元焼成および実際の窯炉による 1,300℃ での還元焼成の 3 つのテストピースを 1 試料につき作成した。

###### 3) 試験方法

JIS Z 8722 に基づき、色差計により測定した。光学条件は 0-45 S20 W20 で測定面積は 6mm  $\Phi$  または 30mm  $\Phi$  である。

###### (3) BBK における試験

###### 1) 試料

各セラミック原料を磁製乳鉢を用いて 60mesh 以下に粉砕して試験試料とした。

###### 2) テストピースの成形

粘土類（含むカオリン）および陶石は粉末のまま、長石類は 1% CMC 溶液を 3~5wt.% 添加して成形用試料とした。

金型に成形用試料 10g を挿入し 200kg/cm<sup>2</sup> の圧力で直径 30mm  $\Phi$  x 高さ 13~18mm の円

板状に成形してテストピースとした。テストピースは、1 試料につき 2 個成形した。

テストピースは乾燥しないで室温に 12 時間以上保持して焼成呈色用テストピースとした。

### 3) テストピースの焼成

テストピースの焼成は電気炉とガス炉で実施した。

### 4) 電気炉

昇温速度は約 6 時間をかけて 1,000℃または 1,250℃に昇温し、1 時間保持後、炉内で放冷した。焼成雰囲気は酸化雰囲気に近いと判断される。

### 5) ガス炉

昇温速度は約 3～4 時間で 1,250℃に昇温し、1 時間保持後炉内で放冷した。焼成雰囲気は不明である。

なお、いずれの焼成炉も昇温速度を厳密にコントロールすることは設備上できなかった。

### 6) 焼成呈色の観察

焼成呈色は目視により行なった。なお、色の識別の概要は次のとおりとした。

- a) White
- b) Cream
- c) Light Orange ～ Orange ～ Heavy Orange
- d) Light Beige ～ Beige ～ Heavy Beige
- e) Light Gray ～ Gray ～ Dark Gray
- f) Light Brown ～ Brown ～ Dark Brown
- g) Reddish Brown
- h) Light Red ～ Red ～ Dark Red
- i) Black

(注) 同じ色では ( ) に数字をつけて数字の大きなものほど濃い色とした。更に、東京電色技術センターの色差計 (ERP-80WX) でも白色度 (L 値) を測定した。



### 3.1.2 X線回折による鉱物組成の分析

#### (1) 目的および分析機関

原料の鉱物組成は生成原因、不純物の存在、可塑性、焼成性状と深い関係があり、製品を製造する場合の各プロセスに大きな影響をおよぼす。

X線回折による鉱物組成の分析は日本の佐賀県窯業技術センターおよびインドネシアのBBKで実施し、分析の手合わせを行った。

#### (2) 試料

各セラミック原料10gをメノウの乳鉢で指頭に感じない程度に微粉碎したものを使用した。

#### (3) 測定条件

##### 1) SCRLにおける試験

測定方法: 連続スキャン法

スキャン速度: 2.0deg/min

電圧: 40KV

電流: 20mA

フィルター: Ni

ターゲット: Cu

サンプリング: 0.01deg

なお、測定機器はコンピュータ付きのマックサイエンス社のMXP-IIIである。

##### 2) BBKにおける試験

Diffractometer type: PW3710 Based

tube anode: Cu

Generator tension (KV): 40

Generator current (mA): 35

Wavelength  $\alpha$  1( $\text{\AA}$ ): 1.54060

Wavelength  $\alpha$  2( $\text{\AA}$ ): 1.54439

Intensity ratio ( $\alpha$  2/ $\alpha$  1): 0.500

Divergence Slit: 1°

Receiving Slit: 0.3

Start angle [ $2\theta$ ]: 5

End angle [ $^{\circ} 2 \theta$ ]: 70  
Step size [ $^{\circ} 2 \theta$ ]: 0.020  
Time per step [s]: 0.500  
Type of scan: Continuous

#### (4) 測定結果の解析

##### 1) SCRLにおける試験

コンピュータのソフトには ICDD の Mineral Powder Diffraction File のデータがインプットされており、自動的に Pattern Search および Match Report を作成する。しかしながら、その Report は多数の鉱物の存在の可能性を示すので最終的には測定者の熟練度で決定する。

##### 2) BBKにおける試験

測定された多数のピークの位置 ( $2 \theta$  または d-value) と ASTM card に記載された各鉱物のピークの位置 (d-value) とを  $I/I_0$  (ピークの高さの比) の大きなものから順に 5 つのピークを比較対照して存在鉱物の種類を同定した。

なお、検討した鉱物は次のとおりである。

##### (長石類)

Orthoclase	(正長石)
Microcline	(微斜長石)
Albite	(曹長石)
Sanidine	(玻璃長石)
Plagioclase	(斜長石)
Anorthite	(灰長石)

##### (粘土類)

Kaolinite	(カオリナイト)
Halloysite	(ハロイサイト)
Montmorillonite	(モンモリロナイト)

##### (雲母類)

Sericite	(絹雲母)
Muscovite	(白雲母)

Biotite (黒雲母)

(SiO<sub>2</sub>類)

Quartz, Cristobalite, Tridymite

(陶石類)

Pyrophyllite

Sericite

### 3.1.3 灼熱減量測定

#### (1) 目的および測定機関

灼熱減量の値は、粘土中の粘土鉱物の存在量、可塑性、不純物の含有量などの目安となり、簡単に測定できることから、山元での品質管理の項目としても利用できる。粘土の灼熱減量は、その鉱物の理論量に近い方が好ましく、長石では少ない方が好ましい。

灼熱減量の測定は日本の SCRL およびインドネシアの BBK の双方で行い、測定の手合わせを行った。

#### (2) 分析用試料

分析用試料は鉱物組成分析に使用した試料と同一のものを使用した。

#### (3) 分析方法

##### 1) SCRL における試験

白金ルツボに試料を精秤し 1,050℃の電気炉の中で 1 時間保持した後、再精秤してその重量減を百分率で算出した。

##### 2) BBK における試験

磁製ルツボに試料を精秤し、電気炉に入れ約 2 時間で 1,000℃に昇温し、1 時間保持し、炉内で自然冷却した後、再精秤してその重量減を百分率で算出した。

### 3.1.4 化学組成分析

#### (1) 目的および分析機関

原料の化学組成は、それを構成する鉱物により決定するもので、その化学組成から離れる

ほど、不純物が多く含まれていることを示している。粘土の化学組成は、 $\text{SiO}_2$  と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  と Ig. loss ( $\text{H}_2\text{O}$ ) であり、その他の成分は不純物である。また、長石の化学組成は  $\text{SiO}_2$  と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  とアルカリ ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) であり、その他の成分は不純物である。長石はアルカリ量が多く、鉄分が少ないほど高級な長石である。

化学組成分析は日本の佐賀県窯業技術センターおよびインドネシアの BBK で実施し分析の手合わせを行った。

## (2) 分析用試料

分析用試料は鉍物組成分析に使用した試料と同一のものを使用した。

## (3) 分析方法

### 1) SCRL における試験

分析用の試片はガラスビート法により作成し、コンピュータにインプットされている検量線と比較する蛍光 X 線法で測定した。なお、測定機器は理学電機のシステム 3070 である。

### 2) BBK における試験

分析用の試片は粉末法により作成し、各元素の固有の波長の山の高さを標準試料より作成した検量線と比較する蛍光 X 線法で測定した。

## 3.1.5 粘土の粒度分布測定

### (1) 目的および測定機関

粘土の粒度分布は、粘土の可塑性や粘土鉍物の結晶度と密接な関係がある。粘土の粒度が細かいほど可塑性が大きく、結晶度が低くなる。

粘土の粒度の分布の測定は日本の佐賀県窯業技術センターとインドネシアの BBK で実施した。

### (2) 試料

試料は鉍物組成分析に使用した粘土試料と同一のものを使用した。ただし前処理として湿式で 100mesh の篩を通過させた。

### (3) 測定方法

蒸留水に試料と分散剤を添加し超音波で分散させた後測定した。なお、測定装置は日本で

はアイオニクス（株）マイクロスキャン（X線透過式重力沈降法）を、インドネシアでは、（株）堀場製作所のCAPA-300（自然遠心沈降式光透過法）を使用した。

### 3.1.6 粘土の可塑性試験

#### (1) 目的

粘土の可塑性はセラミック製品の製造の成形性、製品品質を左右する重要な要素であり、粘土原料の品質の良し悪しを決定する。一般的には可塑性は高いほど好ましい。

#### (2) 試験の概要

粘土と非可塑性原料である珪砂との混合割合を変えていき水を加えてよく混練する。

それぞれの練土を指で押し練土に指紋が付き指に粘土が付着しない条件の下で棒状に伸ばしてよく伸び、また亀裂ができない最良の可塑性を示す練土の珪砂の混合割合で可塑性を比較する。

すなわち、珪砂の混合割合の数字が大きい程可塑性は大きいと判断する。なお、この可塑性の判断基準を確認するために練土を成形して乾燥後のテストピースの表面を指でこすって脱落する珪砂の量（脱落重量）の大小で再確認する。また、粘土 100g 当たりの +325mesh の残渣の量を測定して可塑性指数である珪砂の混合率割合の数字を補正することもある

#### (3) 試験方法

##### 1) 標準珪砂の作製

- a) 非可塑性原料としてBBKの場合はBelitung産の珪砂を用いる。
- b) 上記珪砂をよく水洗いして異物の泥等を取り除く。
- c) 珪砂に水を混ぜながら60meshと100meshの篩を用いて珪砂の粒度が60~100meshの間にある珪砂を採集する。
- d) 採集した珪砂を乾燥後保管し可塑性試験の標準珪砂として使用する。
- e) 標準珪砂は一度に多量作製し保管することが望ましい。

##### 2) 試験試料の調整

- a) 試験試料の粘土は70℃以下で十分乾燥させる。
- b) 乾燥粘土を60mesh以下の粒度に乳鉢で粉碎する。



### 3) 試験手順

#### a) 珪砂と粘土の混合割合の決定

初めての粘土の場合は、珪砂の混合割合は未知であるので下記の割合を参考にして決定すれば試験回数が少なく済む。

	珪砂 (%)	粘土 (%)
ボールクレー	76	24
粘土	72	28
カオリン	68	32

なお、一回の混合量は珪砂と粘土の合計で 50g 程度でよい。

- b) 珪砂と粘土を秤量して粉末の状態をよく混合する。次にこの混合物に水を添加してよく混練し練土を作製する。
- c) 練土を指で押し練土に指紋が付き、指に粘土が付着してこない状態まで水を添加して十分混練する。
- d) 練土を棒状に伸ばし、よく伸びまた半円形に曲げても亀裂ができるかどうかを確認する。
- e) 亀裂がなく良好な場合は珪砂の混合割合を増加した練土でまた、少し亀裂ができて悪かった場合は珪砂の混合割合を減少した練土で b)~d) 作業を繰り返す。
- f) 珪砂の混合割合を増減して、これ以上増量したら亀裂が発生して悪くなるまで試験を続行する。また、減量の場合は、これ以上減量したら亀裂の発生がなくなり良好になるまで試験を続行する。
- g) 練土に亀裂の発生しない良好な最高の珪砂の混合割合を決定する。
- h) g) で決定された珪砂の混合割合 (%) の数字の大小で可塑性の順位を評価する。

#### 4) 脱落重量の測定

- a) 3) の試験で決定された混合割合の練土を木杵を利用して 15mm x 10mm x 130mm に指で圧して成形後 105℃で 10 時間以上乾燥する。
- b) 乾燥成形体の 15mm x 130mm の両面をそれぞれ指頭で軽く 10 回/面こすって脱落する粉体（珪砂と粘土混合品）の重量を測定する。
- c) 同一の粘土と珪砂の種々の混合割合の練土について上記の a)~b) の試験をして粉体の脱落重量を測定する。
- d) 粉体の脱落重量と珪砂の混合割合の数字を比較して 3) の試験で決定された珪砂の混合割合の数字が正しいかどうかを確認する。
- e) 脱落した粉体の量がトレース程度であれば正しいと判断する。

f) 3) の試験が正確にできるようになればこの粉体の脱落重量の測定は省略してもよい。

#### 5) 粘土中の異物量の測定

- a) 60mesh に粉碎した試料を 100g 秤量する。
- b) ジューサーミキサーに水 300cc を入れ羽根を回転させながら粘土を少しづつ添加する。
- c) 次に 25%水硝子水溶液を 1cc 程度添加して 3 分間回転させて粘土と水のスラリーを製作する。
- d) スラリーを 325mesh の篩でろ過し、残渣（篩上）を採集して乾燥させて秤量する。
- e) 残渣量が多い場合は完全に粘土分が除去されたかどうか確認する。すなわち、残渣を指でこすり水が濁る場合は、粘土分が残っていると判断されるので再度ミキサーの水の中に入れて攪拌し d) の操作を繰り返して残渣量を補正する。
- f) +325mesh の残渣は粘土中の非可塑性原料と考えられるので 3) の試験で決定された珪砂の混合割合に加味して評価する。

### 3.1.7 粘土の分散性試験

#### (1) 目的

スリップ成形ではスリップ中の粘土の分散性が良好であり、粘性が低く糸曳性があるスリップができることが第一条件である。すなわち、スリップの粘度を適性粘度に調整するために要する水量および分散剤の水硝子の量が少ないほど、粘土の分散性は良好と判断する。粘土の分散性がよいほど良好なスリップができる。

#### (2) 試験用スリップの基本調合

- 1) 粘土: 125g
- 2) 珪砂: 375g (Belitung quartz 325mesh 以下)
- 3) 最初に添加する水量: 210cc
- 4) 最初に添加する水硝子: 1cc (インドネシア製水硝子 25% 水溶液)

なお、インドネシア製水硝子の組成は下記のとおり日本にはない特殊品である。

Na <sub>2</sub> O	39.89%
K <sub>2</sub> O	7.11%
SiO <sub>2</sub>	36.01%
H <sub>2</sub> O	16.99%

### (3) 試験手順

- 1) 水 210cc をミキサーに入れ、次に水硝子 1cc を添加して十分に混合する。
- 2) 攪拌しながら珪砂 375g を徐々に添加する。
- 3) 次に試験粘土 125g を攪拌しながら徐々に添加する。
- 4) スリップができない場合は水硝子を追加する。
- 5) 水硝子を追加してもスリップができない場合は水を加えてスリップを作成する。
- 6) 作成したスリップをマリOTTチューブにて粘性を測定し 60～80sec/100cc になるまで水硝子および水を添加する。
- 7) 粘性 60～80 秒/100cc に要した水硝子および水の量を記録する。

### (4) 判定

適性粘性に要した水硝子および水の量が少ないほど、分散性は良好と判定する。なお、同じ水量の場合は水硝子の量が少ないほど、分散性は良好と判定する。

## 3.1.8 調合試験

### (1) 目的

衛生陶器など大型で複雑な形状のものを鋳込み成形する場合はスリップの粘性と着肉速度(厚み付)が非常に重要であり調製工場では成形工場に送付する直前にこれらのデータが基準値に合っていることを確認して出荷する。

成形工場では着肉速度の結果を確認して製品別にキャスト時間時間を決定して成形作業を行う。

着肉速度は 30 分間で 6～9mm が好ましい。

以上のスリップ性状以外に調合品の乾燥性状や、焼成性状が、目標とする製品、製造の値を満足する必要がある。

### (2) 基本調合の設定

BBK の食器用素地の調合割合を基本に設定し BBK 在庫の原料に -S を付し標準とした。

長石	FLS	30%
粘土	CSS	20%
カオリン	KBS	30%
珪砂	QBS	20%

### (3) 試験原料（採取サンプル）

カオリン	Belitung Kaolin (KB)
粘土	Sukabumi Clay (CS-1)
	Monterado Clay 2 品種 (CM-2, CM-K2)
	Parungpanjang Clay (CP-1)
坏土	Kiara Condong（ロクロ成形用、鑄込み成形用）
	Malang（ロクロ成形用）
	計 8 種類

### (4) 原料の乾燥

試験および標準原料を必要量だけ十分に乾燥した。

### (5) 原料の粉砕

長石・珪砂は 200mesh 以下に乾式粉砕した。粘土は 60mesh 以下に粉砕した。カオリンは微粉のため、そのまま使用した。

### (6) 調合

例えばカオリン KB の試験では上記基本調合のカオリン KBS の代わりに KB を使用し、他の原料は標準原料 FLS、CSS、QBS を使用した調合とした。また粘土 CM-2 の試験の場合は CSS の代わりに CM-2 を使用し、他は標準原料を使用した。調合はそれぞれ 2kg x 3 = 6kg を調合しポットミルにて 3 時間混合粉砕した。粉砕後ポットミル内の 6kg をよく混合して 4kg を秤量し、泥漿作成用にする。残りは濃度粘性調節に失敗したときの補正用として保存した。

### (7) 泥漿作成

- 1) 試料 4kg に対し水 40%を加え水硝子を少量ずつ加えながら強力攪拌機で十分分散させた。
- 2) 泥漿ができた後、100mesh の篩を通し異物・固形物を取り除き小形攪拌機で連続攪拌した。
- 3) 濃度を測定し 342 g ± 1g/200cc に調整後マリOTTチューブで直後の粘性を 40～60 秒/100cc になるように、水硝子を加え調整した。
- 4) 調整後はそのまま室温にて一晩（16 時間以上）寝かす。攪拌したままで寝かすのが望ましい。

5) 翌朝、泥漿をまた小形攪拌機で 1 時間以上攪拌した後、再度下記の範囲に入るよう調整を行なった。

泥漿の濃度 342g ± 1g/200cc

直後の粘性 40～60 秒/100cc

泥漿の温度 23～27℃ (温度調節器がないため室温どおりとなったが泥漿の温度は一定が望ましい)

30 分後の粘性 (測定) 秒/100cc

粘性測定はマリOTTチューブを使用した。

(8) 厚み付きおよび可塑性の判定

1) 三角体に鑄込み、20 分間置いた後排泥し、さらに 20 分間置き脱型した。

2) 脱型成形品のほぼ中央部より、2 片 (A, B) に切断した。A 片の一面を更に 3～4cm 角切り取り、目盛り付きルーペで素地厚を測定する、残り分は含水率を測定した。

3) B 片は可塑性 (保形性、揺変性、細工性) の良否を判定した。

可塑性の判定は次のとおり行った。

a) 成形品の形がしっかり保たれており、少し振動させても形が崩れない。

b) 排泥面が平滑である。

c) 隅に Slip 溜まりがない。

d) ナイフで切断するとき、スムーズに切れまた切断面がきれいで、ささくれなどが無いものを良とした。

(9) 収縮、強度、熱間変形、インク試験等のための試験体の作製

試験体 6 本 (10 x 30 x 300mm) を鑄込み成形した。

そのうち 2 本は乾燥強度測定用とした。

次の 2 本は乾燥収縮→焼成収縮→焼成強度→インク測定用とした。

残りの 2 本は熱間変形量→インク測定用とした。

(10) 試験体による各種試験方法

1) 乾燥収縮

試験体用石膏型に 200mm のマークを入れた試験片を造り乾燥した後マークの寸法を測定した



$$\frac{(200 - \text{実測値}) \times 100}{200} = (\text{乾燥収縮}) \%$$

## 2) 乾燥強度・焼成強度

BBK の強度試験機を使用した (kgf/cm<sup>2</sup>)

## 3) 焼成収縮

乾燥した試験体に 200mm のマークを入れ、焼成後マーク寸法を測定した

$$\frac{(200 - \text{実測値}) \times 100}{200} = (\text{焼成収縮}) \%$$

## 4) 熱間変形量 (ベンディング)

試験体をスパーン 200mm で鋭角のもので支え焼成した後その曲り度合いをダイヤルゲージで測定した (単位 mm)

## 5) 吸水試験 (インク試験)

焼成試験測定試料の破断面を残し他はパラフィンで吸水を止めてエオシン Y 1.0%溶液に 1 時間浸漬した。1 時間後取り出し試験品を破断して下部断面からのインク浸透度を目盛付キルーペで測定した (単位 mm)

## 6) 焼成温度

炭化珪素発熱体の電気炉にて、1,250℃焼成した。

# 3.2 評価結果

## 3.2.1 原料評価

BBK で採集された 14 種類の原料、調査団が採集した 13 種類の原料、合計 27 種類の原料について (表 3-1 参照) 1 次評価として (1) 焼成呈色、(2) 鉱物組成、(3) 粘土の可塑性について評価した。その結果として焼成呈色については表 3-2 および写真 3-1、鉱物組成については表 3-3、可塑性については表 3-4 に示した。

次に 2 次評価としてクロスチェックングのために日本で焼成呈色、X 線回折による鉱物組成の分析を実施した。その結果を焼成呈色については、表 3-5、図 3-1、3-2 に、鉱物組成については表 3-6 に、更に (4) 灼熱減量、(5) 蛍光 X 線法による化学組成の分析、(6) 粘土の粒

度分布、(7) 粘土の分散性の試験を実施し、その結果を灼熱減量については表 3-7、化学組成については同じく表 3-7、図 3-3、粘土の粒度分布については表 3-8、3-13、粘土の分散性については表 3-9 に示した。次に基本調合試験により、各原料別スリップの性状および焼成性状を測定し、表 3-10～12 に示した。

なお、各原料についての評価結果は次のとおりである。

#### (1) Pangaribuan 長石 (FP, FP-2, FP-3)

Pangaribuan 長石は表 3-3 および 3-6 の X 線回折結果に示すように微斜長石を主成分とするペグマタイトの長石であり、石英などの不純物の含有量が少ない。また表 3-2、3-5、図 3-1 および 3-2 に示すように焼成呈色も最も高い白色度を示し良好である。高級磁器原料として使用できる可能性がある。石英が少ないためこの種の長石としては粉碎も比較的容易である。

但し、評価した原料サンプルは BBK で事前に採集されたものであり、この種の良質の長石は大部分すでに採掘済みである。現在残存しているものは長石と珪砂や風化して生成したカオリンなどの混合した長石分の少ない、いわゆるカントリーロック (FP-2, FP-3) と呼ばれる原料である。これについて分析した結果は表 3-7 に示すようにアルカリ含有量は約 6%、鉄分の含有量は 2% であるので、タイル用原料としてであれば使用可能と判断される。

#### (2) Banjarnegara 長石 (FB-1, FB-2, FB-3, FB-4, FB-5, FB-6)

Banjarnegara 長石は火山性の比較的長石の多い流紋岩で (Rhyolite) で、表 3-3 および表 3-6 に示すように主成分の曹長石と微斜長石に石英が混入している。産地は広い範囲に分布しているが鉱物組成としては、ほぼ同様であり場所により白雲母を含有している。

焼成呈色は、表 3-2、3-5 および写真 3-1 に示すように 6 つの原料いずれもベージュ色から薄い褐色を呈しており鉄分に起因する濃い褐色の斑点が存在する（この斑点は試験試料を微粉碎すれば均一な呈色を示すものと判断される）。表 3-5、図 3-1 および 3-2 のデータから Banjarnegara 長石は、FP、FN-1、FL-2 などの他の長石に比べて焼成呈色は悪いが、図 3-1 (L/a) および図 3-2 (L/b) において全てのサンプルの色差値が狭い範囲に分布している。これは 3 鉱山の製品の品質は均一であり、3 鉱山は広く広がった同一鉱脈上にあるものと判断される。

アルカリ量 ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) は FB-5 を除いて 8.06～8.66% の間にありほぼ均一で、これは FN-1、FN-2 より高く FP、FJ より低い。

鉄分の含有量が高く、アルカリ量は中程度であるが、鉱量は十分であり均一性を有することから、床タイル用主原料として使用可能であり、また壁タイル、衛生陶器、食器などの陶磁器用にも補助原料の一つとして使用可能である。

### (3) Lampung 長石 (FL-1, FL-2, FL-3, FL-4, FL-5)

Lampung 長石は花崗岩に由来する長石と判断される。FL-1 は表 3-1 に示すように外観上非常に硬い原料や軟らかい原料が混在し、そして色も様々であり、表 3-3 および表 3-6 に示すように曹長石と微斜長石に石英やクリストバライトも混在するなど複雑な構成を示す長石原料である。アルカリ成分が多く、写真 3-1 に示すように 1,250℃では溶融した。しかも溶融したテストピースは黒色を呈し鉄分など有色成分の含有量も多い。

FL-2 は FL-1 と比較して割合均一なものであり、表 3-3 および表 3-6 に示すように主成分の曹長石と微斜長石に石英およびマイカを含有した長石であり焼成呈色は黒い斑点があり、灰色を呈した。

これらの試験結果から判断すると現状ではタイル用の原料程度しか使用できないと判断される。実際の使用に際しては非常に硬い原料の混入が問題となる。第 3 次の現地調査時に採集した FL-1 や FL-2 とは別の鉱山 (Kp Kalimati 鉱山) から採集した FL-3、FL-4、FL-5 については花崗岩が風化して生成した珪石と長石の混在物であり、FL-3 が一番風化の程度が大きく、次に FL-4 となり FL-5 は Fresh Rock (石) であった。FL-3 と FL-4 の等量混合物を化学分析した結果、表 3-7 に示すように、アルカリ量 ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) は 7%程度であるから多量の珪石が混在した低級の長石と判断される。したがってアルカリ含有量は少ないが鉄分も 0.35%と比較的少ないので長石の補助原料の一つとして使用が考えられる。

### (4) Narawita 長石 (FN-1, FN-2, FN-3/QN)

Narawita 長石は火山性の凝灰岩に由来する長石で、表 3-3 および表 3-6 に示すように正長石の高温型であるサニディンにトリジマイトやクリストバライト等が混在している。

FN-1 は白っぽい軟らかな石で粘土鉱物も存在していると思われ、焼成呈色や表 3-7 から分かるように鉄分の含有量は少ない。予備試験から酸処理等の脱鉄処理を実施すれば白色陶磁器の原料として有望である。

FN-2 の構成鉱物は FN-1 と大同小異であるが焼成呈色や化学分析の結果からは FN-1 に比較して鉄分がやや多い。更に FN-1 および FN-2 は同一採掘場から採取されたサンプルであるにもかかわらず、焼成呈色は大きく異なり (図 3-1 および 3-2 参照)、顧客の品質要求を満足させるためには採掘場での厳密な品質管理が必要である。

いずれにしても白色の陶磁器原料としては脱鉄処理などの精製処理が必要であり、その可能性を秘めた原料と判断される。鉱量も期待できる。

なお、FN-3/QN は表 3-3 に示すように長石の含有量が少なく珪砂分が多い原料であり、適当に焼結性を有した珪石原料としての利用価値があるものと判断される。

#### (5) Jebara 長石 (FJ)

Jebara 長石は表 3-3 の X 線回折の結果から主成分はサニディンであり、珪石分の含有量は少ないと判断される。また表 3-2 および写真 3-1 に示すように 1,250℃焼成の焼成呈色試験結果はテストピースは熔融しており鉄分も多いと判断される。現状では白色の陶磁器原料としては適当でなく、タイル等の有望な焼結原料と判断される。

#### (6) Parungpanjang 粘土 (CP-1, CP-2, CP-3, CP-4)

Parungpanjang 粘土は表 3-4 に示すように可塑性の大きい粘土で、主成分は表 3-3 に示すようにハロサイトで石英やクリストバライトが混在している。可塑性が大きい理由の一つにはモンモリロナイトを含有しているためと判断される。

焼成呈色試験結果から CP-1～CP-2～CP-3 と鉄分が多くなる。特に CP-2、CP-3 および CP-4 の鉄分は高い（表 3-5 参照）。CP-1 の焼成呈色はそれらのサンプルの中では良い方であるが（図 3-1、3-2 参照）、採掘場での厳密な品質管理が行われなければ、CP-2、CP-3 および CP-4 など他の品種による汚染を受ける可能性がある。

構成鉱物は大同小異と判断される。

CP-4 は珪石分の多い原料であり鉄分の含有量も多いのでタイルや瓦などの原料として適当と判断される。

なお、Parungpanjang 粘土は可塑性が大き過ぎるためスリップ用原料としては、その配合量に限界があるがプレス成形や可塑成形には適していると判断される。

#### (7) Monterado 粘土 (CM, CM-2, CM-K1, CM-K2, CM-K3)

Monterado 粘土については BBK で水簸された少量のサンプル (CM)、PT Sumberaya Kendimasindo で使用中のサンプル (CM-2) および第 4 次現地調査で採集した 3 種類のサンプル (CM-K1, CM-K2, CM-K3) について評価試験を実施した。X 線回折結果からは、いずれも主成分はカオリナイトで不純物として石英やギブサイトを含有している。特に CM-K1～CM-K3 の差異は+325mesh 残渣 (石英) の量が大きく異なる。即ち残渣量は CM-K1 が 3.3%、CM-K2 が 1.6%で残渣量が非常に少なく、CM-2 と大差ないが、CM-K3 は 51.7%と多量の粗粒石英を含む。化学分析の結果から表 3-7 に示すように鉄分の含有量はいずれも 1.3%以下でありボールクレイとしては普通である。+325mesh 残渣の多い CM-K3 はカオリナイトの含有量が小さく可塑性が小さいのでボールクレイとして使用する場合には水簸する必要がある。なお、いずれの粘土についてもいえることであるが、TiO<sub>2</sub>や K<sub>2</sub>O の含有量が比較的大きいこと

は注目に値する。焼成呈色試験結果からは、いずれの粘土も、L 値は 85 以上の値であり特に問題はない。

可塑性、分散性は CM、CM-2、CM-K1、CM-K2 については良好であるが+325mesh 残渣の多い CM-K3 は、その分だけ可塑性は小さい。+325mesh 残渣を水篩で除去した粘土の粒度は、いずれも大同小異であり、D (MEDIAN) は表 3-13 で示すように 1 ミクロン以下である。

以上の結果により水篩すれば、CM-3 はボールクレーとして使用可能である。

#### (8) Sukabumi 粘土 (CS-1, CS-2, CS-3)

Sukabumi 粘土は表 3-3 に示すようにカオリナイトを主成分とし、絹雲母などの雲母鉱物および石英を含んでいる粘土であり、表 3-4 に示すように可塑性はあまり大きくない。

焼成呈色の試験や化学分析の結果、鉄分の含有量が非常に高く、このままでは白色系の陶磁器原料としては問題がある。安価なタイルや瓦の可塑性原料として適していると判断される。

CS-2 は表 3-4 に示すように CS-1 よりも石英の含有量が高く従って可塑性が小さく鉄分も多い。

CS-3 は CS-1 や CS-2 と比較して鉄分が低い石英の含有量が高く、粘土としてよりも珪砂としての利用が適していると判断される。

#### (9) Cipeundeuy 粘土 (CC)

Cipeundeuy 粘土は表 3-3 に示すようにカオリナイトを主成分としクリストバライトや絹雲母を含んでいる粘土であり、1,250℃焼成呈色試験ではクリーム色を呈し一見、鉄分が少ない様に見受けられた。しかしながら耐火度が高く焼結不足のため発色が薄いだけで予備試験でインド長石を配合して焼き締まりを増加させた焼成呈色試験では灰色を呈し、有色不純物の含有量が低いわけではないと判断される。

表 3-4 に示すように可塑性が小さかったのは珪砂の含有量が多いことが主因であるが、可塑性の試験時の試料の含有水分が多かったことも影響している。

いずれにしても Cipeundeuy 粘土は耐火性に優れているのでシャモット化して陶磁器焼成時の窯道具れんがの原料として適していると判断される。

#### (10) Belitung カオリン (KB)

Belitung カオリンは表 3-3 に示すようにカオリナイトを主成分とする水篩カオリンであり、表 3-4 に示すようにカオリンとしての可塑性もあり、表 3-2 に示すように焼成呈色の面だけでは高級陶磁器原料として十分使用できる品質を有している。



しかし鉱物組成としてギブサイトを含むので、鋳込み成形試験など今後詳細に高級陶磁器原料としての試験をする必要がある。

#### (11) Pacitan 蛭石/陶石 (TP-1, TP-2, TP-3, TP-4)

TP-1 と TP-2 は表 3-3 に示すようにピロフィライト、少量の絹雲母、石英を含む蛭石であり TP-3 と TP-4 は絹雲母系の陶石と判断される。焼成呈色試験ではこれらは焼結不足で十分な発色が出なかったのでインド長石を配合して十分焼結させて発色させた所、薄い灰色であった。この結果から鉄分の含有量はいずれも少ないと判断される。表 3-7 に示す化学分析結果からも鉄分の含有量は非常に少ないことが確認された。

蛭石はアルカリ含有量が少ないため焼成収縮率が小さく、また水和膨張も小さい。この特徴を利用して膨張収縮調整材として、タイルなどの原料に十分使用できるものと判断される。

また、陶石は衛生陶器やテーブルウエアーなどの陶磁器原料の一原料として使用可能と判断される。

### 3.2.2 調合試験による原料評価

原料評価のために調合した原料は KB、CS-1、CM-2、CP-1、CS-1W、CM-K2、CS-1 と CP-1 の混合品、CM-2 の増量品の 8 種類で基本調合を含めて 9 種類の調合で評価した。また、インドネシアの代表的なノベルティ生産用坯土 3 種類 (Kiara Condong 2 種類、Malang 1 種類) の評価も行った。スリップの性状試験結果および乾燥成形体の評価結果を表 3-10 に示す。また乾燥成形体を電気炉で 1,250℃ に焼成して得られた評価結果も表 3-10 に示す。得られた結果をまとめると次のとおりである。

#### (1) 原料別スリップ性状

- 1) CM-2 と CM-K2 の着肉性可塑性とも良好で成形性は試験した調合の中で最良であった。
- 2) CM-2 と CM-K2 は同一の品種と推定される。これらは他のインドネシア産の粘土原料と異なって、分散剤の水硝子の消費量が少なくても良好な分散状態が得られる性質がある。
- 3) CS-1 は CSS より着肉性および可塑性が劣る。
- 4) CP-1 は可塑性は良好であるがモンモリロナイトを含有するために正常なスリップができない。これはモンモリロナイトが三層構造で、層間に水を吸着し膨張するためである。
- 5) CS-1W は CS-1 をウォーターサイクロンで精製した粘土であるが、CS-1 より可塑性は向上しているが着肉性が劣る。

- 6) CS-1 と CP-1 の混合品は 3 : 1 の割合で混合した粘土であるが正常なスリップができて可塑性も向上しているが依然として着肉性が劣る。
- 7) CS-1 に対して CP-1 の適正混合量を検討したり CS-1 を CS-1W に変更することにより可塑性向上の可能性がある。この調合は着肉性は劣るが可塑性の面から判断すれば食器素地、ノベルティ素地などに使用できる。
- 8) KB は基本調合の KBS と着肉性、可塑性はほぼ同一である。
- 9) 以上のスリップ性状の試験結果は基本調合のスリップの基準が全くないため止むなく一応の目安を立て一定の条件のもとで比較試験を行なったものである。従って適正条件のスリップを作成すれば着肉性や可塑性はより向上すると判断する。
- 10) BBK で基本配合についての焼成条件を含めて各種試験を行い適正基準を確立することを希望する。
- 11) 調合スリップの作製には時間的制約もあって、ブランジャ調整方法（各原料を個別に粉砕し、調合時に混合する方法）を採用したが、ポットミルで調合粉砕して、スリップを調整する方が最良である。
- 12) 成形試験方法および粘性や着肉性などのスリップ性状の判断基準は製造する製品に合致した方法と基準値を決めるべきものであり、絶対的なものでない。

## (2) 原料別焼成性状

- 1) KB は KBS に比較して焼結性がやや悪く、しかもベンディングが大きい。
- 2) CS-1 は CSS に比較して焼結性が非常に良い。しかし、ベンディングはほとんど差がなかった。
- 3) CS-1W は CSS に比較して焼結性は非常に良く、その上ベンディングと焼成収縮は小さい。CS-1、CS-1W に共通することは焼結性が非常に良い上にベンディングが小さく良い特質が見受けられる。
- 4) CP-1 は CSS に比較して焼結性もよく、その上焼成収縮が少なく、ベンディングも小さい。
- 5) CM-2 および CM-K2 は CSS に比較して焼結性が悪く、焼成収縮およびベンディングが小さい。CM-2、CM-K2 の焼成性状はほとんど変わらない。

## (3) 焼成試験結果の考察

試験素地の化学組成を、単味原料の分析値から計算した結果を表 3-11 に示した。同一条件で焼成する場合、焼成品の焼き締まり（インク）は一般的に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が少なく、従って  $\text{SiO}_2$  が多く、特に全アルカリ（ $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ）が多いほど良くなる。今回の調合素地では表 3-12 に示

すように、No.1、No.2、No.3 はほぼ同じ化学組成値を示しており、最も焼き締まりの良いグループになっている。次に No.5、No.9、次に No.10 となり、No.4、No.7 が最も焼き締まり難い素地と推定される。

実際のインク試験結果と全アルカリ ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) の関係を表 3-12、fig.1 に示す。fig.1 で見られるようにインクとアルカリ量は No.1、No.2 を除くとよい相関を示している。No.1、No.2 は何か異常があったものと考えられる。CSS の異常については更に検討する必要がある。

次に焼成試験結果のインクと収縮、インクとベンディングの関係を表 3-12、fig.2 および fig.3 に示した。fig.2 で見られるように、No.1、No.2 および No.10 を除くとよい相関を示している。No.1、No.2 はインクのわりにベンディングが大きく好ましくない方に外れており、収縮のわりにインクも大きくなっている。逆に No.10 はインクのわりにベンディング、収縮が少なく、好ましい方にずれている。No.1、No.2 は No.3 に比べ泥漿の粒度が粗く、乾燥強度も小さい。No.1、2、3 は原料の化学組成からみてもほぼ同じ性状を示すべきであり、CSS 原料に何か異常があったものと考えられる。No.10 は No.4 の KBS の半量を CM2 で置き替えたもので、他の No.1~7、9 の基本調合系とは違い、カオリンが少なく、粘土が多くなっている。No.10 は鑄込み体の水分が 18%と少なく、しかも乾燥収縮が 3.75%と大きい。このことは乾燥素地の充填率が他の素地に比べ大きいことを示している。そのため焼成収縮、ベンディングがインクのわりに小さい結果になっていると考えられる。基本調合のカオリン原料の一部を、粒度の細かい粘土に置き替えることにより、インクのわりに収縮、ベンディングの小さい素地に変える可能性を示している。しかし、その分、微粒子が多くなり、着肉速度は小さくなる。今回の調合素地は焼成体のインク（吸水率）が広範囲にばらついているため、はっきりしたことはいえないが、CS-1、CM-2、CP-1、CS-1W、CM-K2 間には焼成性状に特異性は見られない。従って、実際の調合に使用する場合には、それぞれの化学組成の違いを調整する必要はあるが、焼成性状から見るかぎりでは、これら 5 種の原料は相互に代替は可能と考えられる。

### 3.3 手合せ試験結果

日本での試験は佐賀県窯業技術センターで、インドネシアでは BBK で実施されたものである。

#### (1) 手合せ原料

手合せ原料として長石から 1) FP, 2) FB-1, 3) FN-1, の 3 種類、陶石として 4) TP-4 の 1 種類、粘土として 5) CP-1, 6) CS-2, 7) CC, 8) KB 合計 8 種類の原料を選び日本とインドネシアの双方で同じ原料を試験してインドネシアの試験結果と日本の試験結果を比較検討した。

## (2) 試験項目

- 1) X線回折
- 2) 灼熱減量
- 3) 蛍光 X線法による化学分析
- 4) 焼成呈色

## (3) 手合せ試験結果

手合せ試験結果に影響を与える要因として

- a) 試料の調整法の差異
- b) 試験方法の差異
- c) 試験装置の差異
- d) 試験評価する人の差異(人の熟練度)

などがある。これらの要因と手合せ試験結果について述べると次のとおりである。

### 1) X線回折

日本およびインドネシアで測定された X線回折の試験結果を表 3-6 に示す。

X線回折の試験では a) の試料の調整法の差異としては試料の乾燥方法の差異がある。乾燥温度の相異が粘土鉱物の同定に影響したものと判断される。

b) の試験方法の差異としては日本とインドネシアでは大きな差異はない。

c) の試験装置の差異としてはインドネシアでは旧式の人力による機器であり、スキャンニング速度は早くノイズがカットされていないので同定に時間がかかり、しかも誤認しやすい傾向があった。

一方、日本の場合は最新の機器であり、同定もコンピュータが判断するので個人誤差は少ない。しかしながら、標準試料やコンピュータにインプットされているデータの差異によって解析結果に差が生じる。

d) の人の熟練度による差異としては、日本ではかなり経験がある人が試験しているが微量の存在鉱物の同定や粘土鉱物の同定では若干問題がある。例えば CC 粘土の同定において絹雲母を白雲母と同定しているが、もともと絹雲母と白雲母を X線回折のみで同定することは困難であり、顕微鏡観察や物性(粘性)評価など他の評価方法と合わせて総合的に判断する必要がある。評価対象物質についての測定者の知識と目的意識の有無により生じた差異と判断する。

一方、インドネシアの同定は BBK の人の同定ではなく、調査団の同定であるので完全な手合せとはいええない。しかしながら BBK のスタッフも相当の経験があるように見受けられた。全体的には試験装置に若干問題はあがあるが同定能力は十分と判断される。

## 2) 灼熱減量 (図 3-3 (1) )

日本およびインドネシアで測定された灼熱減量の測定結果を表 3-7 に示す。

a) の試料の調整法の差異については X 線回折と同じかまたはそれ以上に測定結果に影響している。全体的な傾向として日本での測定結果はインドネシアのそれより平均して約 0.5%程度小さい。これは日本での前処理としての試料の乾燥が苛酷であったかまたはインドネシアでの乾燥が不完全であったか、などの理由が考えられる。

b) の試験方法の差異としては日本での焼成温度がインドネシアのそれより 50℃高い点や試料の量の差異などが相互の結果の差異となって表れたと判断される。

c) の試験装置の差異は装置そのものが簡単なものであるからほとんど差異に影響を与えなかったと判断される。

d) の人の差異はインドネシアの測定は調査団での結果であるから問題はない。

以上、全体的に考察すると灼熱減量の測定は相互に問題はなく、試料の前処理と試験方法を同一にすることにより差異はないと判断する。

## 3) 蛍光 X 線法による化学分析 (図 3-3 (2)~(9) )

日本およびインドネシアで測定された化学成分の測定結果を表 3-7 に示す。

a) の試料の調整法はインドネシアでは粉末法でテストピースを作成するため日本のガラスビート法よりバラツキが大きい。これは粉末法では粉末の粒度や灼熱減量も含めたデータでありそれらの影響が表れるためである。

b) の試験方法の差異はインドネシアの方法は人力による所が多く人的誤差が生じやすいが、日本の場合はコンピュータ付きの完全に自動化されたものであるので日本の方は特に問題はないと判断される。

c) の試験装置の差異は b) の試験方法の差異と同様であるが試験装置に内蔵されている標準試料による検量線が正確であるか否かが相互の差異となっていると判断される。

d) の人の問題は X 線回折と同様であり特に問題はない。具体的に各成分ごとに検討すると SiO<sub>2</sub> については日本とインドネシアではどちらが常に大きいといった傾向は認められない。従ってインドネシアでの測定結果は信頼に値すると判断される。

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> については Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の含有量が低い範囲 (25%以下) ではインドネシアの方が大きい値であり Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の含有量が高い範囲では日本の方が大きい傾向がある。

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> については含有量が 1%以下の範囲では相互の値は比較的よく一致しているが高い範囲では日本の方が大きくなっている。とくに粘土の CS-2 の差異は非常に大きい。これはどちらが正しいが再試験が必要と判断する。

TiO<sub>2</sub> については 0.5%以下の微量の含有量の場合は相互の試験値にバラツキがあり、一定の傾向は認められないが 0.5%以上の範囲では相互の値には比較的によく一致している。

Na<sub>2</sub>O については一般的にいて微量の含有量の場合はインドネシアの方が大きい値を示し含有量の高い範囲では日本の方が大きい値を示している。

K<sub>2</sub>O についてはすべての含有量の範囲については比較的によく一致している。

全体的に各原料のインドネシアでの測定結果で粘土の CS-2 はその合計が 100%よりかなり低く、また粘土の CC の合計量は 100%を大きくオーバーしている点などを考慮すると、インドネシアでの化学成分の測定結果は目安として概略の値を求める場合はよい。しかしながら、原料の精製の効果など、小さな差異を論じる場合には不適當であると判断する。分析の精度や迅速性の点から、最新の蛍光 X 線分析装置の設置が好ましい。

#### 4) 焼成呈色

収集した各種原料サンプルを BBK の旧式ガス炉で焼成し、BBK の新式色差計（東京電色技術センター製、ERP-80WX）で測定した色調と、同サンプルを日本の佐賀県窯業技術センターで焼成し、測定した色調のデータを比較した結果を、表 3-5、および図 3-4 (1) から (3) に示す。BBK と日本の色調のデータ間で L 値では強い相関が認められるが a 値や b 値には相関は認められなかった。

一方日本で焼成し日本で色調測定したテストピースについて、BBK の色差計で色調測定した結果は、表 3-14 および図 3-5 (1) から (9) に示すとおり、L、a、b のいずれの値も相方の色差計で得られたデータの間強い相関が認められた。

以上の結果から次のようなことがいえる。

- a) BBK の色差計と日本の佐賀県窯業技術センターの色差計により得られるデータの違いに差はない。
- b) BBK の旧式ガス炉による焼成と日本の佐賀県窯業技術センターの焼成では焼成体の発色に差がある。これは双方の炉で焼成条件（酸化・還元）が異なるためであり、日本の場合は焼成条件がコントロールできるようになっているのに対して、BBK のガス炉では焼成条件がコントロールできないためである。
- c) L 値は焼成炉（焼成条件）が異なってもデータは同一の傾向を示し原料の品質をそのまま現すが、a 値や b 値は焼成条件によって変動する。従って焼成条件が厳密に管理できない焼成炉で原料品質を評価する場合は L 値のみで評価する必要がある。a 値や b 値

も含めた詳細な品質評価を行うためには、焼成条件がコントロールできる炉で焼成する必要がある。

- d) ガス炉では燃料供給量と供給空気量の比率によって酸化条件になったり、還元条件になったりして焼成条件が変動しやすい。一方電気炉では炉内を不活性ガス雰囲気にしないうり酸化焼成となり、焼成条件は一定する。従って原料の焼成呈色評価には電気炉が適する。
- e) しかし原料中の不純物によっては、還元条件下で発色するものもあること、および実際のセラミック製造プラントで使用されている炉は還元条件下で運転されることが多く、還元焼成による評価も重要である。この場合はガス炉では燃料・空気の比率調節器や炉内に酸素濃度計などの設置が必要となる。電気炉の場合は不活性ガスの供給設備と酸素濃度計が必要となる。

### 3.4 原料精製試験結果

#### 3.4.1 水洗・粉砕・分級試験

##### 3.4.1.1 試験方法

###### (1) FB-1

- 1) 原鉱を水洗粉砕して 10mm から 325mesh まで 11 種類に粒度分けして各粒度ごとにガス炉で SK7± (約 1,230℃) で焼成して焼成呈色試験を行った。同時に熔融状態も観察した。
- 2) 原鉱中の粘土分を完全に分散させるため、ならびに雲母の微粉化を抑えるために、球石を小さくしてポットミルで粉砕して 11 種類に粒度分けした後、1) の場合と同様に焼成呈色試験および熔融状態を観察した。
- 3) 雲母の微粉化を抑えるために球石を大きくして原鉱の 3~5mm の粒度程度のものをポットミルで微粉砕し、a) +120mesh、b) -120~+200mesh、c) -200~+325mesh、d) -325mesh、e) -200~+325mesh 部をテーブル選鉱した雲母の多い部分、の 5 つの粒度に篩い分けして各粒度ごとに 1) と同様の試験を行った。
- 4) 珪石の分離を目的として珪石の粉砕を抑えるように球石の小さいものを使用して 1~5mm の粒度範囲の原鉱をポットミルで粉砕し-325mesh の粒度にした後、沈降により 5 分、20 分、60 分の各沈降品と上澄み中に懸濁した粒度品の 4 種類に粒度分けして 1) と同様な試験を行った。
- 5) 粒度 1~5mm の原鉱を乾式ポットミルで 200mesh 以下に予備粉砕した後、さらに湿式ポットミルで微粉砕し、325mesh 以下にした。この泥漿を沈降により 5 分、20 分、1 時間、5 時間、12 時間の各沈降品と上澄み中に懸濁した粒度品の 6 種類に粒度分けして 1)

と同様な試験を行った。

- 6) 粒度 3~5mm の原鉱を酸処理し、珪石の粉碎を抑え、除去するため大きな球石を用いてポットミルで粉碎した。次に沈降により 325mesh 残渣、5 分、30 分、2 時間の沈降品と上澄み中に経過した粒度品の 5 種類の粒度分けして、1) と同様な試験を行った。

## (2) FB-3

- 1) 原鉱を水洗粉碎して 19mm から -230mesh まで 7 種類に粒度分けして、各粒度ごとに電気炉で 1,250℃に焼成して焼成呈色試験を行った。
- 2) 粒度 1~10mm の原鉱を湿式ポットミルで 3 時間微粉碎し雲母除去を目的として、a) +100mesh、b) -100~200mesh、c) -200~+325mesh、d) -325mesh、e) -200mesh~+325mesh の雲母の多い沈殿上層部を除いたもの、f) -325mesh の雲母の多い沈殿上層部を除いたもの、の 6 つの粒度品に篩い分けし、1) と同様に試験した。
- 3) 2) の雲母除去試験で得られた -200~+325mesh の粒度範囲のものを湿式ポットミルで 6 時間微粉碎し、珪石除去を目的として沈降分離により 20 分以内の沈降品と懸濁した上澄み液の 2 つの粒度品に分離し、1) と同様に試験した。
- 4) 2) の雲母除去試験で得られた -325mesh の粒度品を湿式ポットミルで 6 時間微粉碎し、珪石除去を目的として沈降分離により 20 分間の沈降品と懸濁した上澄み液の 2 つの粒度品に分離し、1) と同様に試験した。

なお、1) 2) 3) 4) の試験品のいくつかの試料について化学分析を実施し、鉄分の含有量の変化を求めた。

## (3) FL-4

- 1) 試料として塊状品を乳鉢で軽くほぐす程度に粉碎したものを使用した。
- 2) 試料 500g に水を加え攪拌した後、上澄み液を捨て、沈降したものを 5~3.3mm、3.3~2mm、-2mm の 3 種類に篩い分けした。
- 3) 各篩い分けした粒度ごとに、1,250℃焼成後の焼成呈色試験で白色度 (I 値) の測定および溶けの状態を観察した。
- 4) -2mm の粒度品については化学分析を行い鉄分の含有量を測定した。

### 3.4.1.2 試験結果

#### (1) FB-1 の試験結果

FB-1 の水洗、粉碎、分級後の各粒度区分ごとの化学分析値、物質収支を表 3-15~21 に、焼成呈色試験結果を表 3-22 に示す。これらから得られた結果は次のとおりである。



- 1) 原鉱の粒度の大きい粗粒の部分の白色度（L 値）は 60%以上であるが、微粉部分のそれは 40～50%で白色度は低い。
- 2) 原鉱の大きさは 14mm 以下の粗粒状で 1～8mm が主体であるが、微粉も含む。
- 3) 原鉱は白色の珪石と青味の長石部の混合物である。
- 4) 白色の珪石は粒度が比較的大きいものが多いため、原鉱の粗い方に多く含まれる傾向にある。
- 5) 青味の長石部は長石単味でなく、珪石、雲母、長石の膠結物である。外観的には長石の存在はわからないが、焼成してみると長石が存在することがわかる。Tuff 系特有の微晶構造を示しておりペグマタイト系長石と大きく異なっている。
- 6) 粘土を含有し、酸化鉄の汚染も少量認められる。
- 7) 白色珪石が約 10%青色長石部中の珪石が約 40%、合計約 50%の珪石の含有量が推定される。
- 8) 珪石の含有量が多く、アルカリ含有量が少ないので溶けが悪い原因となっている。
- 9) 長石部中の珪石は、長石、雲母、と膠結状態にあるため長石と珪石の完全な分離は困難である。
- 10) 雲母は長石表面だけではなく内部に脈状に存在する。
- 11) 白色珪石、長石部中の珪石および長石も焼成呈色はよい。
- 12) 雲母を除去すれば、焼成呈色はよくなる。
- 13) 珪石を除去すれば溶けがよくなる。
- 14) 除去した珪石は焼成呈色が良好なため利用価値が大きい。
- 15) 水洗することで少量の粘土分、微粉雲母が除去されるために焼成呈色は若干よくなるが、溶けは若干悪くなる傾向がある。
- 16) ポットミルで粉砕する場合、球石の大きいものを使用すると雲母は細かく粉砕されないため沈降分離で雲母を除去することが可能である。
- 17) 珪石と長石が膠着状態にあるため、これを分離するためには相当細かく粉砕する必要がある。
- 18) 高品位化には雲母を除去した後、珪石の除去が必要である。このためにスタンパー粉砕が適していると考えられる。
- 19) 高品位化には粉砕条件、沈降条件を確立する試験が必要である。
- 20) 沈降分離には簡単な設備、たとえばビニール袋を使用すれば沈殿物の取り出しが簡単である。ただし上澄み液はフィルタープレスで脱水する必要がある。
- 21) ポットミルで粉砕時に球石を小さくして雲母の微粉化を抑えることにより焼成呈色の

- 白色度 (L 値) は 4 から 5%程度増加する。ただし絶対値としては十分な白色度ではない。
- 22) ポットミルで粉碎時に球石を大きくして雲母の微粉化を抑えることにより雲母の除去は可能であり、鉄分の含有量も 0.2%台になる。その結果焼成呈色で+325mesh の粒度部分の白色度 (L 値) は 80%を越えるようになり良好である。ただし、溶けが悪くなる点は問題である。
- 23) 原鉱の粗粒部分 (1~5mm) をポットミルで粉碎時に球石を小さくして雲母の微粉化を抑えることにより沈降分離で得られた粒度部分の焼成呈色試験での白色度 (L 値) は 74%以上で良好である。ただし、溶けが悪い点は問題である。沈降分離での上澄み液中の粒度部分は、白色度 71%程度で溶けも比較的良好である。
- 24) 原鉱の粗粒部分 (1~5mm) を乾式で 200mesh 以下に粉碎し、さらに湿式で微粉碎したものを沈降分離すると、初期の沈降品は白色度は 74%以上となるが、溶けはよくない。一方、1 時間以上経過後の沈降品は白色度が 60%台で良好とはいえないが、溶けは良好である。
- 25) 原鉱の粗粒部分 (3~5mm) を酸処理した後、ポットミルで粉碎時に球石を大きくして珪石の微粉化を抑えることにより沈降分離試験で 2 時間 30 分以内で沈降する粒度部分は白色度が 80%台となり良好であるが溶けは良好でない。一方、上澄み液中の粒度部分は白色度は 69%以上で溶けも比較的良好である。

## (2) FB-3 の試験結果

FB-3 の水洗、粉碎、分級試験を表 3-23、3-24、3-25 に示す。

- 1) 原鉱の焼成呈色試験での白色度 (L 値) は 54%程度で良好でない。鉄分の含有量は 1%程度、アルカリ量 8.3%程度であり、高品位とはいえない。
- 2) 雲母を除去することにより大幅に焼成呈色を改良できる。すなわち、粒度 1~10mm の原鉱を微粉碎して-200~+325mesh と-325mesh に分級し、さらにそれぞれを沈降分離で雲母を除去すると鉄分含有量は、1~2%から約 0.3%以下に減少するとともに白色度 (L 値) は 45~54%より 67~77%に向上する。
- 3) 白色度 (L 値) と鉄分含有量と目視は必ずしも一致しないが、鉄分の含有量で精製試験結果を判断する方がよい。
- 4) 粉碎沈降分離でアルカリ量は原鉱よりむしろ減少しており品位向上効果は期待できない。
- 5) 焼成呈色試験のテストピースの観察した結果は、粉碎、沈降、分離することにより溶けが良くなり長石分が多くなった感じを受けたが、表 3-23~25 に示すようにアルカリ量は同程度である。この差異は粒度の差異による溶けの差であることが分かった。FB-3 は

珪石と長石が細かく膠着しているので粉碎、分級ではその分離は不可能であると考える。  
粉碎時間が短いため、長くして沈殿分離の再試験をする必要がある。

- 6) 原鉱を水洗し粘土分を除き一定粒度に粉碎し、篩で分級することで比較的簡単に鉄分含有量を1%台から0.3%程度に低下することは可能である。
- 7) 粉碎、分級による精製は、粉碎時間、粉碎方法、粒度区分などの条件を確立する試験が必要である。
- 8) 鉄分の含有量を0.3%以下とさらに少なくする場合は、篩での分級は雲母の一部が残るために雲母の除去方法の改善検討が必要である。
- 9) 雲母の除去は筒状のビニール袋に入れて沈降分離することにより可能である。雲母の除去で白色度(L値)は60%から67%程度まで増加する。
- 10) 沈降分離時にバイブレーションをかけて雲母を分離するなどの対策が今後検討課題の一つである。

なお、水洗、粉碎、分級試験での各粒度別の物質収支や粉碎条件などは表3-23~25に示す。

### (3) FL-4

FL-4の水洗、粉碎、分級試験の結果を表3-26に示す。表3-26の結果から下記のことが判明した。

- 1) FL-4の水洗、粉碎、分級試験により粒径2mm以上の粗粒部分を除去してアルカリ量は8.41%であり、原鉱の7.39%より約1%増加するにすぎない。
- 2) 2mm以下の粒度部分は、原鉱より溶けはよい。
- 3) 2mm以下の粒度部分は、原鉱より白色度(L値)は少し悪くなる。
- 4) FL-4は粗粒の部分に珪石が多いと観察されたが、これを除去しても高品質化はできない。
- 5) FL-4の高品質化には浮遊選鉱などの他の精製方法が必要である。
- 6) FL-4はアルカリ量は十分ではないが、鉄分の含有量も比較的少なく、白色度も悪くないので、一般的な陶磁器原料の一つとして使用可能である。ただし、調合や焼成条件の検討が必要である。

## 3.4.2 酸処理試験

### 3.4.2.1 試験方法

#### (1) 試料

供試試料を粉碎水洗し、所定の粒度に篩分けして100℃で乾燥後、酸処理試験用試料とし

た。なお、試験した原料は、FN-1、FB-1、FB-3 の 3 種類である。

## (2) 酸処理

塩酸による酸処理は 300cc のビーカーを用いた。塩酸の濃度は 20% 溶液で試料の量は 60g、溶液は 180cc とし、すなわち溶液/試料は 3cc/g とした。この溶液/試料の割合では試料が溶液にすべて浸漬できる。塩酸溶液をビーカーに入れ、溶液を 50℃ に加温した後、試料を投入し、酸処理を開始した。処理時間は 2 時間である。試験中に塩酸液の蒸発を防ぐためガラス蓋をした。酸処理した試料は濾過、水洗し 100℃ の乾燥機中に 12 時間保持し乾燥した。

なお、FB-1 サンプルについては 2 回の酸処理試験を行った。1 回目の試験のフローは、図 3-6、7 に示した。2 回目の試験は 3.4.1、水洗粉碎分級試験の F1、F3、T4、A4 の 4 サンプルについて試験した。

## (3) 測定

酸処理前後の試料を 60mesh 以下に粉碎し、(微粉の試料は粉碎しないでそのまま) 30mm φ x 10mm の円板状に成形し、電気炉またはガス窯で所定の温度に焼成した後、焼成呈色試験方法に従って白色度 (L 値) を測定した。

### 3.4.2.2 試験結果

#### (1) FN-1 の試験結果

Narawita 長石の脱鉄試験については、予備試験のため塩酸濃度 20% の溶液を用い、室温で 14 日間酸処理した。焼成呈色の測定も目視によった。その他の試験条件は (1) の試験方法と同一である。酸処理試験結果は次のとおりである。

Narawita 長石の白色部と赤色部をサンプリングして白色部は 15~20mm 程度、赤色部は 7~12mm 程度の塊状のまま酸処理した。酸処理前の原鉱をプロパンガス炉で 1,250℃ に焼成すると白色部はねずみ色で焼成呈色不良、赤色部は黒褐色で焼成呈色は非常に悪かった。

酸処理後は目視観察によると赤色部の黒褐色で焼成呈色の非常に悪いものでも白色化し、高級テーブルウェアの原料に使用できる高品位のものが得られることが分かった。また、塊状品の酸処理でも十分脱鉄効果が得られ、これは原鉱が多孔質 (吸水率 14%) で内部まで酸が浸透して脱鉄することができるためである。

塊状品のまま酸処理できること、塩酸溶液を加温 (60℃) するとさらに脱鉄が進行すること、現在捨てているものが利用できることになり、可採率が向上することなどを考慮すると、Narawita 長石の酸処理は大きな経済効果をもたらし、有望な長石原料の一つになり得る物と判断する。なお、最良の酸処理方法については、今後の研究課題である。

## (2) FB-1 の試験結果

FB-1 の酸処理による脱鉄試験結果は、第 1 回目の試験結果を表 3-27 に、第 2 回目の試験結果を表 3-22 に示す。

### 1) FB-1 の試験結果 (1 回目)

a) FB-1 の原鉱を 2mm 以下に粉砕した後水洗し、図 3-6 のフローチャートにしたがって粒度別に酸処理し、酸処理前後の試料について焼成呈色試験を行った。その結果を表 3-27 の No.1~6 に示す。

1. 2mm~80mesh の粗粒の酸処理試験により、白色度 (L 値) は 67.2%から 71.9%へと 4.7%増加した。
2. 80mesh~325mesh の細粒の酸処理により、白色度は 52.9%から 66.1%へと 13.2%増加した。
3. FB-1 の原鉱を水洗せずに 200mesh 以下に粉砕し、酸処理した試料の白色度は 59.5%で、酸処理前に比較して 8.1%増加した。

以上の結果より、FB-1 の原鉱は、粗粒部分が微粒部分より白色度が高く、更に粗粒部分を酸処理することにより、白色度が 70%を越える原料に精製できることがわかった。

b) FB-1 の原鉱を雲母の除去を目的として図 3-7 のフローチャートにしたがって 60mesh 以下に粉砕し、水洗した。次に 60mesh~325mesh の細粒部分を沈降分離後、酸処理し、酸処理前後の試料について焼成呈色試験を行った。その結果を表 3-27 の No.7~11 に示す。

1. FB-1 の原鉱を 60mesh 以下に粉砕した試料の白色度は 54.2%であった。
2. 60mesh~325mesh の細粒部分を沈降分離で沈殿したものは、酸処理により白色度が 60.7%から 61.5%まで増加した。しかし、その増加度は非常に小さかった。
3. 前項 2. の試験での沈降分離でオーバーフローした粒度部分のものの白色度は、酸処理により 54.2%から 57.7%へと 3.5%増加した。

以上の結果、FB-1 の原鉱を 60mesh~325mesh の細粒に粉砕し、水洗沈降試験で雲母の除去を実施した後、酸処理しても白色度は 57~61%程度で、十分な白色度を有する原料まで精製できなかった。

### 2) FB-1 の試験結果 (2 回目)

Banjarnegara 長石の酸処理による脱鉄試験は次の 6 種類の粒度のものについて試験し、得られた結果は次のとおりである。