

三重県窯業試験場年報

平成8年度 (Vol.31)

三重県窯業試験場

目 次

1. 概 要	
(1) 沿 革	1
(2) 敷地と建物	1
(3) 組織と業務分担	2
(4) 予 算	2
(5) 職員構成	3
(6) 主要試験研究設備	4
2. 依頼試験業務	6
3. 指導・支援業務	
(1) 技術相談・技術指導	7
(2) 巡回指導事業	7
(3) 技術アドバイザー指導事業	7
(4) 講習会・講演会・展示会等の開催	7
(5) 中小企業短期技術者研修	8
(6) 試験場留学生の指導	8
(7) 地域産業育成支援事業	9
4. その他	
(1) 客員研究会	9
(2) 地域技術ネットワーク形成事業	9
5. 研究報告	
(1) 新しい視点からの陶磁器デザイン開発研究	10
(2) 三重県下碎石・砂利プラントからの廃泥の有効利用の研究	28
(3) アルミドロスのリサイクルについて	40
(4) 伊賀焼素地の研究	46
(5) 伊賀焼の特性向上に関する研究 (第2報) 土灰釉に関する研究	50
(6) 知的ハンドリング技術の研究 -垂直直動型パラレルメカニズムの開発	54
(7) " -垂直直動型パラレルメカニズムの運動学と静力学	63
(8) 粉末パターンフィッティング法を用いたセラミックス材料の定量	70
(9) 他誌掲載等	72

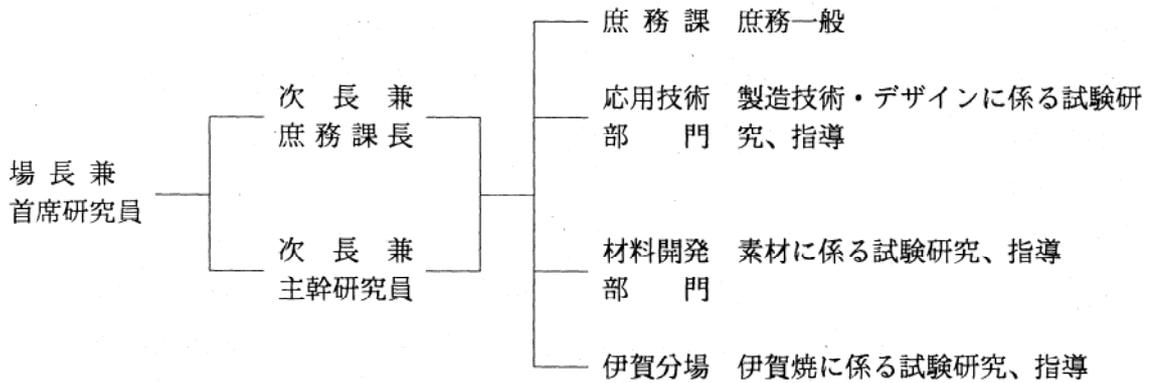
B 分 場

敷 地 423㎡ 建 物 258㎡

内 訳；本館（鉄筋コンクリート造2階建）258㎡

(3) 組織と業務分担

(平成9年4月1日現在)



(4) 予 算 (平成8年度)

歳 入

(単位 千円)

科 目	金 額
県 費	42,847
使用料及び手数料	6,115
国庫支出金	0
財 産 収 入	458
諸 収 入	1,497
計	50,917

歳 出

(単位 千円)

科 目	金 額
賃 金	3,311
共 済 費	271
報 償 費	119
旅 費	1,485
需 用 費	11,672
役 務 費	1,126
委 託 料	2,796
使用料及び賃借料	994
工 事 請 負 費	2,192
原 材 料 費	874
備 品 購 入 費	26,035
負 担 金 補 助 金 及 び 交 付 金	31
公 課 費	18
計	50,917

(5) 職員構成

本 場

職 名	氏 名
場 長 兼 首席研究員	木 村 赫 雄
次 長 兼 庶務課長	北 川 サ子代
次 長 兼 主幹研究員	國 枝 勝 利
主 事 技 能 員	掛 山 香 古 市 美智子
主幹研究員	青 島 忠 義
”	熊 谷 哉
”	北 川 幸 治
”	小 林 康 夫
”	伊 濱 啓 一
主任研究員	稲 垣 順 一

平成9年4月1日現在

職 名	氏 名
研 究 員	榊 谷 幹 雄
”	林 茂 雄
”	日比野 剛
”	岡 本 康 男
”	水 野 加奈子
”	川 合 啓 之

伊賀分場

職 名	氏 名
分 場 長 兼 主幹研究員	佐 波 平三郎
主幹研究員	服 部 正 明
研 究 員	庄 山 昌 志

(6) 主要試験研究設備

機 器 名	メーカー名	仕 様	備 考
万能表面形状測定器	東京精密(株)	サーフコム303B型、粗さ測定域0.005-100 μ 、長さ100mm	国 補
イオンクロマトグラフ	ダイオネックス(株)	System2000i/SP、日立データ処理装置	
高温曲げ引張り試験装置	(株)東京試験機 製作所	SC-5CSS型、クロスヘッド速度0.00001-100mm/min、高温装置(1500 $^{\circ}$ C)付	
スプレードライヤー	大川原化工機(株)	FL-12型、ディスク式、乾燥室 120 ϕ × 110cmH、処理量3 ℓ /hr	
X線回折装置	理学電機(株)	RAD II A型、湾曲単結晶モノクロメータ高温加熱装置付	国 補
粉体比表面積測定装置	湯浅アイオニクス(株)	AUTOSORB-1型、BET 3点方式、データ処理付き	〃
赤外線放射率測定装置	日本電子(株)	JIR-5300型、フーリエ変換式赤外線分光装置、赤外線放射測定ユニット	
超微粉化装置	三井三池化工機(株)	アトライタMAISE-X型、ゴム張、5.5 ℓ	
全自動小型電気炉	共和高熱工業(株)	第8242、SiC発熱体、炉内寸法 30×40×25cm、最高温度1500 $^{\circ}$ C	
オートクレーブ	日東オートクレーブ(株)	NAC-10型、内容積 2 ℓ 、Max. 295気圧	
赤外線反射測定ユニット	日本電子(株)	IR-DRA110型、ハードディスクユニット、ライブラリーリサーチ付	国 補
実体顕微鏡	オリンパス光学工業(株)	SZH-111型、カラーモニター、写真撮影装置付	国補、 加速支援
酸素分析計	日本ガイシ(株)	PA-110型、CO、CO ₂ 測定、ZrO ₂ センサー	分 場
金属顕微鏡	オリンパス光学工業(株)	BHM-313MW型、4眼鏡筒	競 輪 補助事業
迅速測定用粒度分析装置	(株)堀場製作所	LA-500型、レーザービーム式、オートサンプラー付	国 補
熱膨張測定装置	真空理工(株)	DLY-7000RH型、赤外線集中加熱式、三連式	〃
水銀ポロシメーター	湯浅アイオニクス(株)	Autoscan-33 Porosimeter型、測定域 200 μ -400nm、データ処理装置付	〃
プレス付真空熱処理装置	東京真空(株)	PRESS-VAC-II型、1300 $^{\circ}$ C(真空状態)プレス圧0.2-2.0t、オイルクーラー付	競 輪 補助事業

機 器 名	メーカー名	仕 様	備 考
誘電率測定装置一式	横河・ヒューレット トパッカード(株)	HP8753、HP4284A型、データ処理装置、 測定治具一式	国 補
還元焼成用電気炉	丸二陶料(株)	OEL-8型、200V、40A、電気炉プロパン 燃焼還元方式、最高温度1300℃	分 場
マイクロ波加熱装置	日本高周波(株)	MH0-001型、マグネトロン出力4.9KW以上 出力可変、容積0.5m ³	
高速ミキサー一式	(株)日本精機製作所 (株)ダルトン	ウルトラホモミキサーUM-3型 パワーホモジナイザーPM-1型 マルチディスペンザー40型	国補、地 域研究者 養成事業
ヤング率測定装置	京都電子工業(株)	DEM-11R型、JIS R1602、ASTM C848規格に 準ず、曲げ共振方式	〃
還元焼成用電気炉	丸二陶料(株)	特殊仕様、コイル式発熱体、MP-12D制 御、内寸80×50×60cm	〃
恒温振とう機	タイテック(株)	BR-300LF型、冷凍機冷却式 庫内寸法;75×57×57.5cm	〃
ゼータ電位測定装置	三田村理研工業(株)	ZP-100型、顕微鏡電気泳動方式	〃
エアースラスト	新東プレーター(株)	MY-30B、重力式エアージェット 圧力;2-6kg/cm ²	〃
原子吸光光度計一式	セイコー電子工業 (株)	SAS-7500 (フレーム、フレームレス共用 原子吸光)、SPS-7700 (ICP)	国 補
恒温恒湿装置	タバイエスペック (株)	PR-2ST型、225ℓ、10-80℃、50-98%RHで 制御可、フロン対応機種	〃
平面研削機	(株)ナガセインテグ レックス	SGM-52型、砥石回転数0-3600rpm、砥 石径205mm、最小切り込み量0.5μ	競 輪 補助事業
コンパクトジェットミル	(株)セイシン企業	CO-JET SYSTEM α、アルミナライナー	
データベース及びエクス パートシステム構築用ハ ードウェア	メーカー多数 購入;東海物産(株)	多社・多数の機種で構築。ネットワーク インターフェースボード、コンパクト HUB、ディスクトップパソコン他	
EDX付走査型電子顕微鏡	(株)日立製作所他	本体日立製作所S-3200N、EDX処理装置(株) 堀場製作所EMAX-5770W	
蛍光X線用ビードサンプ ラー	(株)リガク	高周波加熱式、ルツボ揺動回転機構付 卓上型3491A-1	集積活性 化支援費
自動焼成装置付きガス炉	(有)小島鉄工所	0.5m ³ 台車付、自動焼成式	〃
逆流式高速混合機	日本アイリッヒ(株)	R02型、MAX 8kg、回転数可変型	〃

機 器 名	メーカー名	仕 様	備 考
スライド式自動成形機	(有)三立エソニアリング	水ごと2頭成形、MAK-JJS500型、3.4KW	集積活性化支援費
高速攪拌分散機	浅田鉄工(株)	バランス型、回転数～1500rpm	〃
イオンメーター	(株)堀場製作所	F-23型	〃
インターネットサーバー	(株)サンマイクロシステムズ	SPARCstation5M110他	国補、 技術情報 基盤整備

平成8年度設置設備

機 器 名	メーカー名	仕 様	備 考
全自動蛍光X線分析装置	(株)島津製作所	シーケツナル型蛍光X線分析装置XRF-1700W S. 4KW, 60KV, 140mA. 局所分析機能付.	競 輪 補助事業
分光光度計	(株)島津製作所	自記分光光度計UV-3100PC. 190-3200nm 大型試料室. 150mm積分球. カラーソフト付.	集積活性化支援費
コンピュータ グラフィックシステム	メーカー多数	Apple Power Macintosh 8550/200を本体 とし周辺機器で構成	〃
DTA-TGA (熱分析装置)	真空理工(株)	示差熱天秤TGD-9600. 赤外線加熱炉. MAX. 1500℃. 上皿式垂直型.	
曲げ試験機	(株)島津製作所	オートグラフAGS-5KN. 最大荷重5kg. クロスヘッド 速度0.5-500mm/min.	分 場

2. 依頼試験業務

内 訳 (合計2,174件)

項 目	件 数	項 目	件 数
定性分析	156	顕微鏡試験	3
定量分析	637	加工試験	261
測定	307	試料調整	231
物理試験	111	赤外線放射率	36
熱的試験	192	商業デザイン	7
焼成試験	231	そ の 他	2

3. 指導・支援業務

(1) 技術相談・技術指導

項目	内 容	件 数
原 材 料	窯業原材料の選択・適正利用法・処理法等	223
素地・成形・焼成	素地の調整法、成形技術、窯炉焼成法等	463
釉 ・ 顔 料	釉薬、顔料の調合・調製・改良等	569
デ ザ イ ン	陶磁器の商品企画、形状、装飾技法、パターン等	39
ファインセラミックス	ファインセラミックスの製造、利用法、原料等	2
分 析 技 術	化学分析技術、X線分析技術等	37
そ の 他	無機材料・陶磁器技術に関すること	315
計		1,648

(2) 巡回指導事業

対 象	地 区 名	指導企業数	指 導 内 容
陶磁器製造業	県下全域	40 社	原料の使用法・処理法、素地の調整法・成形技術、焼成方法、釉・顔料の調整法、デザイン、装飾技法、試作等に関し、業者の依頼により巡回方式で指導

(3) 技術アドバイザー指導事業

対 象	地 区 名	指導企業数	指 導 日 数		指 導 内 容
			アドバイザー	職 員	
陶磁器製造業	県下全域	5 社	38 日	11 日	商品開発 2社 ポスター 1社 デザイン 1社

(4) 講習会・講演会・展示会等の開催

名 称	年月	場 所	参加人員	内 容
陶&くらしの デザイン展	8.10	北勢地場産業 振興センター	321	20公設試験研究機関 101点の作品の展示
中小企業短期 技術者研修	9. 2	窯業試験場	20	新技術技術者研修. 12時間. 詳細別記
デザイン講演会 (デザイン開発推 進事業)	9. 3	伊賀分場	44	講師：武蔵野美大教授 森 豪男 『モノをつくるということ』-私の仕事と やきもの

名 称	年月	場 所	参加人員	内 容
研究成果発表会 及び講演会	9. 3	窯業試験場	45	研究発表 5件 講演会：講師；萩巢幹男（生活倉庫営業部 ハルスエ7担当）最近の消費者動向と品揃え
研究発表会	9. 3	伊賀分場	20	研究発表 3件
技術講習会	9. 1	窯業試験場	19	講師：福田 翔『下絵付技法とその応用』

(5) 中小企業短期技術者研修（新技術技術者研修）

研修課題：機能性セラミックス

年 月 日	時 間	科 目	講 師
平成9年 2月24日（月）	13.00～17.00	光触媒について	東陶機器(株) 小林 秀紀
2月26日（水）	13.00～17.00	電磁調理器について	中部電力(株) 宮田 真理
2月27日（木）	13.00～17.00	抗菌セラミックス製品	鳴海製陶(株) 松山 城仁

(6) 試験場留学生の指導

研 修 内 容	所 属 ・ 氏 名	期 間	指 導 担 当 者
土鍋素地の研究	長谷製陶(株) 柴本 耕志	8.4,5 9.3	庄山 昌志（伊賀分場）
新しい無機顔料の研究	川村化学(株) 石川 誠	8.4-9.3	國枝 勝利
セラミック原料の調査及び製品の開発	(株)チップトン 西川 浩司	8.4-9.3	岡本 康男、熊谷 哉
新研磨石の開発	(株)チップトン 畔柳 敦	8.4-9.3	岡本 康男、熊谷 哉
窯業原材料とその成形体に 関する評価試験研究	キンセイマテック(株) 池田 博之	8.4-9.3	國枝 勝利
耐火物材料の物理特性評価	中部産商(株) 井上 幸次	8.4-8.8	岡本 康男
ろくろを中心とした成形技術と 釉薬の研究	(有)幸芳ソノガ 長野 幸子 永田みすず	8.4-9.3 8.4-9.3	北川 幸治、水野加奈子

(7) 地域産業育成支援事業

グループ	内 容	指導・支援担当者
タイル・建材グループ	大型タイルの開発指導	北川 幸治、熊谷 哉
異素材との複合化グループ	抄紙法成形による商品開発指導	北川 幸治、服部 正明

注) 事業主体：(財)三重北勢地域地場産業振興センター

4. その他

(1) 客員研究会 (職員を対象とした技術研修)

研 究 会 名	開 催 日	講 師
三成分系状態図の基礎(1)(2)	8年11月5, 6日	神奈川大学工学研究所長 濱野 健也
〃 (3)(4)	9年3月21日	〃
3Dビジュアルグラフィックの基礎(1)(2)(3)	9年3月5, 7日	ヒラタプランニング代表 平田 俊也

(2) 地域技術ネットワーク形成事業

産学官の連携による、地域技術ニーズの課題解決のための研究会活動

研究会名：福祉環境デザイン研究会、テーマ：福祉機器の開発

研究会名簿（会長：粕谷公則、タナカ産業(株)）研究会実績

	氏名又は企業名	年月日	話 題 提 供	参加者数
学 識 経 験 者	和田義行 (名古屋芸術大学美術学部デザイン科助教授)	8. 7. 18	福祉環境デザイン 講師：和田 義行	18名
企 業 会 員	(有)青木鉄工所	8. 10. 9	生活便利品セミナー 講師：なし	20名
	(株)クリエイトすづか			
	東洋工業(有)	8. 11. 15	新しい階段へのステップ 講師：荒井 利春	18名
	タナカ産業(株)			
	永田みすず	9. 1. 28	バリアフリー建築について 講師：進谷まり子	15名
	(株)南景製陶園			
	広瀬精工(株)	9. 3. 25	バリアフリーデザイン 講師：和田義行	15名
米田デザイン研究所				
亀山工業(株)				
	やまほん陶房			
	(有)山口陶器			
公設試 会 員	三重県窯業試験場職員 3名 三重県工業技術センター職員 4名			

協力機関・アドバイザー

三重県身体障害者総合福祉センター

中瀬文博、前川賢一、鈴木 真、中村典子

5. 研究報告

(1) 新しい視点からの陶磁器デザイン開発研究

本研究は平成8年度特定中小企業集積活性化支援事業として行ったものである。内容の詳細については実績報告書（平成9年3月発行）に記載したが、以下概要について報告する。

1. はじめに

・事業の目的

四日市・菰野地域の萬古陶磁器中小企業者が取り組む特定分野（マーケット・ニーズに適応した高機能・高付加価値製品に関する分野）への進出を技術・デザイン面から支援し、特定中小企業集積の活性化を図ることにより、地域経済の発展に資することを目的とする。

・事業の内容（項目）

- ・テストマーケティング調査
- ・商品開発プロセスの啓蒙・普及
- ・商品開発のための基礎的技術要素の研究開発と指導・普及
（加飾技術に係る各種データの解析・研究）
（意匠開発に係る情報処理技術の研究とその指導・普及）

・事業実施方法等

- ① 実施体制 三重県窯業試験場 技術職員
- ② 実施日程 （開始日）平成8年7月18日
 （完了日）平成9年3月31日
- ③ 外部への委託 （委託内容）テストマーケティング調査
 （委託機関）株式会社トゥイン（東京都練馬区）
- ④ 委嘱した専門家の氏名及び職業
 - ・稲岡真理子（ライフマネジメント研究所所長 大阪府西区）
 経営コンサルタント
 - ・荻野 克彦（荻野克彦デザイン事務所代表 東京都新宿区）
 プロダクトデザイナー
 - ・小松 誠（埼玉県行田市）
 陶磁器デザイナー

2. テストマーケティング調査

(1) 市場動向等の情報収集

応用技術部門 北川 幸治、榎谷 幹雄、水野加奈子
材料開発部門 熊谷 哉、伊濱 啓一、川合 啓之

土もの陶磁器の市場動向等を調査するために、平成7年度に引き続き、消費地、他産地を視察した結果、多くの情報を得ることができた。特にデザイン的な視点では、市場で求められている商品と各産地で生産している商品に若干のギャップがあることが感じられる。市場では、個性のある商品、消費者の感性を満足させる商品が低価格が必要であり、それは産地において従来のデザインで機械的に生産することにはなじまないと思われる。個性ある商品を少量でも多品種に展開すること、また、ギフト・引き出物など、ある程度まとまった注文にも対応できること、そして常に新しい発想で商品開発が続けられることが産地に求められているといえる。

各地の視察から得た内容の概略は以下の通りである。

東 京 * 「専門店S」視察 平成8年9月6日

- ・手頃で高品質な作家ものの陶磁器専門店として全国的に有名である。
- ・土もの陶器が店内の半数以上を占め、土ものブームが継続していることをうかがい知ることができる。
- ・炭化焼成商品も多く見受けられる。
- ・全体に鮮やかな酸化焼成品と波目の還元焼成品が多い。

名古屋 * 「N会議場」視察 平成8年9月25日

- ・国際陶芸シンポジウム名古屋の関連開催行事
- ・「陶・描・彫展」視察
- ・「東海の現代陶芸」視察
- ・「現代アートフェア一展から」視察
- ・現代陶芸における有機的なデザイン、色釉の使用形態、土もの陶器の動向等、パイロットデザイン試作の参考とした。

四日市 * 「ホームセンターK」視察 平成8年10月7日

- ・家庭用品を豊富に扱っているホームセンター
- ・地元萬古焼の商品も多数陳列している。
- ・耐熱陶器の産地でありながら、輸入物の廉価なキャセロール、ココット、小鍋、ミルクパンなど多く扱っている。

島根県 *「陶磁器産地」視察 平成9年2月6～8日

島根県における焼物の歴史は古く、江戸期における藩窯に由来するものが多く、地元から産出される原料を利用した土物陶器が生産されてきた。萩焼や京焼、有田焼にも影響を受け、染付けや上絵付けなどの技法を伝統に取り入れたり、河井寛次郎、柳宗悦、バーナードリーチなどによる民芸運動にも影響を受けて、伝統を民芸風の中に生かした陶磁器を生産してきた。現在では、製品及び原材料の流通機構の発達にともない、地元から産出される原料に加えて伊賀・信楽地域の粘土を積極的に活用して、民芸の中に現代生活に根ざした美を志向した土物陶器を生産している窯元もある。

(2) パイロットデザイン試作

応用技術部門 北川 幸治、榎谷 幹雄、水野加奈子

◆開発テーマ

本事業は昨年度の「三重県坏土」の開発、「振動成形機」の成形技術確立を受けて、今年度は継続して実施するソフト開発、つまりデザイン開発が最も重要な位置を占める。新しい「土もの」を生み出すために、どのようなデザイン企画・開発をして製品とするのかを最大のテーマとしてとらえ、追求することとした。そして「今まで、市場でなかったもの」、「提案性のあるもの」、「必要性のあるもの」を制作することを念頭に置き、対象市場・対象像・デザインコンセプトの設定に移行した。

◆対象市場・対象像・制作条件の設定

陶磁器・窯業製品には多くの分野があり、販売ルートも様々である。そんな中で従来の四日市萬古焼製品は、土鍋（耐熱陶器）、輸出用食器、花器、家庭用食器等に生産比率が高かった。また、商品の流通経路としては産地商社（問屋）、消費地商社を経て小売店に並ぶことが多かった。そして、製品の特徴としては、素地に半磁器土を使い、酸化焼成するのが主流であった。土鍋（直火耐熱食器）と急須に関しては、土鍋は素地にペタライト入り耐熱陶土を使い、急須は紫泥土と呼ばれる陶土を使って強還元焼成されている。

今回の試作では昨年度からの調査結果をもとに、今までの萬古焼で生産が容易でなかった分野、参入したいが難点の多かった分野をターゲットとするのが最良である。しかし、三重県坏土という素地材料、新たな設備投資金額を考慮して、土鍋、食器の分野を中心とすることとした。

対象としては陶磁器購入の中心である女性とし、対象年齢を現在の萬古焼購入層よりも若干高い、40～50代とした。また制作条件として萬古焼陶磁器業界が生産可能な技法、素地、釉薬等の使用と、大量生産を前提とした石膏型の使用を決定した。

◆シーン設定・デザインコンセプトの設定

以下のキーワード・条件から設定

外部キーワード

◎「エルデコ」風のデザイン

◎言語イメージスケールより

モダン、ナチュラル、カジュアル、クールカジュアル、エレガント、

◎デザインセミナー講師の稲岡真理子氏から提示のあった「これからのライフスタイルを理解するキーワード」

- ・安全 ・自然 ・コスト ・個人 ・機能 ・シンプル ・自由 ・やさしさ
- ・組み合わせ ・きずな ・自分らしさ ・ステイタス ・本物 ・環境 ・こだわり
- ・わりきり

◎陶磁器商社「T社」・・・C×2企画コンセプト

- ・洋風化した日本人の暮らし
- ・座卓⇒⇒⇒テーブル
- ・和洋中⇒⇒⇒多彩な食生活へ・・・⇔・・・和と洋しかない食器
- 『日本人の暮らしの変化』

内部キーワード

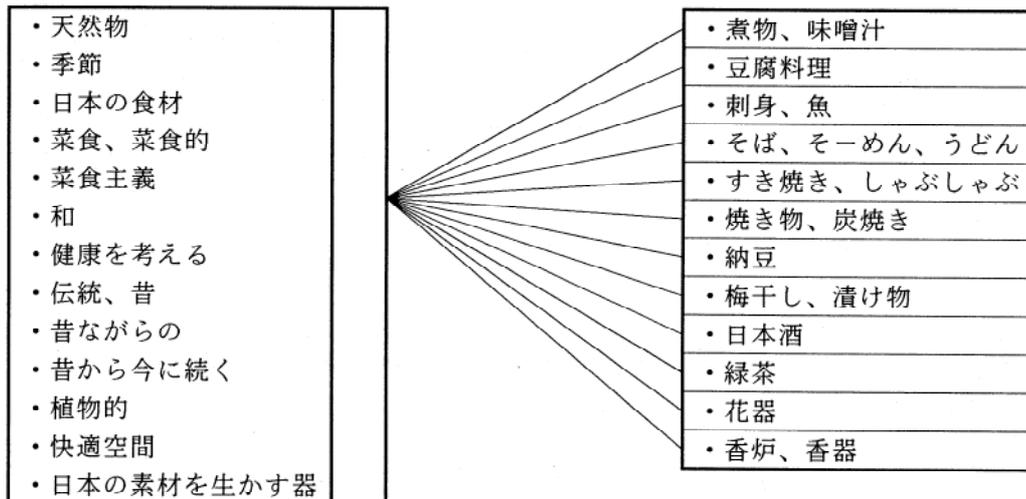
◎【現代の生活に合った食器が必要】 === 【現代の感覚に合った食器が必要】



◎【生活者の視点にこだわって】

・質 ・機能 ・価格 ・楽しさ ・気持ちよさ ⇒⇒⇒新しい目で見直し

◎抽出キーワード



◎シーン設定

「山田さん夫妻（仮称）が、友人を招いて開くパーティー」

- ・夫（50歳）建築家
- ・妻（48歳）自 営

◆デザインコンセプト

『集食談器』・・・(集まり、食し、談ずる時の器)(食に集まり、器を談ず。)

◆アイテム表

人が“集まり”“食し”“談ずる”時の“器”はどんなものが・・・？

好みの材料と味付けで、銘々が料理できる「個人用小鍋」を中心としたパーティーを想定して、デザインしました。

狭いテーブルスペースを有効に使うスタッキング可能な器、遊び心を持ったスパイス入れ、アイデアいっぱいの箸立て、おやっ！？と思わせる大きくても軽い盛り皿等、楽しくてちょっと使ってみたくなるようなモノの提案です。

No	アイテム名	制作意図	素地
1	はしたて	パーティーシーンに楽しく、ユニークな発想のはしたて。	D-10
	はしおき	一膳の箸をリングで束ね、はしたてにカラフルな彩りを添える	
2-1	小鍋 A	和風料理を意識して、土味、暖かさを形、釉薬、焼成で表現した。	ベタライト赤
2-2	小鍋 B		伊賀鍋土
2-3	小鍋 C		ベタライト赤
2-4	小鍋 D		伊賀鍋土
2-5	小鍋 E	北欧調の色彩と有機的な波の形状を表現した。	ベタライト白
2-6	小鍋 F	取っ手を付けずに、どこでも持てる、UFO鍋。	ベタライト白 ベタライト赤
2-7	小鍋 G	宇宙をイメージさせる、ユニークな形を表現(レンゲ受け付)	ベタライト白
2-8	小鍋 H	抽象的な模様を色釉で描いた。	ベタライト白
3-1	レンゲ A	形が一回り小さく、これまでより軽いレンゲ。動物をモチーフとしたものは、単品で「かわいらしさ」をねらった。	D-10, D-13
3-2	レンゲ B		D-10
3-3 6	レンゲ C ~ F		D-10, D-13
3-7	レンゲ G	既存のレンゲにとらわれないスタイルと有機的なフォルムを目指した。	D-10
3-8	レンゲ H		
4	取り鉢	白刷毛目と赤土色の土味っぽい鉢。	D-13
5-1	中皿 A	「練込み手」風のデザイン。振動成形機の特徴を生かした技法を使用している。	D-10, D-13
5-2	中皿 B		
5-3	中皿 C		

6-1	だ円多目的鉢 A	炭化焼成による黒い調子の手作り風器。化粧土、釉薬のドロッピングによるデザイン。	D-13
6-2	だ円多目的鉢 B		D-10, D-13
6-3	だ円多目的鉢 C		
7	陶 木 器	陶と木を組み合わせ、有機的な波文様の表面を持った皿。	D-10
8	多 重 陶 木 器	スタッキング可能な、陶と木をみ合わせた器。	ベライト白
9	多 重 盛 皿	スタッキング可能な、皿と鉢を組み合わせたシャープな器。	赤1号 D-10
10-1	調味料入れ A	器の集まりを陶の板により接合したもの。陶板は窯の中でゆったりと湾曲する。	D-10
10-2	調味料入れ B		D-13
11-1	スパイスツリー A	持ち運びに便利な、陶と木を組み合わせた器。排泥鉢込み成形の特徴を生かし、器の口辺はしずくのようなやわらかな雰囲気を出している。	D-10
11-2	スパイスツリー B		
11-3	スパイスツリー C		
12-1	だし入れ A	伝統的な釉薬を使い、排泥鉢込による手作風の形状。	D-10
12-2	だし入れ B		D-13
13	中 空 盛 皿	大きい手に持って軽い。シンプルで鮮やかな色彩でまとめた。	D-10
14	取 り 皿	炭化焼成による、黒い色調のデザイン。	D-13

(3) 求評会と評価会

応用技術部門 北川 幸治、服部 正明、榎谷 幹雄、水野加奈子

◆求評会

パイロットデザイン試作品の評価を受けるために、株式会社トゥイン（東京都練馬区 代表山田節子）に求評会の開催を委託し、流通専門家、デザイナー、雑誌編集者等を招いて平成8年11月7日に求評会を開催した。

（*株式会社トゥインによる求評会報告書は実績報告書に掲載）

◆評価会

萬古焼業界への発表は評価会として12月3日、萬古商業会館にて山田節子氏から発表・報告された。即座に市販ができるものでなくても、様々なアイデアと技法について業界への示唆になるとの評価を受けた。

4. 商品開発のための基礎的技術要素の研究開発と指導・普及

(1) 加飾技術に係る各種データの解析・研究

《伊羅保釉と黄瀬戸釉の研究》

次長 國枝勝利

酸化鉄を着色剤に使う伝統的な釉の代表的なものに黄瀬戸釉と伊羅保釉がある。いずれも石灰成分の非常に多い石灰釉に属し、 $Al_2O_3 - SiO_2$ 成分の少ない組成域で得られる。この研究では、かなり広い範囲の釉組成範囲で試験を行い、そこから伊羅保及び黄瀬戸釉に適すると思われる組成を得ることを試みた。また、釉の結晶組成の同定を行い、良好な釉に見られる共通点を調べ、より安定な組成への方向づけを行った。

①伊羅保釉の試験

試験した釉組成範囲は、 $0.05-0.10KNaO$, $0.45-0.95CaO$, $0.0-0.3BaO$, $0.0-0.15MgO$, $0.10-0.50Al_2O_3$, $1.0-2.5SiO_2$ でこれに酸化鉄5又は8%を添加し、さらに酸化チタン、第2磷酸カルシウムを添加しそれらの効果も調べた。焼成は昇温速度 $200^{\circ}C/hr$ 、最高温度 $1,220^{\circ}C$ 、保持時間1時間で行った。その結果を良好な釉を中心に表1に示す。

この試験から次ぎのことがわかった。

- (1) MgO がなく、 BaO が多い組成で赤伊羅保が得られやすい。
- (2) 後述するように釉にディオプサイド ($CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$) が晶出すると黄色の強すぎる発色傾向となるため MgO 成分の多過ぎる釉は好ましくない。
- (3) 酸化鉄の添加量は8%が適当で、特に透明性の伊羅保釉ではこれが顕著であった。
- (4) 酸化チタン、第2磷酸カルシウムの添加(各5%)の効果は、マット性の伊羅保釉ではいずれも発色を浅くし赤味がなくなり黄みが強くなる。特に酸化チタンでその効果が著しい。酸化チタン添加の釉は見えそうであるが、第2磷酸カルシウムの添加は好ましい効果を示さない。
- (5) これに対し、透明性の伊羅保釉では酸化チタン、第2磷酸カルシウムの添加は釉の発色に影響を及ぼさず、後者が釉の結晶化を防ぐ効果が認められた。

②黄瀬戸釉の試験

上記伊羅保釉試験の塩基組成に ZnO を加えたさらに広い範囲で試験を行った。焼成条件は1.の伊羅保釉と同じである。その主な結果を表2に示す。

表から次ぎのことが解る。

- (1) 『あやめ手』のような鮮やかな黄色の発色は、 ZnO を含まない釉では得られない。しかし MgO が多くまた BaO を含まないとかなり良好な発色が得られることがわかった。
- (2) 第2磷酸カルシウムまたは酸化チタン(添加量5%)の添加は効果がない。
- (3) 良好な発色の釉は、焼成過程で十分に熔融した後、冷却中に結晶させる必要がある。そのため

ZnOを0.1~0.2モル添加し、熔融性と再結晶性を良くした釉シリーズ、Ⅲ-6-②、Ⅲ-8-②、Ⅲ-9-②が良く、特にⅢ-6-②で極めて優れた『あやめ手』の黄瀬戸釉となった。

- (5) いづれの塩基組成に於いても、 $0.1Al_2O_3 \cdot 2.0SiO_2$ モル組成が良好で、 SiO_2 が2.5モル以上では溶融しない。
- (6) 黄瀬戸釉は安土・桃山時代に完成された釉で、当時はZnOを原料として使わなかったはずである。おそらく土灰を主原料としたある種の石灰マグネシア釉使っていたに違いない。当時の『あやめ手』は、冷却速度の遅い穴窯や登り窯で、土灰立て石灰マグネシア釉を十分に溶融後再結晶させたものと推測される。

表1. 伊羅保釉の試験結果

釉番号	構成結晶	釉調の良否	釉組成							Fe ₂ O ₃ 添加量
			KNaO	CaO	MgO	BaO	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
X-14	A	◎灰黄緑伊羅保 セミマット	0.08	0.82	0.10			0.25	1.5	5
X-18	A, D?	○ " "	0.08	0.82	0.10			0.30	1.5	5
X-22	A, D	○暗い黄 " マット	0.08	0.82	0.10			0.35	1.5	5
I-10-5		◎褐色伊羅保 透明	0.05	0.725	0.075	0.15		0.20	1.5	8
I-10-7		◎赤味褐色伊羅保 マット	0.05	0.65		0.30		0.20	1.5	8
I-18-4		◎赤味褐色伊羅保 セミマット	0.05	0.80		0.15		0.30	1.5	8
I-18-5		◎褐色伊羅保 セミマット	0.05	0.725	0.075	0.15		0.30	1.5	8
I-18-7		◎褐色伊羅保 マット	0.05	0.65		0.30		0.30	1.5	8
I-19-1		◎褐色伊羅保 マット	0.05	0.95				0.30	2.0	8
I-19-2		◎褐色伊羅保 マット	0.05	0.875	0.075			0.30	2.0	8
I-19-7		◎褐色伊羅保 マット	0.05	0.65		0.30		0.30	2.0	8
II-10-5		◎褐色伊羅保 透明	0.10	0.675	0.075	0.15		0.20	1.5	8
II-10-7		◎赤味褐色伊羅保 マット	0.10	0.6		0.30		0.20	1.5	8
II-18-4		◎赤伊羅保 セミマット	0.10	0.75		0.15		0.30	1.5	8
II-18-5		◎褐色伊羅保 セミマット	0.10	0.675	0.075	0.15		0.30	1.5	8
II-18-7		◎赤伊羅保 マット	0.10	0.60		0.30		0.30	1.5	8
II-19-1	A	◎赤伊羅保 マット	0.10	0.90				0.30	2.0	8
II-19-2	A, D?	◎褐色伊羅保 "	0.10	0.825	0.075			0.30	2.0	8
II-19-3	A, D	×黄色伊羅保 "	0.10	0.775	0.125			0.30	2.0	8
II-19-7	Ce, W	◎赤伊羅保 "	0.10	0.60		0.30		0.30	2.0	8
II-19-8	Ce	○ " "	0.10	0.525	0.075	0.30		0.30	2.0	8
II-19-9	Ce	×黄色伊羅保 "	0.10	0.45	0.15	0.30		0.30	2.0	8

注) 構成結晶 W: β -Wollastonite, A: Anorthite, D: Diopside, C: Celsian
 釉調の良否 ◎: 非常によい, ○: よい, ×: 悪い

表2. 黄瀬戸釉の試験結果

釉番号	構成結晶	釉調の良否	釉組成							Fe ₂ O ₃ 添加量
			KNaO	CaO	MgO	BaO	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
X-2	P, W	×セミマット	0.08	0.82	0.10			0.10	1.5	5 %
X-4	W, Cr	×マット	0.08	0.82	0.10			0.10	2.5	5
II-3-1	P	×灰黄緑 半融	0.10	0.90				0.10	2.0	3
II-3-3	W	△鈍い黄 マット	0.10	0.75	0.15			0.10	2.0	3
II-3-4	P	×灰黄緑 セミマット	0.10	0.75		0.15		0.10	2.0	3
II-3-6	D	×薄い黄 半透明	0.10	0.60	0.15	0.15		0.10	2.0	3
II-3-11	W	×暗い赤味黄 セミマット	0.10	0.675	0.225			0.10	2.0	3
II-3-12	W, D	× " "	0.10	0.60	0.30			0.10	2.0	3
II-3-15	D	○赤味黄 セミマット	0.10	0.525	0.225	0.15		0.10	2.0	3
II-3-16	D	○ " "	0.10	0.45	0.30	0.15		0.10	2.0	3
III-1-②	W	△鈍い黄 "	0.08	0.82	0.10			0.10	2.0	2
III-2-②	Gのみ	×薄い黄 半透明	0.08	0.72	0.10		0.10	0.10	2.0	2
III-3-②	Gのみ	×薄い黄 乳濁融	0.08	0.62	0.10		0.20	0.10	2.0	2
III-4-②	W	△鈍い黄 セミマット	0.08	0.72	0.20			0.10	2.0	2
III-5-②	D, Cr	○黄 やや乳濁 マット	0.08	0.62	0.20		0.10	0.10	2.0	2
III-6-②	D, Cr	◎鮮明な黄 "	0.08	0.52	0.20		0.20	0.10	2.0	2
III-7-②	D, W, Cr	○赤味黄 "	0.08	0.62	0.20			0.10	2.0	2
III-8-②	D, Cr	◎鮮明な黄 "	0.08	0.52	0.30		0.10	0.10	2.0	2
III-9-②	D, Cr	◎鮮明な黄 "	0.08	0.42	0.30		0.20	0.10	2.0	2

注) 構成結晶 P: α-Wollastonite, W: β-Wollastonite, Cr: α-Cristobalite
 A: Anorthite, D: Diopside, Ce: Celusian, G: ガラス
 釉調の良否 ◎: 非常によい, ○: よい, △: あまりよくない, ×: 悪い

③伊羅保・黄瀬戸釉を構成する結晶と発色の関係

これらの釉は透明のものもあるが、マット組織のものが好んで使われる。このマットを構成する結晶および量が、マットの強弱や鉄イオンの発色（結晶への固溶等により）に影響する。これらの条件が満たされると、赤伊羅保釉、『あやめ手』黄瀬戸釉などの特徴ある組織と発色が得られるものと考えられる。

ここではX線回折により、上述した各組成の釉を構成する結晶を同定した。測定試料は焼成した釉面を使った。従って結晶の配向の著しいものも見られる。検出した結晶を表1、2に併記した。図1にX線回折図を示した。これから次ぎのことが言える。

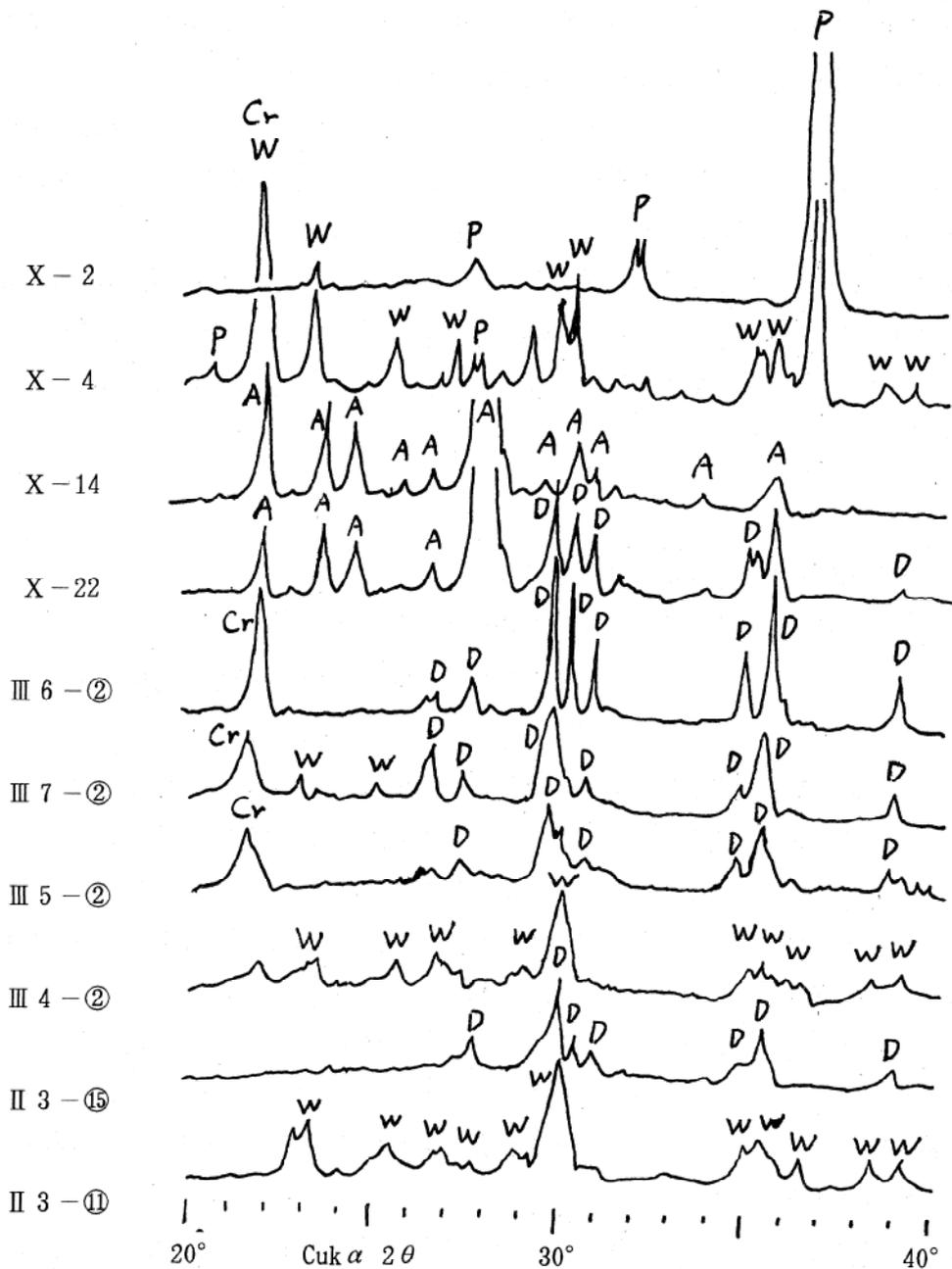


図1. 釉のX線回折図（ピーク記号は表1、2参照）

- (1) X-2、-4は黄瀬戸風の組織の釉であるが、酸化鉄添加量が5%と多すぎることもあり、暗い黄から暗い灰黄の発色で良くない。構成結晶は α -ワラストナイト、 β -ワラストナイトで、前者は透明性の強いこの組成付近の釉の主構成鉱物で、 $\text{CuK}\alpha$ 2θ 36.7° の(008)面の配向性が大きい(素地面に平行に008面が配向する)。
- (2) X-14、-22は良好な伊羅保釉で、前者はセミマットで暗い灰黄緑、後者は完全な強いマット組織で、ごく暗い黄の発色をする。後者にはディオプサイドも存在しこれが黄色味を強くし、またマット性を強めると考えられる。
- (3) 黄瀬戸釉の発色は構成鉱物が重要な影響を及ぼし、ディオプサイドが存在し、しかも焼成過程の冷却中に釉ガラスから再結晶する場合に最も良好な発色をすると推測される。再結晶か昇温過程で

の固相反応の生成物かは回折ピークの分離の程度で推定できる。例えば、図1のⅢ-7-②においてはピークの分離が悪い。これは昇温過程の生成物と思われ、そのため鉄イオンの固溶も不十分で発色が悪いのではないかと考えられる。一方Ⅲ-6-②、Ⅲ-8-②、Ⅲ-9-②ではピークはよく分離している。これら良好な発色の釉には α -クリストバライトも存在する。これが釉の発色、組織に影響を及ぼしているか否かは不明であるが、注意する必要がある。

今回の試験ではZnOを添加して釉の熔融性を高め、冷却中にディオプサイド結晶を晶出させることで、良好な黄瀬戸釉を得た。焼成温度、釉組成を適切にすればZnOを添加しなくてもディオプサイド結晶を晶出させることができるであろう。これが本来の伝統的な黄瀬戸釉組成であると思われる。

(2) 意匠開発に係る情報処理技術の研究とその指導・普及

《コンピューターグラフィックシステムによるプレゼンテーション》

応用技術部門 榎谷 幹雄、岡本 康男、水野加奈子

近年のコンピューター技術の進歩にはめまぐるしいものがあり、それにとまってデザイン業界にも優れた道具として急速に導入されてきている。全国的に見ても、陶磁器デザインの分野にはすでに導入が進んでおり、当業界でも陶磁器デザインに最も適したコンピューターグラフィックシステム（以下CGシステム）の検討が早急に必要とされている。そこで、平成7年度よりCGシステムをいかに効率的に陶磁器デザインの現場に取り入れ活用していくかの検討を行ってきた。

その結果として、まず1つにデータベース（情報処理）構築としての活用方法を考えた。陶磁器の商品開発においては、雑誌等のメディアや他産地から得られる新しい情報が大切になる。そのほか、陶磁器業界で今までに生産されてきた多くの製品から伝統工芸品・美術品にいたるまでのもののデザインも貴重な情報となる。

今まではこれらの情報は膨大な量の写真や文字として残されているものの、欲しいときに欲しい情報を得ることは極めて困難なものであった。しかし、CGシステムにこれらの写真を取り込み、文字を入力しデジタルデータ化して保存することにより、いつでも検索できて即座に必要な情報を得られるようになる。

2つめとして、グラフィックデータ作成としての活用方法を考えた。実際に試作をする段階になって、そのシェイプ・加飾・色を検討するのにCGシステムを活用すれば、最終製品に近いシミュレーションおこなうことができるようになる。

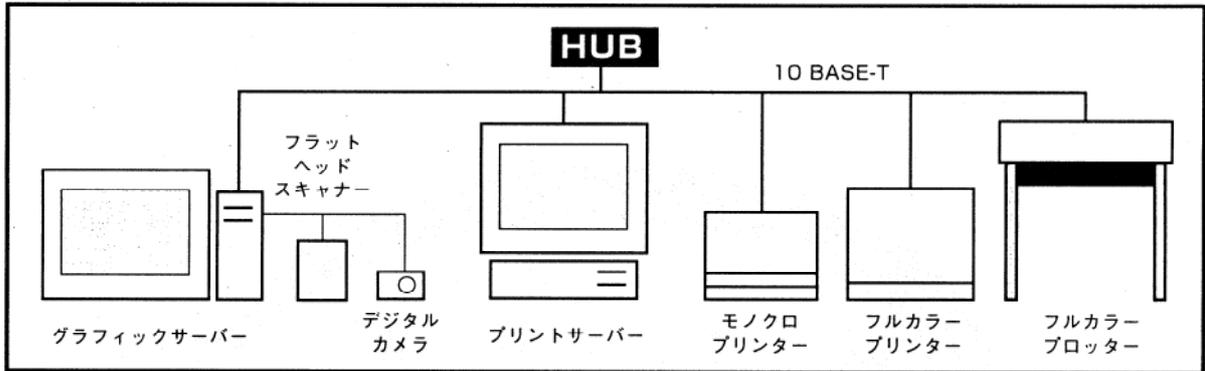
また、当業界の中で頻繁に使われている加飾方法である下（上）絵付転写の原画作りは、現在でも手描きに頼ることが多く高度な技術と経験を要しているが、その中で色替えや幾何学模様や連続する模様を描くことにおいてはCGシステムの得意とするところであり、大幅な時間短縮が可能になる。

さらに、シェイプについても今まではロクロで原型をおこしていたが、CGシステムで3次元ア

アプリケーションを用いて立体的にイメージを作成すれば、モニター上で上下・左右からのシェイプの確認ができ、同時に、出力したものによるプレゼンテーションも行うことができる。

そこで、これらの作業に適したCGシステムの構築を検討した結果、デザイン業界で最も普及しているアップル社のマッキントッシュを主体にしたシステムを導入した。

導入したCGシステムの構成は次のとおりである。



なお、これらのCGシステムの活用事例として、今年度パイロットデザインした試作品のプレゼンテーションパネルを添付する。(パネルA～E)

【A】

平成8年度集積活性化支援事業・パイロットデザイン試作



三重県窯業試験場

「集食談器」

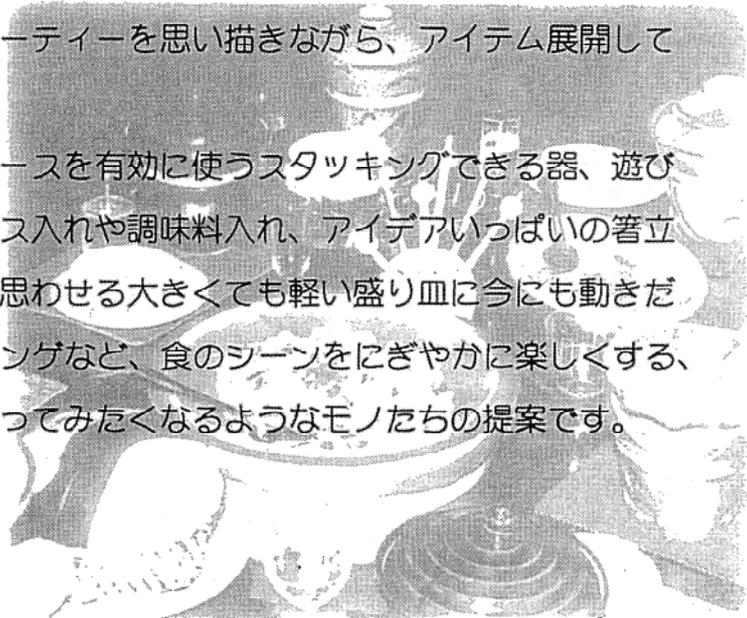
(しゅうしょくだんき)



人が、“集まり”“食し”“談ずる”ときの“器”にはどんなものが・・・？

自分好みの材料を選んで、味付けして・・・テーブルの上でそれぞれが好き勝手に料理できる、ひとり用小鍋“KATTE Nabe”をメインにしたパーティーを思い描きながら、アイテム展開していきました。

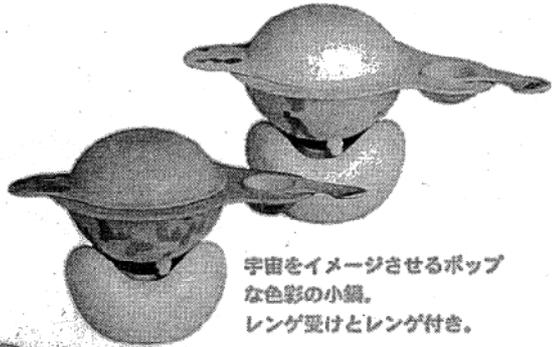
狭いテーブルスペースを有効に使うスタッキングできる器、遊び心を持ったスパイス入れや調味料入れ、アイデアいっぱいの箸立て。おやっ！？と思わせる大きくても軽い盛り皿に今にも動きだしそうなAnimalレンゲなど、食のシーンをにぎやかに楽しくする、そしてちょっと使ってみたくなるようなモノたちの提案です。



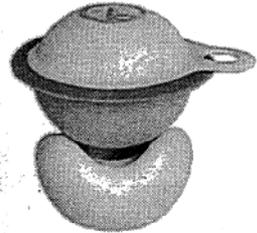
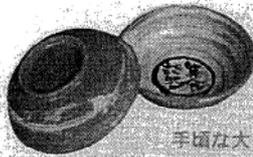
土の暖かみを感じられる小鍋。
和風料理にどうぞ。



宇宙をイメージさせるポップ
な色彩の小鍋。
レンゲ受けとレンゲ付き。



手頃な大きさの小鉢。



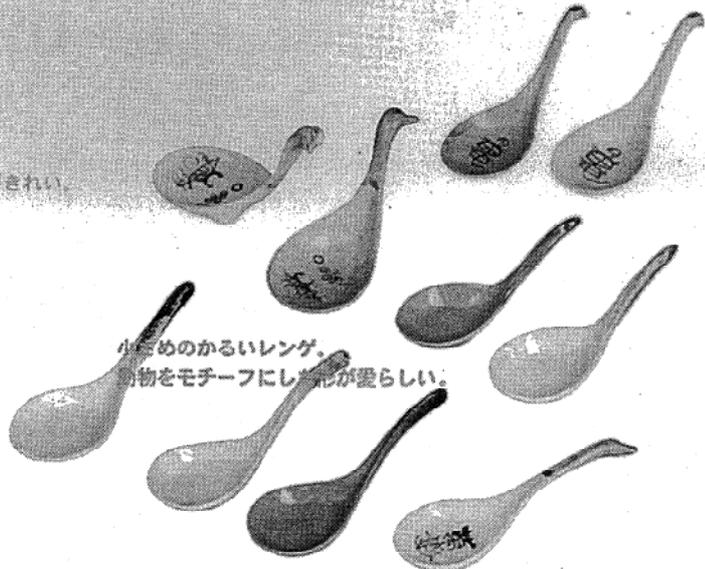
取っ手がなくてどこでも持て
るUFO小鍋。

ひとしずく

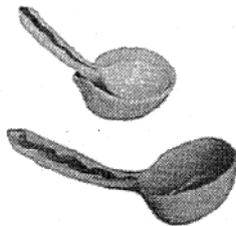
北欧風のモダンな小鍋。
有機的な波のフォルムがきれい。



小さめのからいレンゲ。
動物をモチーフにした形が愛らしい。

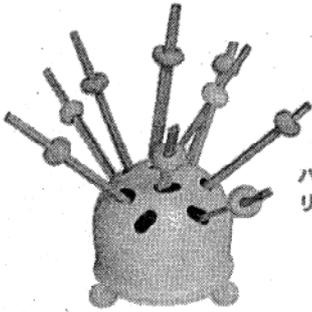


今までにないタイプのレンゲ。
シェルのようなフォルムが印象的。

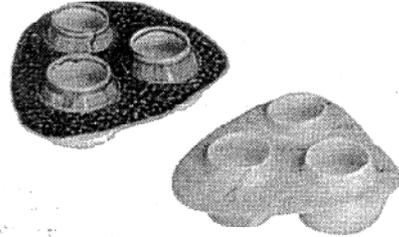


【D】

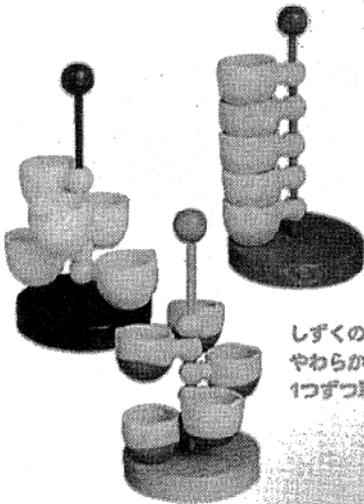
ユニークなフォルムの調味料入れ。



パーティーの時に楽しいはしたて。
リングになったはしおきがカラフル。



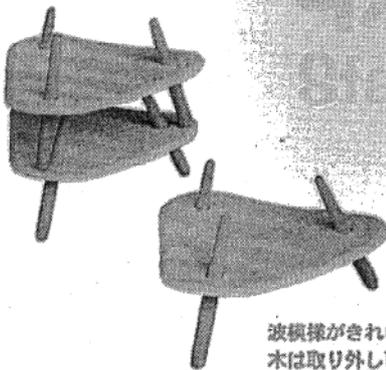
Unique



しずくのようなリムが
やわらかな雰囲気のスライス入れ。
1つつ取り外し可能。



陶と木を組み合わせせた盛り皿。
木は取り外し可能。



波模様がきれいなオードブル皿。
木は取り外し可能。



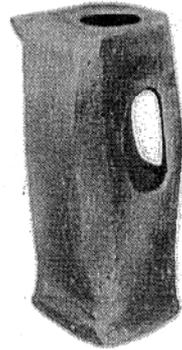
オードブル皿にも、
サラダボールにも。

【E】

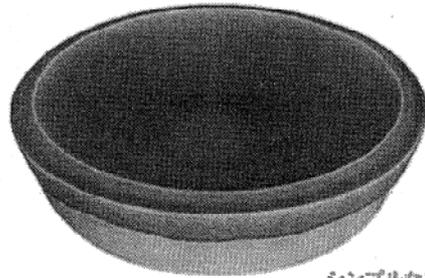
やわらかで
あたたかみのあるコンロ。



伝統的な釉薬を使った、
手作り風だし入れ。
花器にしても・・・。

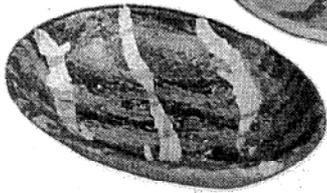
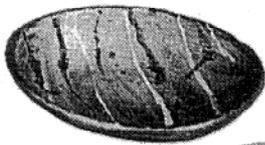


軽さ
Light

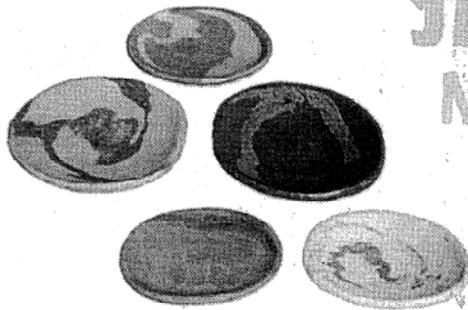


シンプルなフォルムと、
鮮やかなトルコブルーが
美しい盛り皿。

手作り風の円鉢。



振動成形
New Technology



マーブル模様がきれいな中皿。
3つ付き。

5. 活性化支援事業の成果及び今後の課題

平成7年度から続く特定中小企業集積活性化促進事業で、萬古焼業界と三重県窯業試験場が目指したのは、「魅力的な土もの商品」であった。これを創り出すために平成7年度において、窯業試験場では「三重県坏土」を開発し、萬古陶磁器工業協同組合では「振動成形技術」を研究した。そして、今年度、いよいよ試作研究が本格化し、事業主体である萬古陶磁器振興協同組合連合会と窯業試験場で試作品を制作した。

活性化支援事業として窯業試験場が制作したパイロットデザイン試作品は、東京で行われた求評会において、萬古焼業界の示唆になるとの評価を受け、萬古陶磁器振興協同組合連合会で構成する7グループの試作品の参考作品とされた。

また、商品開発プロセスの啓蒙・普及のために3回にわたり開催したデザインセミナーでは生産側、販売側からの様々な情報を伝えることができた。

さらに今年度導入した、分光光度計、コンピューターグラフィックシステム等の機器により、今までの切り口とは違った新たな側面から、製品開発につなげることができた。

本事業を通じて萬古焼業界が、従来の輸出型産地から「魅力的な土もの商品」を持つ内需型の産地へと転換を図る一助になったと考えている。

また、今後の課題としては次の3点があげられる。

- (1) パイロットデザイン試作品を現実の流通商品として対応できるような細部の改良と生産性への対策
- (2) 加飾技術に係る、さらに多くのデータ収集とその利用
- (3) コンピューターグラフィックシステムによる、さらに高度なデザイン開発

(2) 三重県下碎石・砂利プラントからの廃泥の有効利用の研究

次 長 國 枝 勝 利
応用技術部門 岡 本 康 男

1. はじめに

道路の路盤材やコンクリート用骨材に多量の碎石や砂利が使用されている。昭和30年代半ばまでは、これら路盤材や骨材のほぼ全量が河川砂利から供給されていたが、環境の悪化と河川の管理面から、昭和39年以降、主要河川における砂利採取禁止や数量規制が行われるようになった。現在では全国的に見て河川砂利は全供給量の10%程度を占めるにすぎないと考えられる¹⁾。三重県もおおよそこの状態にあると思われる。

この河川砂利の生産量の低下を補うため、碎石の供給が多くなり、特に三重県は東海・関西地域の大消費地域を控え、かつ地質的にこれら原料に適する古生代、中生代の砂岩・泥岩に恵まれているため大量に碎石が行われている。この他に県下では、碎石の他にミンチ堀りと称される、旧河川敷あるいは氾濫原とみなされる平坦地の地下の砂れき層を対象として採掘する陸砂利（カツリ）や、新生代第三紀以降に堆積した未固結の砂れき層や段丘堆積物を原料とする山砂利も生産されているが、将来的には碎石の占める割合がさらに増えるものと考えられる。参考のため図1に主要骨材資源の概念図を示した。

道路などの路盤材には碎石等の粉砕物をそのまま使うことが多いため、細かい廃泥は基本的に多くは発生しない。一方、コンクリート用骨材はコンクリートの流動性、強度等の面から細粒部分を除く必要があるため、大量の廃泥が生ずることになる。一般の骨材製造メーカーでは、廃泥懸濁水に凝集沈降剤を加えて濃集した懸濁液をフィルタープレスでケーキに脱水処理した後運搬処理しているが、一部沈澱池に自然沈降させる方式も取られている。しかしこの方式は処理能力に限界があるため凝集沈降-フィルタープレス方式に移行しつつある。

本研究は、主に碎石により骨材を製造している業者（碎石業）から得る廃泥の物理的・化学的性質を明らかにし、窯業製品への有効利用のために行ったものである。短期間で完成できる研究ではないため今後も継続する予定である。

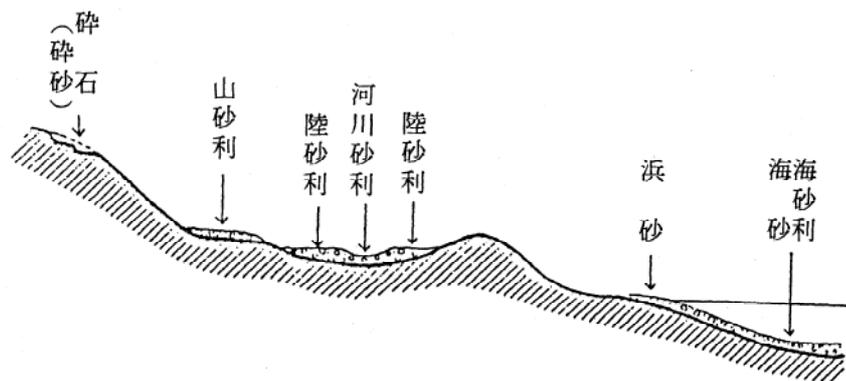


図1 主要骨材資源の名称・概念図

2. 三重県下の砕石業者の調査結果概要

平成8年10月から11月にかけて、主として三重県採石協会の砕石部会所属の工場（南勢地域の2工場は砂利組合に所属）を訪問し、そこから排出されている廃泥の量・処理方法、廃泥の元の岩石（母岩）の状態を調査した。またこれらの工場の廃泥の、化学分析、X線回折（鉱物分析を目的とする分析法）、粒度分析、焼成試験及び可塑性試験を行った。一部郵送していただいた工場もあるが、以下に調査をした企業と主な内容を表1にまとめた。なお、廃泥調査に精密さを求めるならば三重県砂利組合協同組合連合会所属の工場も調査する必要があるが、今回の目的が廃泥の化学的・物理的性質の把握を主目的にしているため、砕石部会の調査のみでも、基本的に十分な資料が得られると考えられるため、時間的な制約もあり砂利組合の調査は行わなかった。

表1 調査した砕石工場及び採石場の地質

A. 調査した業者：

桑名市周辺――多度開発。トモエ商店。諸岡建材。杉山コンテック。出口組。
鈴鹿・亀山周辺――石鈴産業。イシバシ工業。余野部建材。
松阪・志摩周辺――松阪興産。八幡工業。マエックス。
南勢地方――紀北砂利。日本土石工業。

B. 各採石場の地質概要：

桑名市周辺――砕石用の岩石は、中生代三畳記～ジュラ紀に属する美濃帯北勢南濃層の砂岩を対象に、養老山地で採掘しているが、泥岩も砂岩と互層を成して存在することが多いため、泥岩（一部粘板岩化している）もともに採取している。一般的に、鉱物組成は石英、長石、緑泥石（クロライト）、雲母、石灰石からなる通常タイプの砂岩・泥岩である。また、一部工場（出口組）では鈴鹿山脈の古生代二畳紀霊仙山層の石灰岩を粉砕してコンクリート骨材を製造している。良質の（鉄分の少ない）石灰岩で大部分カルサイトからなり、少量のドロマイトと石英を伴う。

なお一部山砂利を大量に使用して砂利製造を行っている工場（杉山コンテック東員工場、トモエ商店東員砂利工場。いずれも砕石も原料に使用している）がある。山砂利は新生代第三紀庵芸層群暮明礫層から採掘している。その廃泥はこれを反映していて鉱物組合せは上述と同じであるが、量比では長石が多く特にカリ長石が特徴的に多い。

鈴鹿・亀山周辺――いずれも、古生代二畳紀の入道ガ岳層（石鈴産業）とその相当層の柘植層（イシバシ工業加太工場、余野部建材柘植工場）の砂岩を対象に採掘している。前者の鉱物組成は石英、長石、緑泥石（クロライト）、雲母からなる通常の砂岩であるが、後者は熱変質をかなり受けているらしく、鉱物組合せは前者とあまり変わらない（一部石灰石が含まれることがある。特に余野部建材の切り羽では石灰岩が周辺に確認されていて廃泥に入ることもある）が雲母が非常に多い。またイシバシ工業亀山工場では阿山郡阿山町槇

に入ることがある)が雲母が非常に多い。またイシバシ工業亀山工場では阿山郡阿山町榎原の第三紀鮮新世古琵琶湖層群の未固結砂岩を主原料としている。この砂岩は陶磁器業界に一部使われている蛙目粘土の一種であり、粘土鉱物のカオリナイトを細粒部分に含むため廃泥にこれが検出される。

松阪・志摩周辺――志摩郡で砕石している八幡工業は、三重県で唯一火成岩を採掘の対象としている。岩質は石英閃緑岩(国際正式分類ではトータル岩(石英、角閃石、黒雲母、中性斜長石からなり、カリ長石は含まない)で広域圧力変成を受けていて、流理構造がよく発達している。流理に直角方向は非常に強度が高い。この廃泥はその鉱物組成を反映している。度会郡(本社は志摩郡磯部町にあるが、採石場は度会郡南勢町神津佐)で砕石しているマエックスは中生代時代未詳の四万十層群の砂岩・泥岩互層を砕石の対象としている。鉱物組成は他の地域の岩石と同じであるが石灰石の含有量が多い。またこの採石場は部分的に蛇紋岩の細脈が貫入しているらしく、その部分は暗緑色の透明感のある状態を示す。現在のところ蛇紋石かどうかはやや疑問があるが、地質学上興味のある事実であり、今後機会があれば研究・調査を行いたい。

松阪興産高木工場は陸砂利のみで砂利を生産している。廃泥の鉱物組成は石英、緑泥石、雲母、角閃石、長石からなり、供給源となった岩石が火成岩、堆積岩両者であったことを暗示している。

南勢地方――紀北砂利の廃泥は大部分をマエックスとおなじ四万十層群の泥砂岩層砕石物の水洗物から排出される。また日本土石工業は三重県下では唯一新生代第4紀層の海成海岸段丘の砂礫層を採掘の対象としている。

なお、この調査の対象となった14工場の廃泥の年間排出量はおおよそ65万トンで、これに調査しなかった砕石工場と砂利組合関係の廃泥を加えれば、おそらく年間100万tを越えるものと考えられる。

3. 実験及び結果

3. 1 廃泥の物理的・化学的性質の解明

各工場から集めた廃泥試料の内代表的なもの19種について各種の試験を行った。

3. 1. 1 化学分析、鉱物同定

化学分析、X線回折による鉱物同定の結果を表2に示す。なお、表1で概略を述べた廃泥の母材について個々の試料について記載した。

表2の化学分析の結果から次ぎのことがいえよう。

表2. 砕石・砂利プラントからの廃泥の化学分析・鉱物同定

1. 化学分析値

No.	試料	化学分析値 (mass%)											
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	灼減	Total	MnO	P ₂ O ₅
1	イシバシ工業加太工場廃泥	63.82	15.34	6.69	0.76	2.41	2.32	2.72	2.76	2.9	99.72	0.27	0.17
2	〃 亀山工場廃泥	64.88	17.54	5.22	0.54	1.22	1.34	1.93	2.87	4.4	99.94	0.15	0.10
3	多度開発沈澱池沈下物	57.58	18.74	6.54	0.64	2.57	2.12	1.79	4.12	5.9	100.00	0.11	0.16
4	〃 イハラ粉碎ダスト	66.68	14.93	4.75	0.54	2.14	1.47	2.54	3.52	3.6	100.17	0.08	0.14
5	トモエ商店南濃工場廃泥	61.97	16.83	6.37	0.68	2.02	1.78	2.29	3.70	4.4	100.04	0.18	0.19
6	〃 乾式粉碎ダスト	67.48	15.55	4.93	0.59	0.87	1.41	2.58	3.55	3.1	100.06	0.12	0.16
7	余野部建材乾式粉碎ダスト	62.00	15.01	6.35	0.69	3.37	1.98	2.33	3.40	4.3	99.43	0.15	0.15
8	〃 廃泥	55.32	15.87	7.03	0.76	2.71	2.14	1.87	2.97	10.7	99.37	0.18	0.15
9	諸岡建設沈澱池沈下物	58.73	20.49	5.88	0.64	0.60	1.55	2.17	3.55	6.0	99.61	0.10	0.09
10	石鈴産業廃泥	63.26	17.64	5.82	0.65	0.94	1.47	2.27	3.34	3.9	99.29	0.19	0.15
11	杉山コンテック東員工場廃泥	67.38	15.96	4.10	0.52	1.46	1.08	1.80	3.28	4.2	99.78	0.10	0.09
12	松阪興産高木工場廃泥	64.31	15.45	6.64	0.76	1.93	2.17	2.63	2.43	3.3	99.62	0.16	0.17
13	マエックス沈澱池沈下物	61.71	15.90	5.18	0.70	3.45	1.80	2.53	3.20	5.0	99.47	0.08	0.12
14	八幡工業廃泥	52.46	16.37	11.80	1.46	4.65	3.84	2.08	2.44	4.3	99.40	0.18	0.33
15	〃 藤工場砕石微砂	59.70	13.70	9.51	1.40	5.94	3.01	2.18	2.33	1.4	99.17	0.17	0.59
16	出口組二之瀬プラント集塵物	71.32	13.31	3.34	0.40	1.86	1.60	2.97	3.19	2.2	100.19	0.06	0.08
17	出口組石灰石粉	4.17	0.25	0.02	tr.	51.59	2.38	tr.	0.01	42.1	100.52	tr.	0.13
18	紀北砂利沈澱池沈下物	64.07	16.50	5.13	0.57	1.55	1.26	1.91	3.72	4.9	99.61	0.11	0.09
19	日本土石工業廃泥	68.25	16.35	4.47	0.52	0.26	1.06	1.50	2.47	4.8	99.68	0.10	0.11

2. 鉱物同定結果

No.	X線回折による鉱物同定結果													主な母原料
	Q	Ab	Or	Mi	Ch	Ca	Ka	Ad	Am	Sm	G	D		
1	+++	++	+	+++	++								S	
2	+++	++	++	++			++			+			Y, S	
3	+++	++		+	+	+				+			S	
4	+++	++	+	+	++	+							S	
5	+++	++	+	+	++	+							S	
6	+++	++	+	+	+	+							S	
7	+++	++		+++	+	+							S	
8	+++	++		++	+	+							S	
9	++	++	+	+			+			++			W	
10	+++	++	+	+	+								S	
11	+++	++	++	+	+	+							Y, S	
12	+++	++	++	+	++				+				R	
13	+++	++		+	+	++							S	
14	+++			++	++			++	++				G	
15	+++			++	+			++	++				G	
16	+++	+++	++	+	+	+							S	
17	+					++++						+	L	
18	+++	++	+	+	+	+							S	
19	+++	++	++	+	+		+				+		Y	

(注)

X線回折同定鉱物・存在量

Q: α-石英, Ab: 曹長石, Or: 正長石, Mi: 雲母, Ch: クライト(緑泥石), Ca: 石灰石, Ka: カリウム鉱物, Ad: アンデシ(中性長石), Am: 角閃石, Sm: スメクタイト, G: キアプサイト, D: ドロマイ
 ++++: 非常に多い, +++: 多い, ++: やや多い, +: 少ない, 空欄: 検出できず

主な母原料

S: 古生代又は中生代の砂岩・泥岩
 Y: 山砂利, R: 陸砂利, L: 石灰岩
 G: 火成岩(ここではトナカ岩)
 W: 中生代砂岩・泥岩の地表風化物

なお試料名で『廃泥』と記載のあるものは、すべてフィルタープレスで脱水ケーキの形で排出されるものである。

- (1) 砂岩・泥岩の砕石からの廃泥：各試料大きな違いはない。アルカリ土類（CaO+MgO）が4～5%含まれており、このため窯業的な性質では、焼結温度が非常に低くなるとともに焼結温度範囲が狭くなることが予想される。アルカリ土類が多いのは石灰石と緑泥石が多く存在するためである。
- (2) 山砂利からの廃泥：砕石起源のもの比べると、アルカリ土類が少ないのが特徴である。これは、長期間地表近くの風化により、アルカリ土類、特に石灰石の溶脱でCaOが減少するためである。これは焼成性状に影響を及ぼし、焼結温度が高く、また焼結温度巾が広くなり、タイル、施釉植木鉢、せつ器質食器素地用原料に使用できると思われる。

また鉱物同定結果から以下のことがわかる。

- (1) 砂岩・泥岩の砕石からの廃泥：石英、ソーダ長石、雲母、クロライトが常に存在し、カリ長石、石灰石もしばしば検出される。窯業的な視点からは、粘土鉱物のカオリン鉱物やスメクタイトが存在しないため可塑性に乏しいと予想される。
- (2) 山砂利からの廃泥：砂岩・泥岩の砕石に比べると石灰石が少ないか含まれないのが特徴で、No. 11で石灰石が検出されるのは母材料に砕石も使用しているためである。地質時代及び現世で地上の風化を著しく受けている母材を使用している試料にはカオリナイト、スメクタイトが存在し、そのため可塑性が良いと予想される。また、No. 19の試料では多雨の亜熱帯地域のような強い風化により生成するギブサイト（水酸化アルミニウム）が検出される。堆積状態から考えると現世の風化生成物と考えられ、母岩の位置する南牟婁郡御浜町阿田和地域の風化環境が温帯よりもむしろ亜熱帯に近いことを窺わせる。

3. 1. 2 粒度分析

測定には（株）堀場製作所製レーザー回折式粒度分布測定器LA500を使用した。その結果をメジアン径により表3に示す。粒度は工場によって著しく異なり、各工場の砕石、山砂利等の母材の粉碎処理方法の違いを示している。粒度は試料の可塑性と焼結性に影響し、細かいほど可塑性は良くなり低い温度で焼結するが、収縮率は大きくなる。廃泥を粗陶器（普通れんが、粘土瓦等）用原料に使う場合は、コストの関係から、基本的に加工処理を施さないであろうから、この粒度が原料としての性質へ及ぼす影響は大きい。しかし、陶磁器食器、施釉植木鉢等の精せつ器用原料に使うには、適当な粒度に粉碎することが必要なため、初めの粒度はあまり重要ではない。

窯業的な観点から見れば、ほとんどの廃泥は陶磁器食器用に製土された素地に比べるとかなり粗いと言える。

3. 1. 3 焼成試験

採集した廃泥を乾燥させた後、適量の水を加えて混練し最良の可塑状態にした後（この添加水量を可塑水量という）、石膏型で手おこし成形で、45×45×5mmの焼成用試験体を成形した。粒度の粗い試料では、可塑性に乏しく成形がかなり困難であった。手の感触による可塑性の良否と粒度の相関性を図2に示す。これから粒子が細かいほど可塑性が向上することがわかる。これは廃泥に含まれている粘土鉱物の微粒化効果によるものであろう。また、山砂利及び地表風化物起源の廃泥は3.1.1で予想したとおり、岩石起源のものより可塑性が優れている。

表3. 廃泥の可塑性、メジアン径及び焼成した試験体の性状

No.	試料	可塑水量	可塑性	吸水率 (%)					
				1000℃	1050℃	1075℃	1100℃	1125℃	1150℃
1	イシバシ工業加太工場廃泥	300	△	25.61	21.29	16.90	12.62	3.72	0v. F
2	“ 亀山工場廃泥	280	○	22.08	19.10	17.27	14.14	9.57	3.94
3	多度開発沈澱池沈下物	350	◎	14.99	7.04	0.32	0.19	0.46	0v. F
4	“ インハラ粉碎ダスト	290	○	23.37	21.75	14.83	0.36	0.17	0v. F
5	トモエ商店南濃工場廃泥	300	○	17.99	11.60	3.87	0.30	0.35	0v. F
6	“ 乾式粉碎ダスト	250	○	17.47	13.14	9.86	0.70	0.47	0v. F
7	余野部建材乾式粉碎ダスト	250	△	25.03	22.75	20.02	13.51	11.45	0v. F
8	“ 廃泥	250	○	19.79	16.52	12.26	6.36	5.82	0v. F
9	諸岡建設沈澱池沈下物	380	◎	15.94	4.01	0.30	0.17	0.16	0.10
10	石鈴産業廃泥	300	○	22.92	17.54	10.26	4.45	3.26	0v. F
11	杉山コンテック東員工場廃泥	300	△	21.26	17.79	14.66	8.59	5.41	0.66
12	松阪興産高木工場廃泥	350	○～◎	25.30	19.92	12.91	4.84	0.26	0v. F
13	マエックス沈澱池沈下物	300	△	25.73	24.68	20.09	14.35	4.14	0v. F
14	八幡工業廃泥	350	△～×	30.07	27.26	23.35	17.24	10.82	0.74
15	“ 藤工場碎石微砂	-	-	-	-	-	-	-	-
16	出口組二之瀬フラスコ集塵物	200	×	未焼固	20.15	-	15.43	8.20	0v. F
17	出口組石灰石粉	-	-	-	-	-	-	-	-
18	紀北砂利沈澱池沈下物	300	○～◎	18.53	14.07	7.91	3.54	8.58	0v. F
19	日本土石工業廃泥	330	○	26.55	20.40	16.42	12.34	8.98	5.38

No.	全収縮率 (%)						メジアン径 50%粒度
	1000℃	1050℃	1075℃	1100℃	1125℃	1150℃	
1	0.7	2.4	5.4	7.3	7.0	1.8	17.15 μ
2	4.8	5.8	6.6	7.5	10.1	11.8	21.91
3	9.4	12.4	15.2	15.6	9.6	5.4	4.88
4	1.9	2.6	6.4	11.7	10.3	7.9	12.30
5	3.9	6.6	10.7	12.0	9.8	1.0	7.54
6	2.2	4.0	6.4	8.1	6.0	2.4	24.42
7	-0.4	1.1	2.1	4.7	5.0	-0.8	16.21
8	4.8	6.8	8.7	9.1	5.3	0.8	10.22
9	10.8	16.9	18.9	17.9	17.8	17.8	10.50
10	2.7	5.1	9.6	10.9	4.8	2.6	11.10
11	2.7	4.5	5.9	9.0	10.3	9.7	24.95
12	2.5	4.9	8.5	12.2	13.3	13.4	17.39
13	1.1	0.8	5.8	5.4	8.0	2.1	30.68
14	2.9	3.8	5.1	8.1	10.8	13.8	122.77
15	-	-	-	-	-	-	51.42
16	-	-	-	-	-	4.0	40.48
17	-	-	-	-	-	-	26.32
18	4.1	6.6	9.0	11.4	3.6	1.1	11.08
19	2.1	5.4	7.4	8.9	10.4	12.2	12.75

可塑水量：練り土成形の際、原料 1 kgに必要な水量 (cc)。
 可塑性：×ない，△やや乏しい
 ○かなり良い，◎良好
 吸水率：0v. F:完全に過焼状態でカルメラ状に発泡、膨張している状態。
 全収縮率：太字で示した焼成温度で最大を示す（この温度付近で最も焼結する。）

このように作成した試験体の焼成性状は、廃泥を粗陶器原料に使用する場合の基礎資料となる。表3に各温度で焼成した試験体の吸水率、収縮率を示した。なお焼成条件は、昇温速度200℃/時間、最高温度保持1時間である。また表3には可塑水量、可塑性、粒度（メジアン径）を併記した。

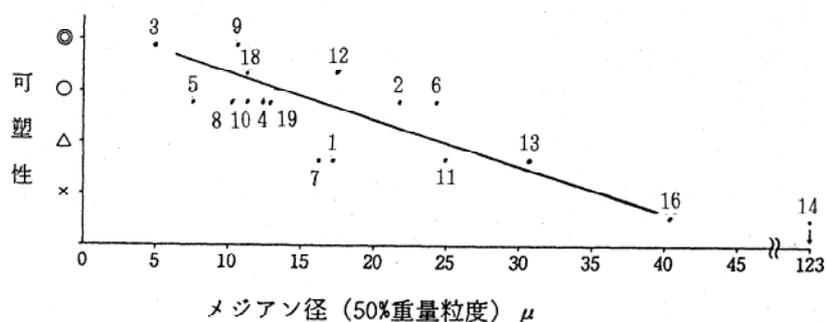


図2. 廃泥の平均粒径と可塑性との相関関係
(図中の番号は表2の試料No.を参照)

この表から次のことがわかる。(1)砂岩・泥岩起源の廃泥は1075℃を越えると急速に焼結が進み、1100℃くらいの焼成で最もよく焼結し、1150℃では過焼の状態となることからわかるように低温で非常に急速に焼結状態が変化する。このような素材を単味で陶磁器用原料に使うと焼成巾が極めて狭いために製品の品質の安定が困難であることは容易に理解できる。従って砂岩・泥岩起源の廃泥をそのままの状態を使う場合は、『普通れんが』のような粗陶器用の原料に利用すべきであろう。(2)一方、山砂利が多く使われている場合や地表風化物起源の廃泥は焼結が緩やかに進み1150℃焼成でも焼結していない。このような廃泥はストーンウェアのような陶磁器食器やコンポート等の原料に使用できそうである。(3)しかし、粘土鉱物のスメクタイトを多量に含む廃泥は収縮が非常に大きくなるため、原料として多量には使えない。

今回集めた廃泥は酸化鉄をかなり含有しているためかなり濃く着色し、しかも焼成温度（焼結状態）の影響が著しい。陶磁器製品は焼結状態の他、色合いも大切な要素であるため主な廃泥の焼成試験体の色の測定を行った。その結果を表4に示す。

表4から赤レンガのような色の粗陶器製品製造にはこれら廃泥を1075℃から1100℃で焼成すればよいことがわかる。ただし可塑性に乏しい傾向があるため原料の構成に注意する必要がある。

表4. 主な廃泥試料の焼成色 (H V/C, JIS Z 8102による色表示)

焼成温度 (°C)	試料名				
	No.1 イバシ工業 加太工場廃泥	No.2 イバシ工業 亀山工場廃泥	No.9 諸岡建設 沈澱池沈下物	No.10 石鈴産業廃泥	No.11 杉山コンテック 東員工場廃泥
1000	4.52YR 5.07/4.57 くすんだ黄赤	3.89YR 5.31/5.68 くすんだ黄赤(く焼)	3.06YR 5.33/7.04 くすんだ黄赤(く焼)	3.37YR 4.90/5.39 くすんだ黄赤	3.79YR 5.42/6.26 くすんだ黄赤(く焼)
1050	3.56YR 4.62/4.20 くすんだ黄赤	3.18YR 4.59/4.20 くすんだ黄赤	1.58YR 4.45/5.91 くすんだ黄赤(ク)	3.14YR 4.50/4.97 くすんだ黄赤	2.74YR 4.82/6.02 くすんだ黄赤(ク)
1075	3.20YR 4.24/3.61 暗い灰黄赤	2.90YR 4.47/5.29 くすんだ黄赤	1.98YR 4.17/4.89 暗い黄赤(茶色)	2.92YR 3.99/4.45 暗い黄赤(茶色)	2.64YR 4.50/5.63 くすんだ黄赤
1100	2.95YR 4.01/3.24 暗い灰黄赤	2.83YR 4.22/4.78 暗い黄赤(茶色)	1.68YR 4.04/4.39 暗い黄赤(茶色)	1.63YR 3.79/3.31 暗い灰黄赤	1.99YR 4.10/4.25 暗い黄赤(茶色)
1125	2.19YR 3.59/2.24 暗い灰黄赤	1.82YR 3.93/3.89 暗い灰黄赤(く焼)	1.92YR 3.97/3.92 暗い黄赤(茶色)	0.37YR 3.63/3.03 暗い灰黄赤	2.38YR 3.89/3.35 暗い灰黄赤(く焼)
1150	7.57YR 3.65/0.95 暗い黄味の灰色	1.91YR 3.71/2.74 暗い灰黄赤	0.39YR 3.97/3.47 暗い灰黄赤	4.65YR 3.77/2.43 暗い灰黄赤	3.68YR 3.85/2.50 暗い灰黄赤

3. 2 陶磁器ストーンウェア用素地試験

廃泥の単味の焼成性状から、山砂利及び地表風化物起源の廃泥は焼結温度が比較的高く、また焼成幅が広いこと、陶磁器食器製品等のストーンウェア施釉製品用素地の原料に使える可能性のあることがわかった。しかしそれでも廃泥のみの組み合わせでは、一般の陶磁器素地より焼成温度巾が狭く、焼結温度も低いため、現状の陶磁器関連技術が応用しにくいこと、また可塑性が不十分で機械ろくろ成形が困難なことが予想される。これらのことを改良するには陶磁器用の可塑性原料である木節粘土または蛙目粘土の添加が考えられる。また廃泥の化学組成・鉱物組成から見て石英成分も添加する必要があると予想される。これらのことから次ぎの陶磁器用原料を選んで廃泥と調合し、適切な素地を得ることを試みた。

可塑性原料には神明黒木節粘土と小名田木節3級を選んだ。前者はアルミナの含有量が30%近くあり、可塑性に優れている。また後者は珪砂を多量に含んだ木節粘土でアルミナは20%以下と少ないが、可塑性はかなりある。

石英成分補填用原料には平木カオリン1級、河合陶石1級、越知谷ろう石、粉末珪砂を選んだ。前から順に、平木カオリンはカオリナイトと石英からなり石英含有量は約65%、河合陶石はパイロフィライト、セリサイトと石英からなり石英含有量は約60%、越知谷ろう石はパイロフィライトと石英からなり石英含有量は約55%、粉末珪砂はほぼ純粋な石英からなる。

廃泥には焼結巾、可塑性等を考慮して、イシバシ工業亀山工場廃泥、杉山コンテック東員工場廃泥、諸岡建設沈澱池沈下物及び石鈴産業廃泥を選んだ。主に山砂利起源の廃泥を中心に構成した。

予備試験の結果などを考慮し、表5のC系素地の試験を行った。原料の混合は含量1kgでポットミルにより湿式で3時間混合粉碎した後212 μ の篩を通過させた。成形、焼成条件は3.1.3と同じである。

表5. C系試験素地調査表

原料名	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
イシバシ工業亀山工場廃泥	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30
杉山コンテック東員工場廃泥	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
諸岡建設廃泥	20	20	20	20						20
石鈴産業廃泥					20	20	20	20	20	
平木カオリン1級	20				20					
河合陶石1級		20				20				
越知谷ろう石			20				20			
粉末珪砂				20				20	10	10
神明黒木節粘土	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
小名田木節3級	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

粉碎処理後の素地の粒度分布を図3に示す。図3からC系素地の粒度分布は四日市萬古焼で広く食器素地等に使用されている半磁器素地よりかなり粗いことがわかる。

表6に焼成した試験体の吸水率と収縮率を示した。吸水率から、焼成巾が高温側に広がり1150~1200℃焼成で満足できる焼結物が得られることが判る。特に石英含有量の多いC1、4、5、8は焼成巾の面で優れている。これらの素地の熱膨張係数を表7に示す。これからC系の4と8は陶磁器素

地用としてはやや熱膨張が大きすぎる事が判る。これは使用原料に粉末珪石を使っているため、焼成後も熱膨張の大きい石英が多量に素地に存在しているためである。また、焼成温度が高くなるにつれて熱膨張が低くなるが、焼成巾の範囲内では急激ではなく、製造上困難をきたすことはないと考えられる。

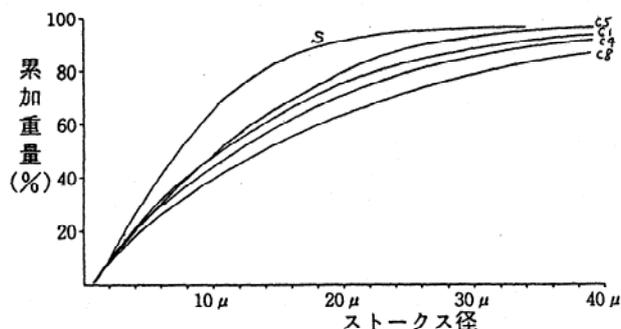


図3. C素地の粒度分布
(S : 半磁器素地)

表6. C系素地の焼成体の吸水率・収縮率

吸水率 (%)

焼成温度	素地番号									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
1100°C	11.90	9.77	9.69	12.76	12.55	10.83	10.63	13.10	11.59	9.61
1125	8.54	7.61	6.08	9.03	10.25	7.71	7.79	11.13	10.05	8.30
1150	4.00	0.48	0.35	3.86	3.39	0.62	0.76	4.23	1.32	3.48
1175	0.35	0.30	0.09	0.85	0.87	0.18	0.38	1.08	1.00	0.80
1200	0.12	0.08	0.07	0.07	0.10	0.08	0.10	0.59	0.43	0.28
1225	0.21	0.33	0.26	0.33	0.32	0.79	1.02	2.81	7.16	4.63

収縮率 (%)

焼成温度	素地番号									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
1100°C	8.9	9.3	10.6	8.0	8.0	8.5	8.3	6.4	7.4	9.2
1125	10.2	11.6	12.7	9.8	8.9	10.4	10.4	7.6	8.7	10.3
1150	11.8	12.9	14.1	11.7	11.5	11.8	11.6	10.1	11.0	12.1
1175	12.9	13.5	14.3	12.7	11.9	12.4	12.6	11.3	11.4	12.4
1200	13.2	13.4	13.8	13.1	12.3	12.4	12.9	11.2	11.1	12.5
1225	12.4	12.0	13.5	12.1	11.6	10.1	10.9	10.5	8.2	10.6

*太字は、この焼成温度で収縮が最大となることを示す。これを越える焼成温度では過焼となる。

表7. 主な素地焼成体の熱膨張係数 (室温～、 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

素地名	1150°C焼成		1175°C焼成		1200°C焼成	
	~600°C	~700°C	~600°C	~700°C	~600°C	~700°C
C1	8.03	7.38	8.13	7.51	7.49	6.93
C4	8.96	8.16	8.71	7.93	8.45	7.74
C5	8.60	7.90	8.30	7.62	7.77	7.18
C8	9.14	8.29	8.81	8.02	8.22	7.51

この熱膨張と吸水率・収縮率の結果から、C系素地の添加物には、焼結しにくいカオリン質原料と珪石の組み合わせにより最良の素地調合が得られると予想できる。

次に表8に焼成体の測色結果を示した。また分光反射率曲線を図4に示す。これらの結果から焼

結または焼結に近い状態になると焼成色はかなり暗くなり、暗い灰黄赤を示すことが理解できる。そのため食器用素地に使うときは釉薬を工夫する必要があるであろう。しかし、無釉及び施釉植木鉢用の素地としては最適の焼成色であり、この方面には有効な素地であるといえよう。

表 9 に X 線回折による焼成体の鉱物変化を示す。1100℃ですでにかなりの量のガラス物質が存在する。

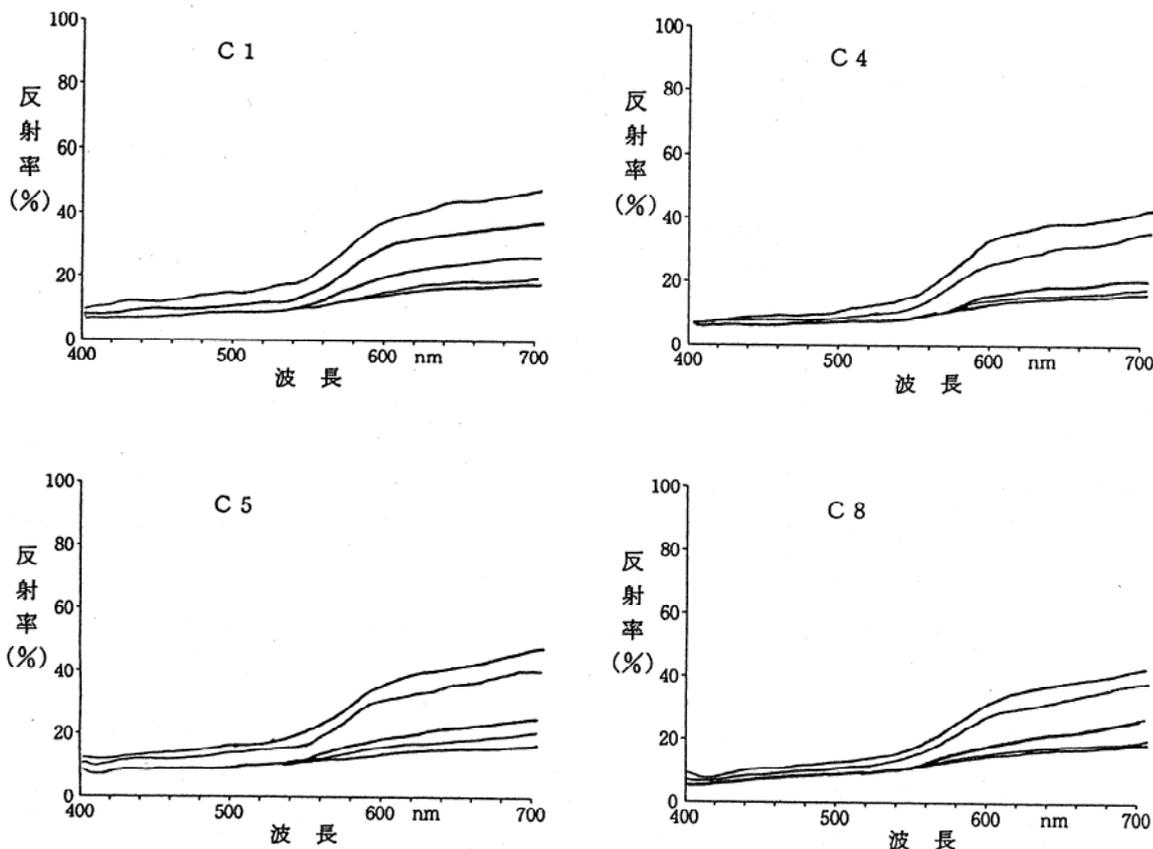


図 4. C系素地の分光反射率曲線
(各図、曲線上から1100, 1125, 1150, 1175, 1200℃焼成体)

表 8. C系素地の焼成色

焼成温度	素 地 名			
	C 1	C 4	C 5	C 8
1100℃	3. 61YR 5. 53/5. 54 くすんだ黄赤	3. 35YR 5. 18/5. 76 くすんだ黄赤(らくだ色)	3. 11YR 5. 52/4. 57 くすんだ黄赤	3. 58YR 4. 98/4. 92 くすんだ黄赤
1125	3. 33YR 4. 97/5. 00 くすんだ黄赤	2. 85YR 4. 61/5. 09 くすんだ黄赤	2. 65YR 5. 10/4. 42 くすんだ黄赤	2. 84YR 4. 65/4. 68 くすんだ黄赤
1150	3. 16YR 4. 38/3. 71 灰黄赤	2. 50YR 3. 94/3. 28 暗い灰黄赤	3. 02YR 4. 32/2. 89 灰黄赤	3. 56YR 4. 08/3. 05 暗い灰黄赤
1175	4. 13YR 4. 08/2. 16 暗い灰黄赤	4. 23YR 3. 82/2. 34 暗い灰黄赤	4. 14YR 4. 10/2. 06 暗い灰黄赤	5. 06YR 3. 81/2. 11 暗い灰黄赤
1200	5. 18YR 4. 20/1. 36 暗い黄みの灰色	3. 89YR 3. 95/1. 38 暗い黄みの灰色	4. 43YR 4. 09/1. 19 暗い黄味の灰色	3. 57YR 3. 97/1. 40 暗い黄みの灰色
1225	8. 11YR 4. 32/1. 27 黄みの灰色	8. 65YR 4. 18/1. 30 暗い黄みの灰色	9. 73YR 4. 47/1. 12 黄みの灰色	7. 23YR 4. 18/1. 18 暗い黄みの灰色

表9. C系素地の焼成による鉱物変化

素地名	鉱物名	焼成温度(°C)			素地名	鉱物名	焼成温度(°C)		
		1100	1150	1200			1100	1150	1200
C 1	Q	+++	+++	++	C 5	Q	+++	+++	+++
	Ao	+	+			Ao	+	+	
	Mu	+	+	+		Mu	+	+	+
	H	+	+	+		H	+	+	+
	G	○	○	○		G	○	○	○
C 4	Q	+++	+++	+++	C 8	Q	+++	+++	+++
	Ao	+	+			Ao	+	+	
	Mu	+	+	+		Mu	+	+	+
	H	+	+	+		H	+	+	+
	G	○	○	○		G	○	○	○

鉱物名 Q: α-石英, Ao: アノソクレス, Mu: ムライト, H: ハマタイト
G: ガラス物質,

存在比は表2参照。

○: CuKα2θ25°を中心にガラス物質の存在を示すベースラインの盛り上がりが見られる。

3. まとめ

主として三重県採石協会の砕石部会所属の工場から排出される廃泥の量及び性質を調べ、これを利用した陶磁器用素地の開発を行った。その結果以下のことがわかった。

- (1) 三重県の砕石・砂利工場からの廃泥の排出量はおそらく年間で100万トンを超える。
- (2) 廃泥の化学的性質及び焼成性状は原料としている岩石の種類を反映する。砂岩・泥岩の砕石から生ずる廃泥は化学組成上アルカリ土類金属が多く含まれるが、山砂利から生ずる廃泥はそれが少なく、特にCaOが石灰石の風化による溶脱でほとんど存在しない。これは焼成性状に大きく影響する。前者は低温で急激に焼結し、後者は焼き幅の広い焼結速度の穏やかな性状となる。
- (3) 砂岩・泥岩起源の廃泥は主に『普通れんが』のような厳しい品質の安定性を求められない粗陶器の原料に、山砂利起源の廃泥はストーンウェア素地のような陶磁器食器または焼結した植木鉢用の原料に使用できる。
- (4) 一般陶磁器用の可塑性粘土、珪石を多く含んだ原料を補助的に添加することでストーンウェア用素地を作成できた。廃泥の使用量は60%前後が望ましい。

以上の結果の他にこれら廃泥は、セメント用原料にも使用可能である²⁾。セメント生産量が年間8000万トンから1億トンであることを考えると、考慮に値する使用方法である。しかし、現時点では、これら廃泥の化学組成範囲のものは、セメント製造上最も取り扱いやすい状態（乾燥粉末状態で流動性がよいこと、品質が安定していること）で工場に納入した上、さらにおおよそ1000円/トン支払う必要があるとされる。流動性の悪いプレスケーキのような塊の状態ではより以上の金額を要する。このような状態では経費上からセメント原料に使えないかも知れない。しかし、特に三重県北勢地方には砕石工場が集中し、しかも同じ岩体を採掘していて、廃泥に安定性が十分期待でき、また近くにセメント工場が存在することから、予備的な試験を行い将来に備えることも大切と考える。

また、今回の研究では行わなかったが、石灰成分と混合しオートクレーブ処理することにより、良質な建材ができる可能性がある。特に、砂岩・泥岩の砕石起源の廃泥は、砕石処理をして間もないため、粒子の表面が化学的に活性を帯びていると予想できるため、その良質な原料となる可能性がある。将来、特に上述した2つの使用面について研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 五十嵐俊雄：日本の骨材資源－とくに砕石資源について－、地質ニュース、368号、(1985)
- 2) 日本セメント中央研究所：私信

注) この研究は三重県環境安全部の委託研究で行ったもので、本報告は研究の要点のみを記載しています。詳細は『平成8年度廃棄物再資源化事業に関する研究報告書』(三重県環境安全部廃棄物対策課、平成9年3月)を参照下さい。

(3) アルミドロスのリサイクルについて

応用技術部門 岡本 康男

1. はじめに

アルミニウムは鉄に次ぐ金属材料として広範な分野で使用されている。しかしアルミニウムの製造は現在の技術では精錬に大量の電気を要するためきわめてエネルギー集約型である。一方、いったん製造されればその後の再溶解エネルギーは新塊の約3%で済み、この時に大気中に放出されるCO₂ガス量も3%以下という特徴を有しており、大量生産消費される金属材料で最も省エネルギー、省資源化、環境保全に貢献する材料である。したがって循環型材料としての利用を目指し、使用済飲料缶をはじめとするアルミニウムの一層のリサイクル推進が叫ばれている。もちろん、リサイクルにも多くの課題があり、その一つにアルミドロスの処理問題がある。

アルミニウムを再溶解する際に、アルミドロスは発生する。一部分は再利用されているものの、多くは廃棄処分されている。また、ドロス中に含まれる窒化アルミニウムが水分と反応してアンモニアを発生するという問題があり、管理型廃棄物に指定されている。しかしながら最近の社会情勢より最終処分場の確保が難しくなりアルミドロスのより安全な処理、有効利用について検討することが急務となっている。

今研究では本県の最終処分場及びアルミニウム再生工場よりアルミドロスを採取し、これの物理的、化学的性状を調査し、焼成、水熱反応による処理について検討した。また、アルミドロスの熱的性状を調査し、窯業原料への有効利用についても検討した。

2. 実験方法

2. 1 アルミドロスの採取

今研究では本県の最終処分場及びアルミニウム再生工場よりアルミドロスを採取した（今後最終処分場で採取した試料をA、アルミニウム再生工場の試料をBとする）。この時アルミドロスの発生過程について、聞き取り調査を行った。

2. 2 アルミドロスの物理的、化学的性状の調査

採取したアルミドロスを化学分析、X線回折による鉱物の同定、粒度分布測定、TG-DTAによる熱的性状を調べた。なお、化学分析については一旦1100℃で焼成し、すべてを酸化物にして分析を行った。

2. 3 アルミドロスの処理実験

2. 3. 1 焼成による処理実験

アルミドロスを450℃、650℃、1,000℃で焼成し、その時の組成変化をX線回折により同定した。

2. 3. 2 水浸による処理実験

アルミドロス2種類と参考試料として高純度窒化アルミニウム（今後Nと示す）5gに対して蒸留水50gを加え攪拌した。常温処理についてはそのまま3時間攪拌し続け、60℃、100℃での処理は

ウォーターバス内で1時間または3時間静置した。これを吸引ろ過し、乾燥したものをX線回折により同定した。

2. 3. 3 水熱反応による処理実験

アルミドロス2種類とN 5 gに対して蒸留水50 gを加え攪拌した。これを反応容器に入れ密封した後、オープンにて140℃、160℃で1または3時間保持した。終了後水中にて急冷し、これを吸引ろ過し、乾燥したものをX線回折により同定した。

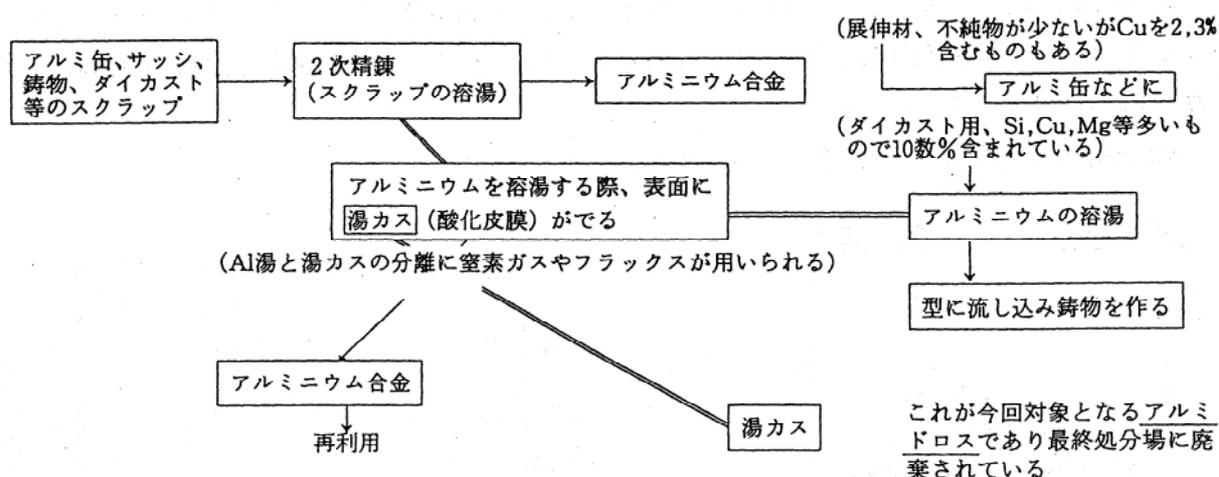
2. 4 アルミドロスの焼成実験

A, BおよびA : B = 1 : 1に混合したものをプレス成形機にて100kg/cm²で乾式加圧成形し、直径3 cmの試料を作成した。これを電気炉で焼成し1,100~1,250℃保持した後、自然冷却した。これらの焼成体の収縮率および吸水率を測定した。

3. 結果および考察

3. 1 アルミドロスの発生過程について

現場にて聞き取り調査を行ったところ、アルミドロスの発生過程の概要について図1に示



フラックスとは：塩素化合物 (NaCl等) とフッ素化合物 (NaF等) の混合物である。溶湯中の酸化物に吸着しながら拡大し、表面に湯カスとして浮かす。その他に脱ガス(脱水素)用、結晶粒微細化用など種々の目的で使用されている。

図1. アルミドロスの発生過程の概要

アルミニウムを再溶解するときに投入するスクラップの種類や精製すべきインゴットの種類に違いがあるため、同じ工場内でもロットによって発生するアルミドロスの性状に違いがある。今後アルミドロスの有効利用を考える際、各会社、各ロットで発生するドロスを混合して性状の安定化をはかる必要がある。

3. 2 アルミドロスの性状試験結果

アルミドロスのX線回折チャート及び1000℃で焼成したときの化学分析値をそれぞれ図2、表1に示す。

表 1. ドロスの化学分析値(1000℃焼成)

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO
A	12.3	71.39	1.82	0.70	0.15
B	10.7	77.93	1.43	0.37	0.17
CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
1.98	8.41	2.28	1.05	0.22	100.3
1.02	5.40	1.47	0.85	0.23	99.6

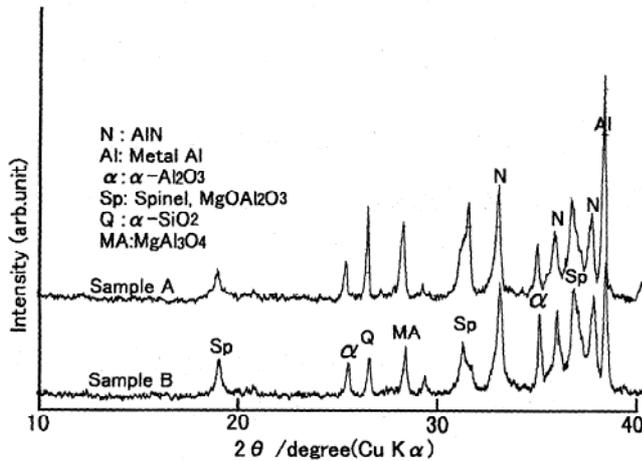


図 2. アルミドロスのX線回折図

X線回折より金属アルミニウム(Metal Al)、窒化アルミニウム(AlN)以外に酸化アルミニウムマグネシウム(MgAl₃O₄)、スピネル(酸化アルミニウムマグネシウム的一种, MgOAl₂O₃)、酸化アルミニウム(α-コランダム, α-Al₂O₃)、酸化ケイ素(α-クォーツ, α-SiO₂)が確認できた。化学分析値よりA, Bともにアルミナ分が多い事がわかる。また、定量できないがCr, Mn, Ni, Cu, Znなどの重金属が微量に含まれていた。これはアルミ缶の塗料などが精錬される際に不純物として取り出されたものと思われる。

次に粒度分布と熱分析(TG-DTA)の結果を図3、図4に示す。

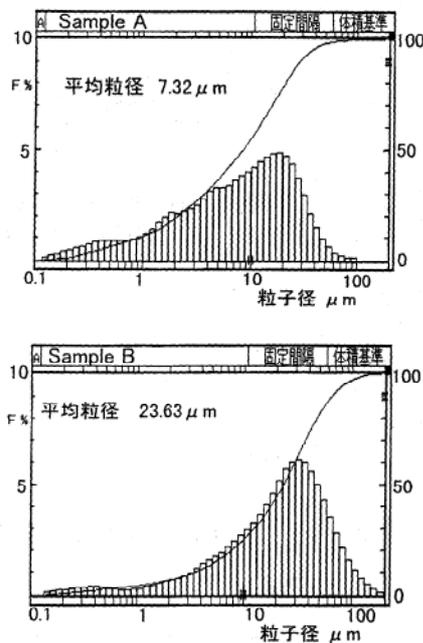


図 3. アルミドロスの粒度分布

Aの平均粒径は7.32 μmでBの23.63 μmよりも細かく、Aは2 μm以下が20%も含まれておりかなりの微粒子があることがわかった。また、熱分析のDTAより600℃付近にシャープな吸熱反応が見られるが、これを境にしてなだらかではあるが、TGが減少から増加傾向に変わっていた。

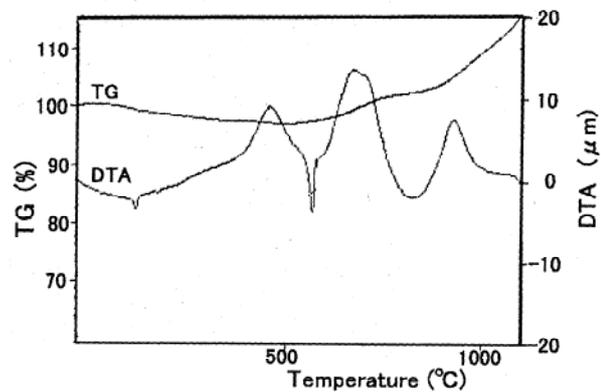


図 4. アルミドロスのTG-DTA

3. 3 アルミドロスの処理結果

3. 3. 1 焼成による処理

熱分析における吸熱ピークの前後付近と測定最終温度である450°C、650°C、1100°Cでドロスを焼成したときのX線回折チャートを図5に示す。

450°Cでは変化は見られない。650°Cでは金属アルミニウムのピークがかなり小さくなるが、窒化アルミニウムをはじめとするほかの化合物のピークは存在した。1100°Cで焼成すると窒化アルミニウムと金属アルミニウムのピークは消え、酸化アルミニウムのみとなった。また酸化アルミニウムマグネシウムがなくなりスピネルのピークのみとなった。アルミドロスから窒化アルミニウムを除去するには1000°C以上加熱する必要があるといえる。

3. 3. 2 水浸による処理

A, B及びNを常温、60°C、100°Cで3時間水浸したときのX線回折チャートを図6に示す。

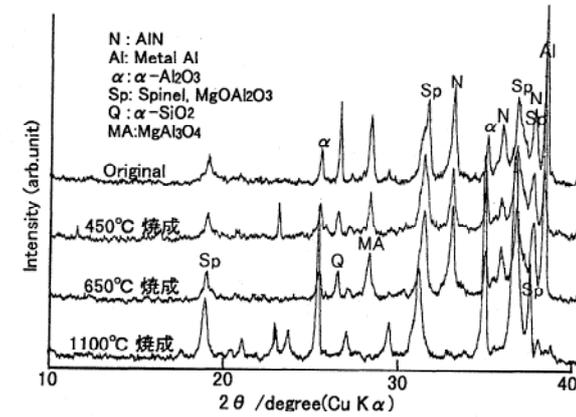
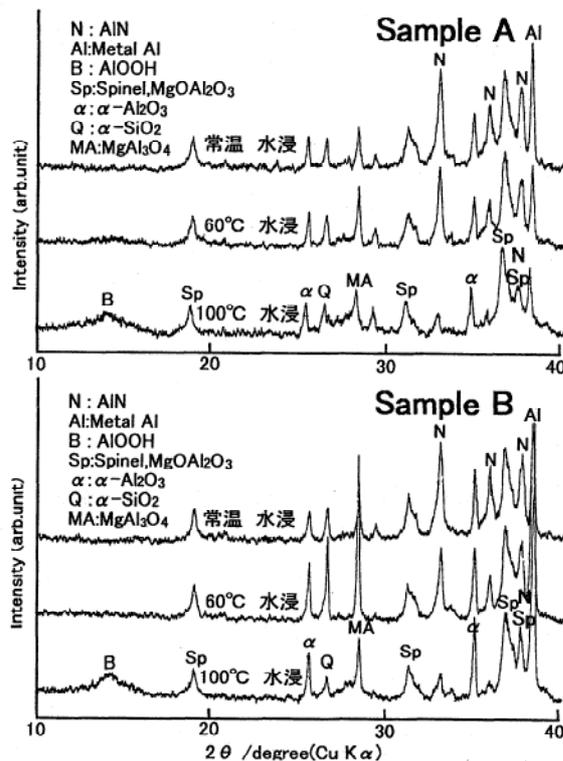


図5. 焼成処理した時のアルミドロスのX線回折図

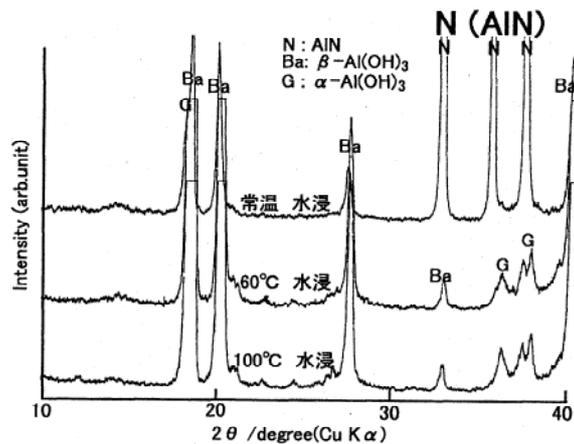


図6. 水浸処理した時のアルミドロス及び窒化アルミニウムのX線回折図

常温ではほとんど変化を示さなかった。60°CではA, Bについてはほとんど変化はなかったが、100°CではA, Bともに15度付近でベーマイト（水酸化アルミニウム、Al(OH)₃）のブロードなピークが発生していた。このときのろ液は刺激臭を発生しておりpHも常温で水浸したときよりも高くなっている（9.5から10.8に上昇）ことから窒化アルミニウムが水と反応してベーマイトとアンモニアを生成したものと思われる。ドロス中の窒化アルミニウムと雨水と反応してアンモニアガスを発生することが問題となっているが、水の温度を上げることによりその反応が速くなっている。しかし3時間程

度ではすべての反応を終わらすことはできなかった。また、今回はドラフト内で実験を行っていたが、発生するアンモニアガスの刺激臭が感じられた。大量に処理するときでは反応中に発生するアンモニアガスの処理問題の解決が必要となる。なお、ドロス中の窒化アルミニウム以外の酸化物や金属アルミニウムはほとんど変化していなかった。

Nについては60°Cの水浸処理で窒化アルミニウムのピークがなくなり、バイヤライト（水酸化アルミニウム、 $\beta\text{-Al(OH)}_3$ ）とギブサイト（水酸化アルミニウム、 $\alpha\text{-Al(OH)}_3$ ）が生成していた。ペーマイトの生成は見られなかった。ドロスには窒化アルミニウムはあまり多くなく、その他の化合物の影響を受けたため、窒化アルミニウム単体とは違う反応をしたと思われる。

3. 3. 3 水熱反応による処理

A, Bのオリジナルと140°C、160°Cで3時間水熱処理したときのX線回折チャートと、窒化アルミニウムの水熱処理したときのX線回折チャートを図7に示す。

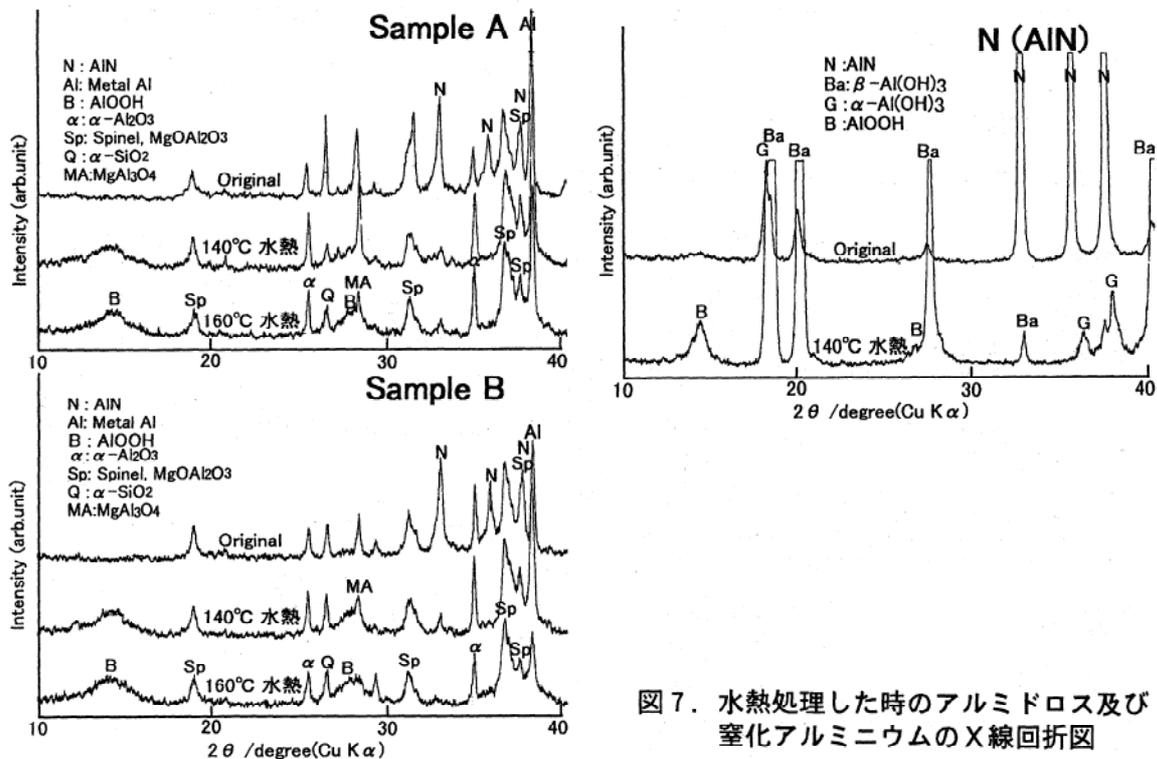


図7. 水熱処理した時のアルミドロス及び窒化アルミニウムのX線回折図

A, Bともに140°Cで水熱処理をするとほとんどの窒化アルミニウムが水と反応してペーマイトを生成していた。なお、水浸処理の時と同じであるが、ペーマイトのピークがブロードになっていた。このことから生成したペーマイトはあまり結晶性が良くなく、非晶質に近いものと思われる。また、160°Cで水熱処理をしたときではX線回折チャートからは窒化アルミニウムの有無を確認することができなかった。窒化アルミニウムが完全に除去できたかの分析は今後検討していきたい。Nについてはバイヤライト以外にペーマイトの生成がみられた。

処理終了後のろ液は水浸処理の時と同様にアンモニア臭を発していた。しかし、今回の反応はオートクレーブ反応容器という密封された系で行われているため、アンモニアガスが外部に発散する可能性が無い。したがって、ろ液中のアンモニアの処理について検討するだけで良くなる。

今回の水熱処理はコンクリート製品のオートクレーブ養生にみられるように、格段新しい技術を取り入れている訳ではない。また、一般に行われている温度よりも低い範囲で実験を行っているため、スケールアップの実験も比較的容易であると思われる。水熱処理では連続処理が不可能であったり、設備費にコストがかかるという欠点がある。しかし、アルミドロス中の窒化アルミニウムをより安全に処理する事について、乾式では1000℃以上加熱しないと処理できないが、水熱処理では200℃以下の可能性がある。そのためエネルギー消費の考えから、水熱処理を有効な手段の一つとして今後も検討していきたい。

3. 4 アルミドロスの焼成結果

表2. アルミドロスの焼成性状

アルミドロスを加圧成形する際、Aについては微粒子が多いためラミネーションが発生した。

A, B, AとBの混合体をそれぞれ1100℃, 1150℃, 1200℃, 1250℃で焼成したときの収縮率および吸水率を表2にまとめる。吸水率を見るとどの温度帯でもあまり変わらず1250℃で焼

焼成温度 (°C)	吸水率(%)			全収縮率(%)		
	A	B	A+B	A	B	A+B
1100	30.18	12.24	21.61	-3.68	-2.19	-2.62
1150	30.79	11.71	21.47	-3.59	-2.25	-2.90
1200	29.61	13.17	22.19	-2.84	-2.14	-2.82
1250	26.87	14.07	22.05	-0.82	-2.32	-2.08

成してもほとんど焼き締まっていなかったようであった。化学分析値からもわかるようにアルミナ分が非常に多いためである。また、収縮率を見ると、収縮せずに膨張している事がわかる。

ドロス中の金属アルミニウムや窒化アルミニウムが焼成時に空気中の酸素を取り込んで酸化アルミニウムとなるため、膨張したと思われる。今回の温度範囲ではほとんど焼結していないといえる。今後は焼結助剤の添加を検討して、焼成温度の引き下げをはかりたい。

4. まとめ

アルミニウムを再溶解する際発生するアルミドロスについて、ドロス中の窒化アルミニウムの処理に注目して実験を行ったところ以下の事がわかった。

- 1) 乾式で焼成処理すると1000℃以上で窒化アルミニウムは空気中の酸素と反応して酸化アルミニウムに変化する。
- 2) 水浸中で処理すると100℃で窒化アルミニウムの一部は水と反応して水酸化アルミニウム（ペーマイト）に変化する。その他の化合物については変化が見られなかった。この時アンモニアも発生、拡散するため反応中のアンモニアガスの処理が問題となってくる。
- 3) 水熱反応で処理すると160℃でアルミドロスのほとんどが水と反応して水酸化アルミニウム（ペーマイト）に変化する。その他の化合物については水浸処理と同様に変化が見られなかった。反応時にアンモニアも発生するが密閉容器中なので拡散の心配はない。アルミドロスのより安全な処理として水熱処理は有効な手段の一つであると思われる。

さらに有効利用について焼成試験の検討を行ったが、ドロスにはアルミナ分が多いためほとんど焼結しなかった。今後、焼結助剤を添加して焼成温度を下げる必要がある。

(4) 伊賀焼素地の研究

伊賀分場 稲垣 順一、庄山 昌志、佐波平三郎

1. 緒言

一般に陶器質の焼物は、吸水性が高く、水を入れて使用する花器のような用途に不向きであることが多い。そこで、本研究では、伊賀土の風合いを活かしながら吸水特性を改善することを目的とし、吸水特性に影響を及ぼす各種物性の測定を行い、その解析と改善策について検討を行った。

2. 実験方法

試験体は、伊賀土（工業組合製）を直径30mm、高さ30mmの円柱形に成形し、酸化（電気炉）および還元（ガス炉）雰囲気、各々1230、1250、1270℃の3水準で焼成した。これらを、各3個づつ用いて、見掛気孔率、吸水率、嵩比重、見掛比重、空隙率の測定用試料とした。見掛気孔率、吸水率、嵩比重、見掛比重、空隙率、吸水特性の測定は、アルキメデス法で行った。

吸水速度測定用試料は、同じ試験体の側面をシリコンでシーリングし、側壁から吸水しないようにした。吸水速度測定は、近藤らの方法¹⁾と同じく、吸水重量を用いて、水分の移動速度に換算した。

真比重の測定は、ピクノメータを使用して測定を行い、空隙率の計算に用いた。

3. 実験結果および考察

3. 1 真比重

測定値は、有為な小数点以下2桁目までの値で比較し、酸化・還元あるいは、焼成温度を変化させた場合でも、本実験に用いた供試体の水準の範囲では、ほとんど変化が見られなかった。そこで、平均値をとって2.65という値を用いた。

磁器やストーンのようにガラス化が進行した素地では、真比重の値は小さい値になるが、伊賀焼のような陶器の素地では、この実験結果が示すように、かなり大きな値となった。この結果から、伊賀焼素地では1270度程度の還元焼成でもガラス化がそれほど進行していないことが推察される。

3. 2 化学分析

蛍光X線分析による坏土の化学分析結果は、表1に示すようになった。この表から、鉱物組成を示すノルム計算を行ったところ、表2のようになり、粘土分が約63%であった。伊賀焼坏土は、粘土分に富む可塑性の良い坏土であることがわかった。

3. 3 吸水率

図1に、吸水率の測定結果を示す。吸水率は、酸化焼成で約13%から11%まで変化したが、還元焼成では、11.5%から10.5%となって、総じて低い値をとり、いずれの温度でも酸化焼成より小さい値を示した。還元焼成では、坏土に含まれる Fe_2O_3 が、炉内の雰囲気により還元されて FeO となり、焼結が進展するため、同一温度で酸化焼成と還元焼成を比べると、還元焼成の方が、吸水率が減少するの

表1. 伊賀焼坏土の分析値

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	LOI
重量%	62.95	22.78	1.68	0.51	0.48	0.20	1.83	0.51	0.01	8.43

表2. 伊賀焼坏土のノルム計算値

	粘土分	長石分	珪石分	鉄分	水・有機分
重量%	62.95	22.78	1.68	0.51	0.48

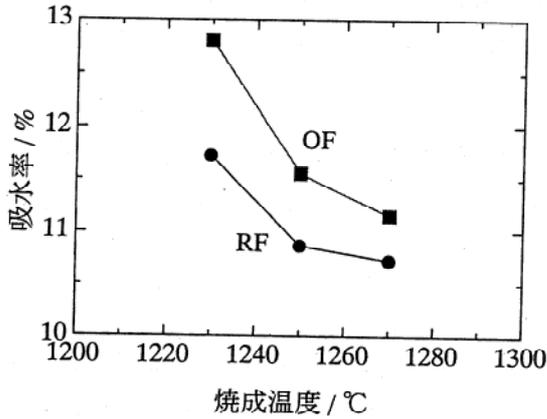


図1. 吸水率

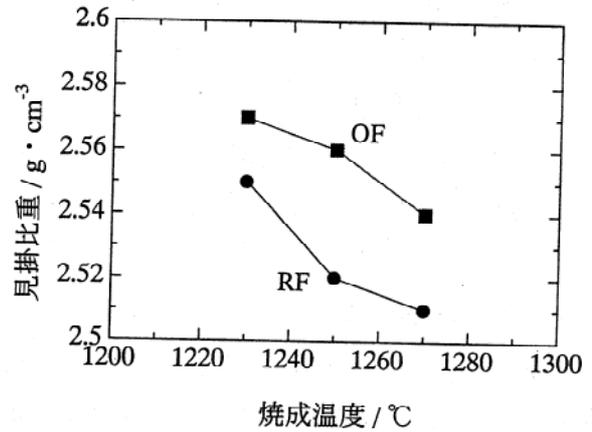


図2. 見掛比重

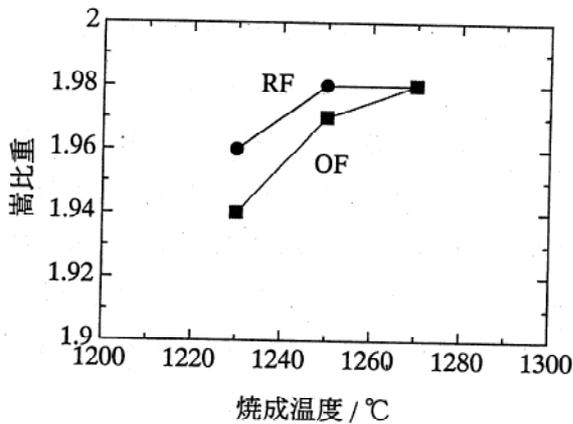


図3. 嵩比重

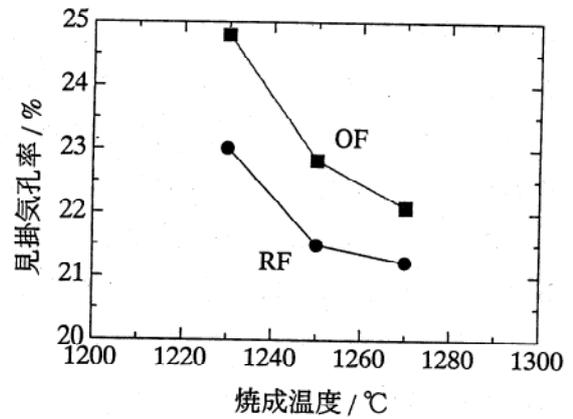


図4. 見掛気孔率

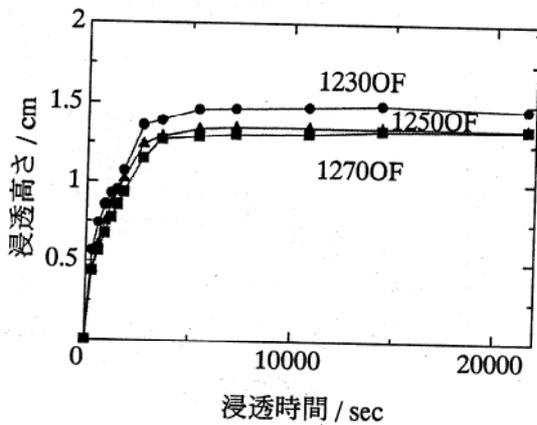


図5(a). 酸化焼成時の水の浸透高さ

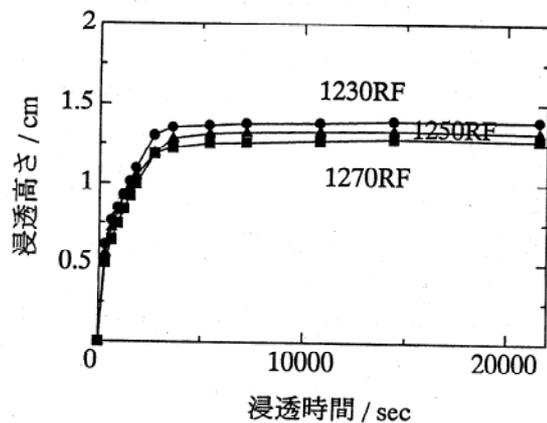


図5(b). 還元焼成時の水の浸透高さ

は、焼結が進み気孔がより小さくなるためである。

3. 4 見掛比重

図2に、見掛比重の測定結果を示す。開気孔を除いた物体の比重を示す見掛比重は、酸化焼成の方が大きな値を示した。これは、酸化焼成の方が還元焼成に比べて開気孔の容積が大きい、あるいは開気孔が多いことを示唆している。

3. 5 嵩比重

嵩比重は、全ての気孔を含めた物体の比重を示し、容積比重とも呼ばれている。図3に、嵩比重の測定結果を示す。嵩比重の測定結果は、還元焼成の方が焼結が進んでいるため、酸化焼成を行った場合に比べて比重が高くなるが、1250度と1270度では、顕著な変化が見られなかった。

3. 6 見掛気孔率

図4に見掛気孔率の測定結果を示す。見掛気孔率は、全体の容積に対する開気孔（水の入る気孔）の容積を表す。還元焼成に比べて焼結の進んでいない酸化焼成の方が、見掛気孔率が高くなることがわかった。

3. 7 水の浸透高さ

図5(a)に、酸化焼成時の素地に対する水の浸透高さを、(b)に還元焼成時の場合を示す。これらの図から、急激に水が浸透するのは、2700秒（45分）頃までであることがわかる。これは、試験体の大きさに対して水が飽和したためである。そこで、図6の(a)および(b)に、浸透時間を3000秒までにし、縦軸を浸透高さの自乗にとった、酸化焼成時および還元焼成時の浸透速度のグラフを示す。グラフは、ほぼ直線であり、素地中の水分の移動速度は、 $L^2/t = \text{一定}$ という関係を示している。

図6の勾配から計算した水の拡散係数を図7に示す。水分の拡散係数とは、素地中を移動する水の移動速度を示す値で、焼成温度が高温になるほど小さくなる。この値は、石膏の拡散係数の約30分の1の大きさである。焼成温度を上げると拡散係数が小さくなるのは、水の浸透が毛細管による吸水現象であり、一定の水が吸水されると、それ以降は管の抵抗により吸水が進みにくくなるため、焼成温度が上昇するにつれて、気孔径が小さくなっていくことを示している。還元焼成の方が酸化焼成に比べて拡散係数が大きな値を取るの、気孔分布の違いによるものだと考えられる。

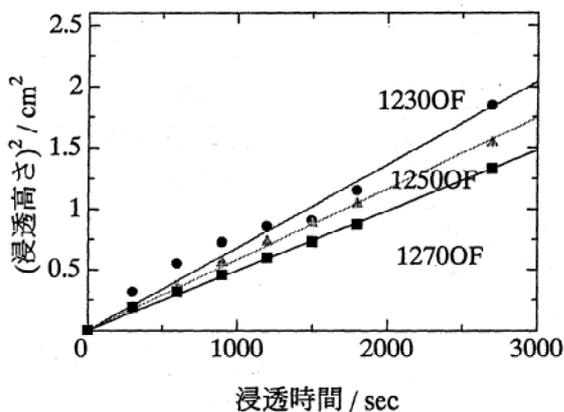


図6(a). 浸透速度の解析（酸化焼成）

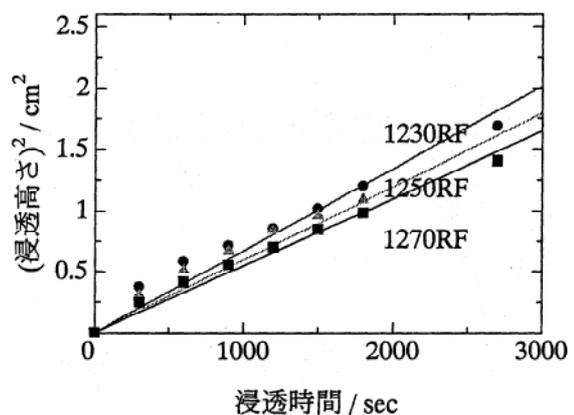


図6(b). 浸透速度の解析（還元焼成）

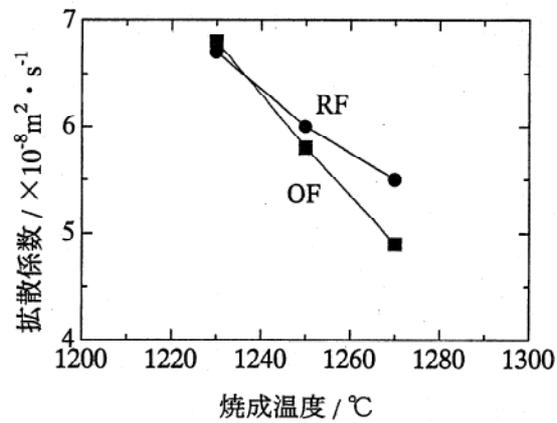


図7. 拡散係数（素地中の水分移動係数）

4. まとめ

以上の物理的データの考察から、伊賀焼素地の空隙率は1250度以上の焼成で減少する。そこで、空隙率を減少させ、吸水特性を改善するためには、粒子の充填構造を考えて10ミクロン以下の微細な粒子を多く含むような坏土調整を行い、還元焼成を実施する必要があることが推察される。

参考文献

- 1) 近藤祥人, 橋塚 豊, 中原理栄, 横田耕三, J. Ceram. Soc. Japan, 101, 928-931(1993)

(5) 伊賀焼の特性向上に関する研究 (第2報) 土灰釉に関する研究

伊賀分場 庄山昌志

1. はじめに

伊賀焼を最も特徴づける釉薬としてビードロ釉がある。ビードロ釉は従来、のぼり窯において自然灰が付着することにより発色していたものであるが、現在商業ベースで流通している商品のほとんどは人為的に灰釉を施釉することにより緑色の発色を得ている。

ところが、近年このビードロ釉の結晶化が問題となってきている。これは、使用原料の組成が少しずつ変化してきていることが原因とされている。これまでの研究において、ビードロ釉を化学分析することによりその最適組成を探ってきた⁽¹⁾。その結果、ビードロ釉の結晶化には組成依存性があり、MgO過少の場合はウォラストナイト ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) が、MgO過多の場合はジオプサイト ($\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$) もしくはエンスタタイト ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) が析出することがわかってきた。このような結晶化の現象には釉と素地の界面反応が大きく影響をされると思われる。釉と素地の界面反応についてはPamera⁽²⁾らが青磁釉について、さらにRoberts⁽³⁾らが電気化学的な立場からポーンチャイナについて調査した例があるものの、土灰釉については現在まで報告はない。本研究ではビードロ釉と素地の界面反応に注目し、界面の各元素の分布等について詳しい知見を得ることを目的とした。

2. 実験方法

素地は伊賀工業組合土を使用し、5 cm × 5 cmに成形後、800℃で仮焼することによりテストピースとした。素地の組成を表1に、また使用したビードロ釉の組成とゼーゲル式を表2に記す。なお、この釉薬のMgO量は0.13molであり、これまでの研究で得られた適正量にはほぼ一致していることを確認して使用した。

釉薬はらいかい機で30分粉碎・混合した後、テストピースに施釉し焼成を行った。焼成は1250℃(SK9)で還元雰囲気とし、30分間保持した後に炉冷した。得られた試料は中央部分を切断し、その断面についてSEM観察(2次電子像、反射電子像)、元素マッピングおよび線分析をEDX付属電子顕微鏡(SEM:Hitachi S-3200N, EDX: Horiba EDAX-5770W)により行った。

表1. 伊賀焼素地の化学組成

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	IgLoss	Total
62.95	22.78	1.68	0.51	0.48	0.20	0.51	1.38	8.43	99.37

表2. ビードロ釉組成とゼーゲル式

平津長石	50	SiO ₂	2.10
合成土灰	27	Al ₂ O ₃	0.26
天然土灰	5		
炭酸バリウム	8	KNaO	0.23
蛙目粘土	2	CaO	0.51
1121フリット	8	MgO	0.13
酸化鉄	1.5	BaO	0.13
酸化クロム	0.1		

3. 結果と考察

図1に切断面のSEM写真(反射電子像)を示す。釉層と素地層は、その密度の差からはっきりと区別ができる。釉層にはほとんど気泡が観察されず、わずかにビードロ釉に特徴的な貫入の様子が確認できるのみである。それに対し、素地層はSK9相当の焼成を行った後でさえ十分な空隙が存在することから、耐熱性が非常に高いことが伺える。さらに注目すべき点として、釉層と素地層の間に薄い白色の層が存在していることがわかる。おそらくこの相が釉と素地の界面の反応に関与していると思われることから、この白色層を中心に詳細に調べた。

図2に各元素のマッピングを行った結果を示す。マッピングはNa, Mg, Al, Si, K, CaおよびFeの各元素

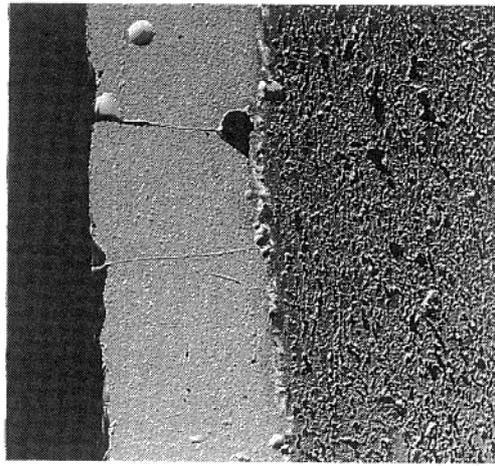


図1. 切断面のSEM写真(反射電子像)

2-2-1. DBW

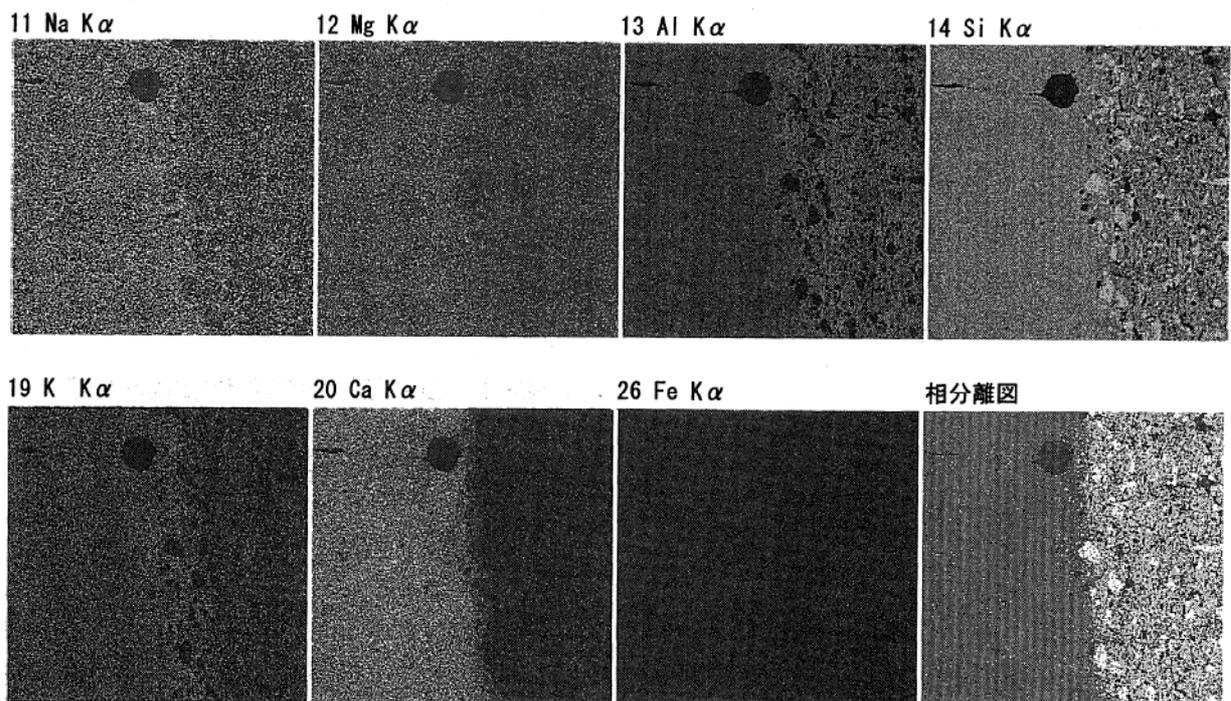


図2. 各元素のマッピング図及び相分析図

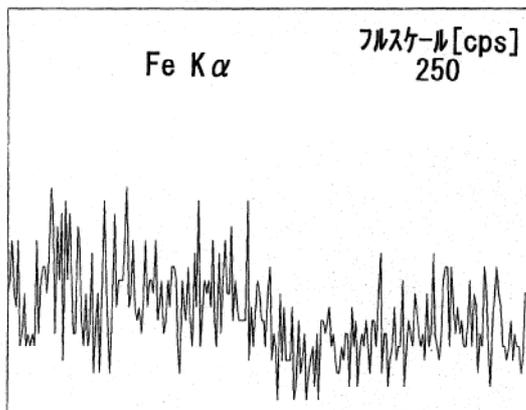
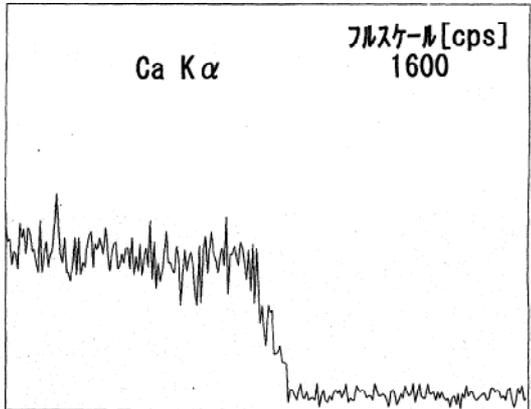
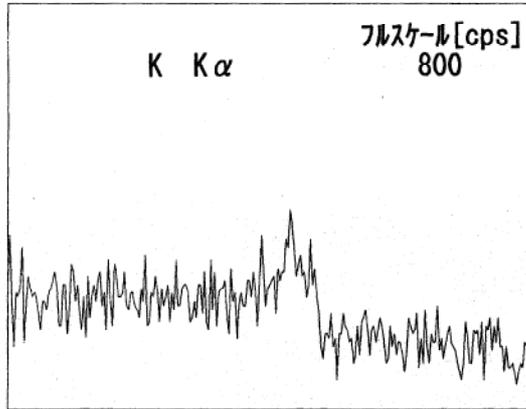
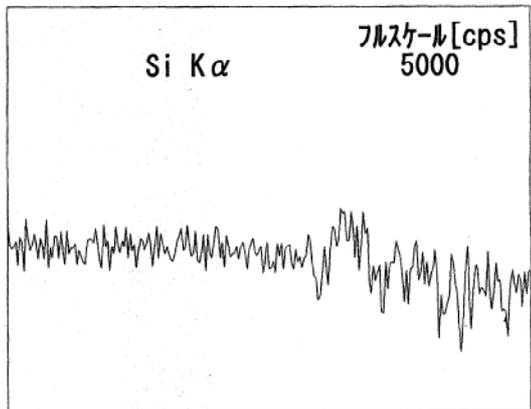
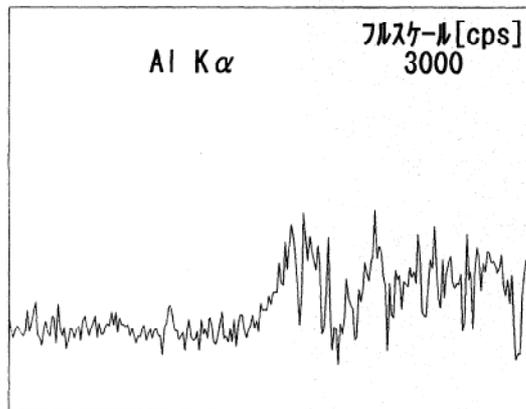
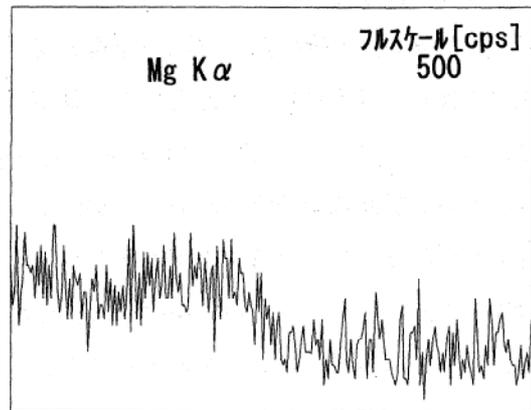
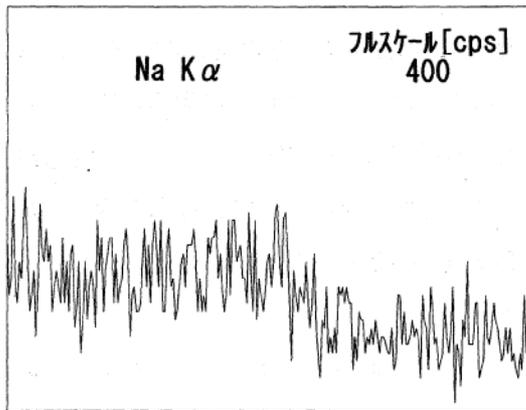


図3 試料切断面における各元素の
線分析結果
左側（釉薬）→右側（素地）

について行い、相分析結果もあわせて示した。各像の左側が釉層、右側が素地層である。Na, Mg, Caは釉層側がリッチであり、特にCaはこの傾向が強くでていた。これはうわ薬が灰釉であるためにCa成分が12.3%と素地の0.48%に比べてかなり多かったためである。また、Alは反対に素地側に多くみられたが、これは釉中に11.5%であるのに対し素地中には22.8%含まれていることによる。しかしながら、Caをはじめとするこれらの元素の界面部分への偏析は観察されなかった。それに対し、KおよびSiは界面付近でその密度が高くなっている様子が伺える。特に、Kは釉層と素地層の界面に沿ってはっきりと密度が高くなっていることが確認できた。Roberts⁽³⁾らによると、釉と素地の界面においてアルカリ金属濃度が高くなることが報告されている。彼らの研究は釉も素地も全く異なるためにそのまま比較は不可能であるが、本質的に本研究と良い一致を示していると思われる。また、Siも素地層中の珪砂成分によるとと思われる粒子が界面付近に集中している様子も観察できた。

次に、各元素の垂直方向の分布を知るために線分析を行った。図3にテストピース断面の線分析の結果を示す。線分析は釉層（左側）から素地層（右側）まで連続的に行った。その結果、Kは図2の結果と良い対応を示し、釉と素地の界面に偏析している様子が観察された。また、Siもわずかではあるが界面において濃度が上昇している様子が伺えた。これまでの研究で、ビードロ釉の結晶化に大きく影響を及ぼすMg成分はこの中間層部分には偏析しておらず、その界面反応にはあまり影響を及ぼしていないと考えられる。また、ビードロ釉の発色要因であるFeは釉中において表面から素地との界面までほぼ均一に分布しており、釉中での特定の位置（表面とか界面近くなど）への偏析は確認されなかった。しかしながら、Feは界面においてその濃度が低くなっていることから、図1で見られる中間層には存在しないことがわかった。このことは、目視による観察において中間層が白色（緑や赤に着色していない）である事実と良い一致をしている。また、Pamera⁽²⁾らによると、青磁釉においても釉中のFeは1～2%の範囲でほぼ均一に分布していることが示されており、本研究の結果と良い一致を示している。これらのK, Si, Feなどの元素の偏析は、主に融解した釉中からのイオンの移動が本質的であると考えられ、素地からの移動による寄与は少ないものと考えられる。

4. まとめ

- ・ビードロ釉における釉と素地の界面では白色の反応相が存在し、その組成はSiとKがリッチでFeを含まない組成からなっている。
- ・ビードロ釉の発色源であるFeは釉中に均一に分布しており、特定の位置への偏析は確認されない。
- ・ビードロ釉の結晶化に影響を及ぼすMgの偏析は認められず、界面の反応に対する寄与は小さいものと考えられる。

参考文献

- 1) 庄山昌志, 國枝勝利, 三重県窯業試験場年報, 28, 20 (平成5年度)
- 2) Pamera B. Vandiver and W.D. Kingery, Ceram. Bull., 63, 612 (1984)
- 3) W. Roberts and K. Marahall, Trans. Brit. Ceram. Soc., 69, 221 (1970)

(6) 平成8年度新技術共同研究事業「知的ハンドリング技術の研究」 垂直直動型パラレルメカニズムの開発

Development of parallel mechanism by six vertical fixed linear actuators.

増田峰知 藤原基芳 村川 悟 田畑康晴* 増井孝実* 岡本康男** 伊濱啓一** 中村達也***

Takanori MASUDA, Motoyoshi FUJIWARA, Satoru MURAKAWA, Yasuharu TABATA,
Takami MASUI, Yasuo OKAMOTO, Keiichi IHAMA, Tatsuya NAKAMURA

*三重県工業技術センター
**三重県窯業試験場
***三重大学(現 東京都立大)

Abstract: Readjusting characteristics of existed Parallel Mechanism, we have developed one whose six linear actuators are fixed vertical. A control calculation of this device is easily by arranged actuators vertical. This is composed of parts which is on the market, to make inexpensively. When we change design parameters characteristics(ex. working space, velocity, absolution) change. The principal design parameters are lengths of connection rods, radius of end effector, radius of imaginary base circle. In this report, it is showed application of material handling with six freedoms and a case to be cut by milling.

key Words: Parallel Mechanism, Vertical, Invert Kinematics, Material Handring, Linear Actuator

1. はじめに

近年、作業者の高齢化や雇用環境の変化などから、生産現場の自動化要求は高い。これは、作業効率だけでなく作業環境の向上からも要求される。一方、高付加価値なものづくりは、多品種少量生産が要求され、それは自動化への大きな障害となっている。これらに関して、あらゆる産業分野で共通する課題は、搬送作業の高効率化である。搬送作業には、熟練を要しない場合も多くあり、適切な補機類による省力化ができれば、未熟練者でも効率のよい作業が可能になると考えられる。

本開発では、搬送技術の中核であるハンドリング技術の高度化を目的とした。特にハンドリングツールとして、従来のロボットにはない特徴を持つパラレルメカニズムに注目し、その発展型の試作機を開発した。更に、試作機の逆運動学や動作特性を明らかにし、搬送や切削などの応用事例を検討した。

2. パラレルメカニズム

2.1 パラレルメカニズムとは

一般にパラレルメカニズムは、ベースとエンドエフェクタが並列的に配置された複数の対偶により連結した機構¹⁾である。最も代表的な機構として、古くからスチュワートプラットフォーム型²⁾が知られている。これは、3次元空間での位置と方向の6自由度が制御できるマニピュレータである。

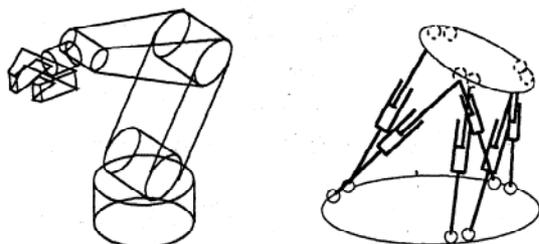
パラレルメカニズムは以下の特徴^{3) 4) 5)}を持っている。

- ①アクチュエータが並列的に配置されているため、手先での位置誤差が平均化され高精度
- ②アクチュエータの出力が並列的に作用するため、手先において高出力

③手先の位置と方向から、各アクチュエータの制御量を求める逆運動学が容易に求まる

④並列リンクのため、動作領域が狭い

6自由度を得るマニピュレータとしては、従来は多関節ロボット（パラレルメカニズムに対しシリアルメカニズムと称する）が一般的であった。シリアルメカニズムと比較した6自由度パラレルメカニズムの機構特徴を、Fig. 1に示す。



シリアルメカニズム (多関節型ロボット) パラレルメカニズム

- | | |
|------------|-------------|
| ○動作領域が広い | ○出力重量比が高い |
| ○バックデータ豊富 | (軽量化、高出力) |
| ×出力重量比が小さい | ○精度が高い |
| (重量化、低出力) | (誤差が平均化される) |
| ×精度が出ない | ×動作領域が狭い |
| (誤差の累積する) | ×バックデータが少ない |

パラレルメカニズムが実用化された事例としては、以前は飛行シミュレータやアミューズメント機器などが主であった。最近、工作機械やロボットへの応用が発表され、製造現場への展開が進んでいる^{4) 5)}。将来的にはシリアルメカニズムが不得手であった分野への応用が考えられ、それぞれの特長を生かし補完し合う形でFAに展開されていくものと考えられる。

Fig. 1 パラレルメカニズム及びシリアルメカニズムの機構特徴比較

2. 2 パラレルメカニズムの分類

現在までに提案されている実用的なパラレルメカニズムは、その駆動方式の違いから大きく3種類に区分^{4) 5)}されるようである。これらの区分の特徴を整理すると以下のとおりである。ただし分類名称は、学会等で規定されたものではなく、著者らが便宜上使用したものである。

①伸縮型パラレルメカニズム

2つの球対偶とその間に能動直動対偶を持つもの。Fig. 2に示すような最も代表的なパラレルメカニズム機構である。一般にスチュワートプラットフォームと呼ばれている。この型は、1962年にGoughらによりタイヤテスト用装置²⁾として紹介され、Stewartにより多くの可能性²⁾が提案された。新井により運動学、力学特性⁶⁾が示されている。フライトシミュレータやアミューズメント分野などへの応用が広く知られている。機構がシンプルで逆運動学計算が簡単であるが、ハンドリング作業を考えた場合、アクチュエータ自体が動いたり、リンクそのものが大型化するため、動的な特性や、動作範囲は不利である。

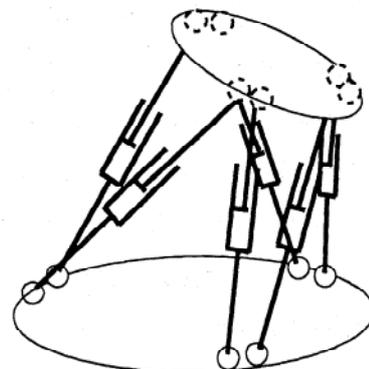


Fig. 2 伸縮型パラレルメカニズム

②回転型パラレルメカニズム

2つの球対偶とその外側に能動回転対偶を持つもの。Clavelにより3自由度のもの⁷⁾が、内山らにより6自由度のもの⁸⁾が示されている。回転対偶にアクチュエータを固定配置することで高速化と広

い動作領域が得られる。3自由度型“DELTA⁷⁾”は、小型ワークの高速ハンドリング装置として実績がある。しかし、アクチュエータ側のリンクに曲げモーメントが発生するため手先での出力特性は小さく、重量物のハンドリングには不向きである。6自由度をもつ代表例をFig. 3に示す。

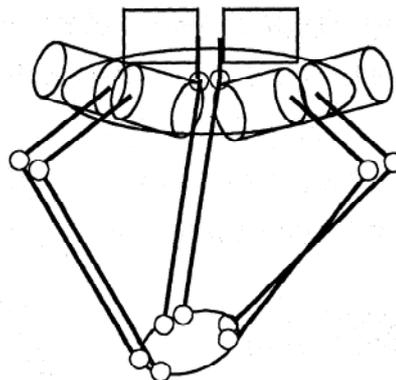


Fig. 3 回転型パラレルメカニズム

③直動型パラレルメカニズム

2つの球対偶とその外側に能動直動対偶を持つもの。このタイプは、1つの球対偶と直動対偶を一体化しアクチュエータと共にベースへ固定することで、可動部質量が小さくなり高速、高出力が期待できる。短所は、ベース部に大きなスペースが必要なことや逆運動学解析に2次式を解く必要があり計算量が多い。Merlet⁹⁾や新井¹⁰⁾らにより、運動学などが示されている。近年、数例の実用化が発表されており、佐藤により動揺装置¹¹⁾へ、遠山らにより工作機械¹²⁾への応用が示されている。アクチュエータは、一般にボールねじと直動ガイドからなる直動機構やリニアモータをアクチュエータに採用したものが考えられ、応用や製造を考えた場合、機構部分そのものは最も現実的である。代表例をFig. 4に示す。

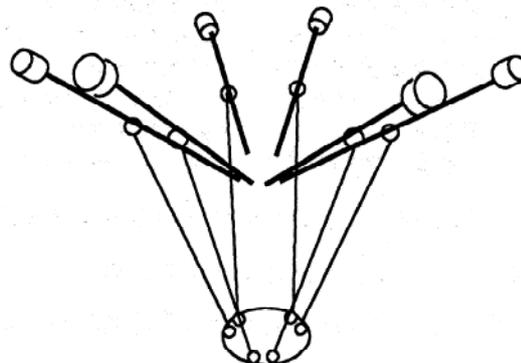


Fig. 4 直動型パラレルメカニズム

3. 逆運動学

3. 1 パラレルメカニズムの逆運動学

手先の位置と方向から各軸の制御量を求める逆運動学計算が容易に解けるかどうかは、実用上重要な問題である。

一般に、6自由度パラレルメカニズムでは、エンドエフェクタにおいて位置と方向の6自由度($X, Y, Z, \alpha, \beta, \gamma$)を与えた時、可動プレートの6ジョイントのそれぞれ座標は、ベース座標原点からのベクトルで表される⁶⁾。これらのジョイントと対応する既知のベース側の6ジョイントとの間の距離を求めれば、これがそのまま制御量となる。

直動型パラレルメカニズムの逆運動学は、制御量の2次式で示されている¹⁰⁾。示されている式は、空間中の一点(可動プレート側の任意のジョイント)から、空間中の直線(直動機構側の対応するジョイントが動作する直線)までの距離が、ある固有値(ジョイント間の距離=リンク長さ)になる場合の交点を求める式と等価である。

この機構の場合、2次式が示すように解が2つとも有効である場合が存在する。解の判別式や直動機構の有効範囲などで制限をしてもなお、解が2つになる場合は、どちらの解も成立するが、連続性

や特異点通過の問題があるため、ハード的な制限により一方の解に限定する必要がある。

3. 2 直動機構を傾斜配置させた場合の逆運動学

直動機構が放射状に傾斜配置されている直動型パラレルメカニズム場合、逆運動学は、幾何的に求められる。計算方法を以下及びFig. 5に示す。

可動プレートの各ジョイント座標 E_{ji} は、 $\vec{BoEo} + EoE_{ji}$ (i は以下 $i=0 \sim 5$)で表される。また各直動機構の端点 Lei の座標は、既知の直動機構傾斜角 θ 、直動機構長さ Ls 、 z 軸方向単位ベクトル z 及びベクトル $BoBi$ から次式で表せる。

$$\vec{BoLei} = \vec{BoBi} + Ls \cdot \cos \theta \cdot (\vec{BoBi} / |\vec{BoBi}|) + Ls \cdot \sin \theta \cdot z \quad (1)$$

また、リンク長さ Lc 、 Lei における B_{ji} と E_{ji} の方向に挟まれた角 θ' 及び2つの三角形 $Bi-E_{ji}-Lei$ と $B_{ji}-E_{ji}-Lei$ の関係から次の2式が成り立つ。

$$BiE_{ji}^2 = E_{ji}Lei^2 + Ls^2 - 2 \cdot E_{ji}Lei \cdot Ls \cdot \cos \theta' \quad (2)$$

$$Lc^2 = E_{ji}Lei^2 + (Ls - Ci)^2 - 2 \cdot E_{ji}Lei \cdot (Ls - Ci) \cdot \cos \theta' \quad (3)$$

(3)、(4)式を整理すると Ci に関して次式を得る。

$$Ci^2 + \{(E_{ji}Lei^2 - BiE_{ji}^2 - Ls^2) / Ls\} \cdot Ci + BiE_{ji}^2 - Lc^2 = 0 \quad (4)$$

制御量 Ci は、判別式と解の公式から次式となる。

$$Ci = 1/2 \cdot \{ (Ls^2 + BiE_{ji}^2 - E_{ji}Lei^2) / Ls \pm \{ (E_{ji}Lei^2 - BiE_{ji}^2 - Ls^2)^2 / Ls^2 - 4 \cdot (BiE_{ji}^2 - Lc^2) \}^{1/2} \} \quad (5)$$

得られた Ci の値は、 $0 \leq Ci \leq Ls$ を満たせば存在するが、得られた2値のどちらを選択するかは、解の連続性などを考慮する必要がある。

3. 3 垂直直動型パラレルメカニズムの逆運動学

直動機構を垂直に配置した場合、より簡単な幾何によりその制御量を求めることができる。

以下及びFig. 6において逆運動学解法を示す。

Bo をベース座標原点(0, 0, 0)とした時、可動プレートの各ジョイント E_{ji} の座標(X_{Ei} , Y_{Ei} , Z_{Ei})は、 $\vec{BoEo} + EoE_{ji}$ で表される。 E_{ji} から仮想ベースプレート上に垂直におろした点 V_i の座標は(X_{Ei} , Y_{Ei} , 0)であり、 B_i の座標及びリンク長さ Lc は既知であるから、台形 $Bi-B_{ji}-E_{ji}-V_i$ の関係より、直動機構の制御量 X_i は次式で求められる。

$$C_i = E_{ji}V_i - (Lc^2 - V_iB_i^2)^{1/2} \quad i=(0 \sim 5) \quad (6)$$

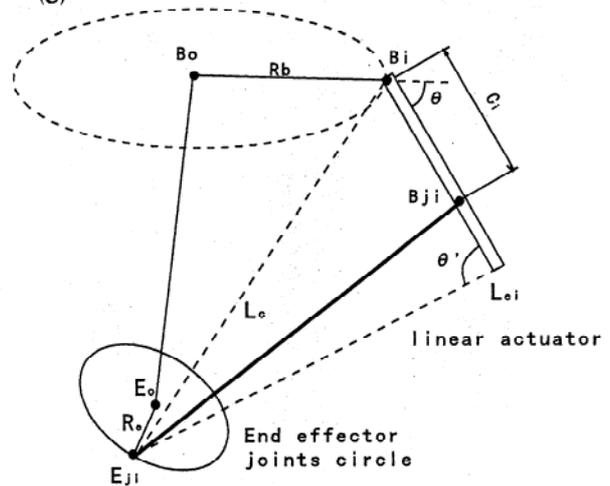


Fig. 5 傾斜配置逆運動学

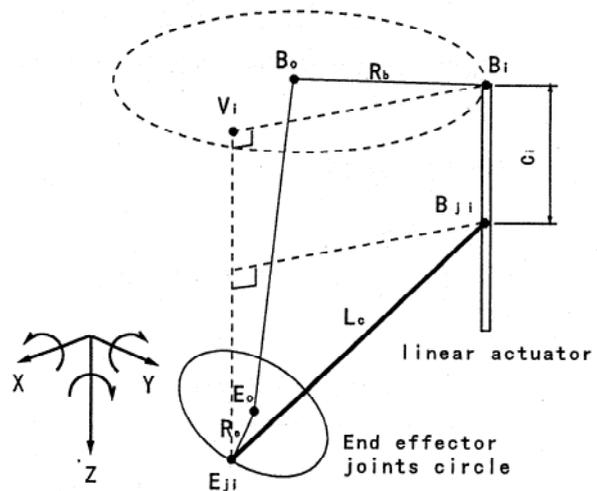


Fig. 6 逆運動学原理

4. 試作した垂直直動型パラレルメカニズム

実用的なロボット機構を検討する場合、重力に対する仕事、即ち垂直方向の負荷能力と動作領域が重要な問題である。また、高出力、高速性、耐負荷能力も要求される。

これらのことや前述した逆運動学計算の容易さを考慮し、著者らはアクチュエータを2本1組120度対称に垂直配置した、垂直直動型パラレルメカニズムの開発を試みた。概要をFig. 7に、外観写真をFig. 8に示す。フレーム寸法は、幅1500mm、奥行1330mm、高さ900mmである。

垂直配置を採用した直動型パラレルメカニズムの特徴は、前述の高出力、高速性といった特徴だけでなく実用面での有利性も持っている。以下にその特徴を示す。

- ①市販の単軸直動機構が使用できるため構造がシンプルで、コスト、信頼性、保守性に優れている。
- ②垂直方向の実用動作領域が広い
- ③水平方向の設置スペースを最小限にできる
- ④可動範囲が架台内部に収まり、架台自体が安全柵の機能を持つ
- ⑤逆運動計算が簡単な幾何問題で解ける。これは、パーソナルコンピュータを利用したコンパクトな制御系の構築に有効である。

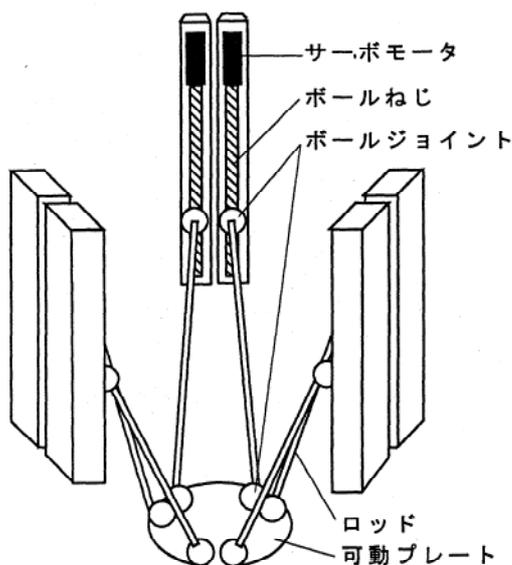


Fig. 7 試作した垂直直動型パラレルメカニズム

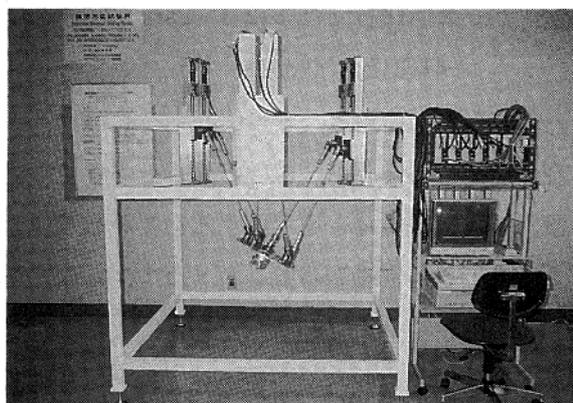


Fig. 8 試作機外観

5. 試作機器構成

5.1 直動機構

単軸直動機構は、基本的なメカトロニクス要素の一つで、多くの種類が市販されている。採用した直動機構の仕様をTable. 1に示す。

Table 1 採用した直動機構仕様

ストローク	400 mm	許容回転数	3000 rpm	分解能	0.05mm
モータ	ACサーボモータ 100 W	直動案内	幅広リニアガイド	制御方式	パルス入力型
直動機構	ボールねじ方式 リード20mm	負荷能力	29.4N (垂直方向)	電源	AC100V

5. 2 球対偶軸受 (ボールジョイント)

パラレルメカニズムは、その構造から受動対偶、特に球対偶軸受を多く使用するが、軸方向のトルク伝達が考慮された一般的な球対偶軸受けは、揺動角が小さく、使用できない。本機は、Fig. 6に示すニードルベアリングが組み込まれたカルダン型ユニバーサルジョイント (外径42mm) と複列アンギュラ型ボールベアリング (内径17mm, 外径40mm) を組み合わせ球対偶軸受けを採用した。

ユニバーサルジョイントのクロス部の静的弾性限界は、実測で32kNであり、複列アンギュラ型ボールベアリングの静的耐モーメント性能は、94.1N-mであった。ワーク重量が数十kgを想定すると、これらは、いずれも十分な剛性を持ったものと考えられる。

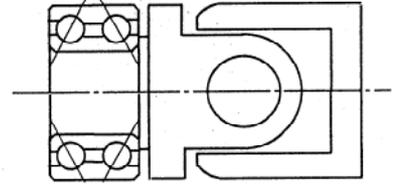


Fig. 9 ジョイント

5. 3 制御系及びインターフェース

制御装置は、パーソナルコンピュータ及びパルスモータコントロールボード (最高周波数4Mpps) を用い、パルス出力で直接モータドライバを制御している。

制御方法は、パーソナルコンピュータから変位量を与える位置制御で、モータ及びドライバ間のみフィードバックを行うセミクローズドループである。手先の位置と方向の6自由度情報を入力し、逆運動学計算により各軸の移動量と移動速度を求め、それに応じたパルス量と周波数をサーボモータドライバに入力し駆動している。位置のみを指令するピックアンドプレース作業は、PTP制御で、空間中での擬似的な直線補間、円弧補間は、CP制御で実現している。

6. 動作特性

6. 1 設計パラメータ

垂直直動型パラレルメカニズムは、仮想ベース半径 (Rb), 可動プレート半径 (Re), 連結ロッド長さ (Lc), 直動機構ストローク長さ (Ls) の4つの設計パラメータで、動作特性がほぼ決定され、これらを変更するとその動作特性を任意に変更することができる。これは、対象ワークがいろいろ変化するハンドリング作業においては、実用的に重要と考えられる。試作機に用いた設計パラメータは、Table. 2とした。

Table 2 設計パラメータ

仮想ベースプレート半径(RB)	450mm
可動プレート半径(RE)	150mm
連結ロッド長さ(1)	720mm
直動機構ストローク	400mm
ジョイント位置 (2個1組)	120° 対象
ジョイントオフセット角度 (ジョイントの基準からの偏り)	ベース側 ±5.8° 可動側 ±15.0°

6. 2 手先が回転をしない場合の動作領域

得られた動作領域は、円柱状で頂点付近が円錐に近い6角錐となった。一例として、Table. 2の条件で(1)式をシミュレーションした結果から、Lcを600から1000mmまで200mmごとに変更した場合のそれぞれの動作領域をFig. 10に示す。実際は頂点を下向きにした形状である。動作領域は、Lcに比例し増えることが分かる。この場合、手先における水平方向の速度も大きくとれるが、この原理と同様に

出力、分解能は劣化することが予想される。しかしながら、垂直方向のそれらは、直動機構の性能に依存することが自明である。

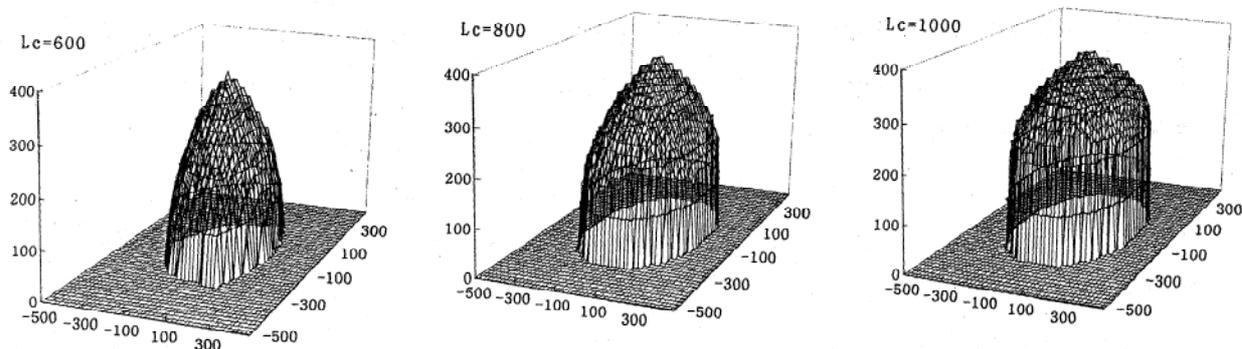


Fig. 10 連結ロッド長さを変えたときの動作領域

6. 3 手先の方向性を考慮した動作領域

手先に回転などの傾きを加えた場合、動作領域は角度に応じて減少する。Fig. 11に、各軸回りにそれぞれ独立に回転させた時の、動作領域の体積変化をシミュレーションして得た結果を示す。

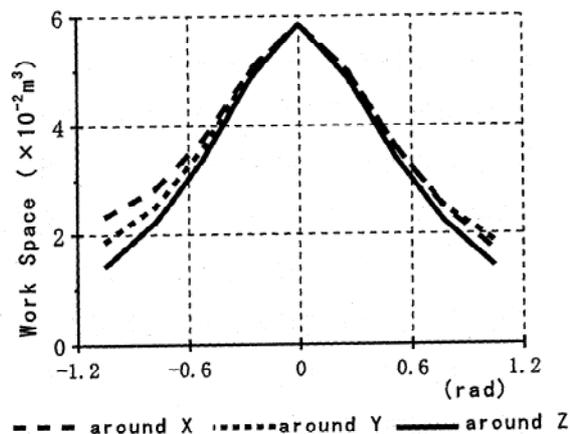


Fig. 11 手先に方向性を与えたときの動作領域の変化

7. ハンドリング作業実験

エンドエフェクタにエア式三爪チャックを用い、ハンドリング実験を試みた。3.6kgのワークをクランプして、動作領域内でハンドリング作業ができることを確認した。Fig. 12, Fig. 13にハンドリング作業の様子を示す。可搬ワーク重量、搬送速度、搬送位置分解能などの諸特性は、前述の動作特性で示したとおり、設計パラメータを変更することで調整ができる。パラメータを変更したときの繰り返し精度と出力を求めたり、必要性能からパラメータの最適値を求めたりする設計支援計算方法の確立が今後の課題である。

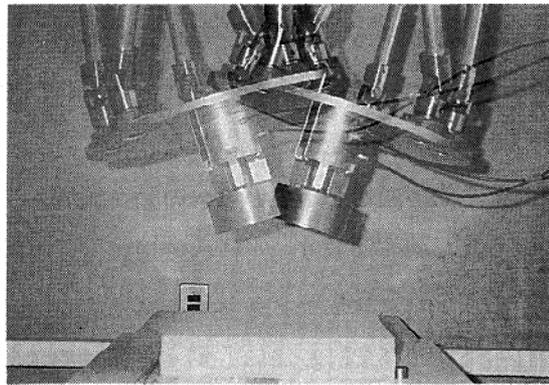
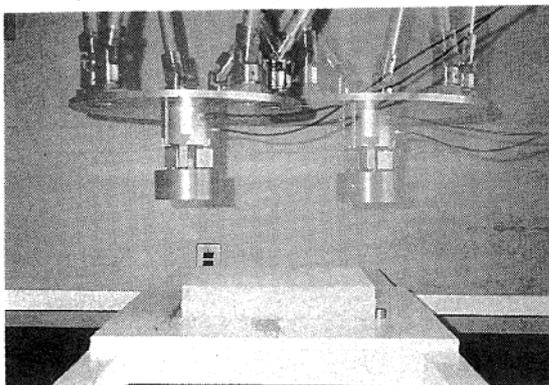


Fig. 12 ハンドリング実験・水平移動(多重露光) Fig. 13 ハンドリング実験・方向制御(多重露光)

8. 切削加工への応用

8. 1 工作機械への適用

本機構は、ハンドリング装置を目的に試作されたものであるが、その特徴から十分に多軸の工作機械への応用が考えられる。期待できる加工方法として、通常のフライス加工を始め、主軸を傾動させながらの曲面へのミーリング作業、すみ肉仕上げ、アンダーカット加工などが考えられる。これらの加工は、従来非常に高価な多軸加工装置により実現されていたが、本機構を応用することで安価な工作機械が提供できるものと考えられる。

Table. 3 加工実験仕様.

8. 2 切削加工実験

前記の加工を実現するために、Table. 3の仕様で加工実験を行った。

主軸	スピンドルモータ	2400rpm
ツール		
平面切削	φ 8	2刃エンドミル
文字切削	φ 13	ボールエンドミル
すみ肉切削	φ 6	ボールエンドミル
ワーク		
混合パラフィンを溶解、成形したもの		

Fig. 14に文字を削った加工事例を示す。被削マークは、三重県県章である。角エンドミルにより平面を出し、ボールエンドミルでマークを切削した事例である。平面研削、直線補間、円弧補間がなされていることがわかる。平面研削時の切り込み量と送りは、1mmと約20mm/secであった。

Fig. 15に主軸を傾斜させながら加工した事例を示す。深い溝のすみ肉加工やアンダーカット加工の事例である。ミーリング、フライス加工を行い、多軸加工機の基本機能を持つことが確認できた。

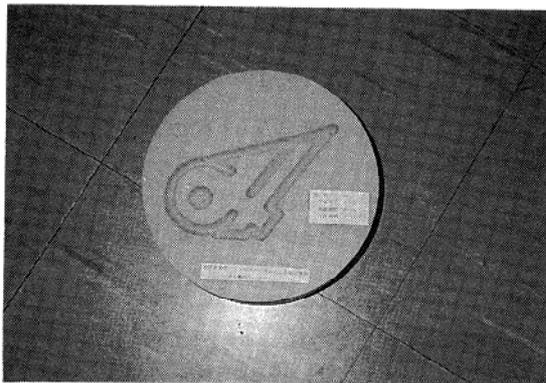


Fig. 14 文字加工例

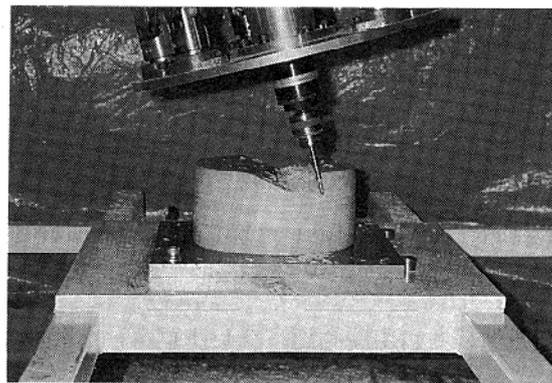


Fig. 15 主軸傾動フライス加工事例

9. 結 言

本開発を通して、以下の知見を得た。

- (1) 既存の平行メカニズムの特徴を検討し、重量物ハンドリングなどを想定した、垂直直動型平行メカニズムを開発した。
- (2) 同装置は、既存の平行メカニズムに比べ、水平方向の設置面積が小さい、フレームがそのま

ま安全柵になる，主要構成部品を市販部品で実現するなど，実用的で低コストである。

- (3) 同装置の逆運動学は，簡単な幾何で表せ，コンパクトな制御系の構築を可能にした。その結果，PTP制御だけでなく，CP制御による6自由度の擬似的な直線補間と円弧補間が可能である。
- (4) 設計パラメータを変化に注目し，連結ロッド長さを変化させたときの動作領域，手先を回転させたときの動作領域の変化を示した。
- (5) ワークハンドリング作業例として，エア式チャックによる6自由度搬送実験を行った結果，多自由度ハンドリング作業に成功した。
- (6) ツールハンドリング作業例として，多自由度加工装置に応用した事例を示した。主軸を傾動させたミーリング作業などに成功した。

10. 謝 辞

本開発の実施にあたり，ご指導を頂いた機械技術研究所ロボット工学部自律制御研究室 新井健生室長（現 大阪大学），ハード部品製作や切削加工において協力を頂いた三重テクノフォーラムメカトロニクス研究会のメンバー一同に，謝意を表します。

参考文献

- 1)舟橋宏明：“ロボット機構としてのパラレルメカニズム”，日本ロボット学会誌，vol. 10, no. 6, pp699-704, 1992
- 2)Stewart, D.：“A Platform with six Degrees of freedom”，Proc. Institution of Mechanical Engineers, Part1, vol. 180, no. 15, pp371-386, 1965.
- 3)“特集パラレルメカニズム”，日本ロボット学会誌，vol. 10, no. 6, pp695-769, 1992.
- 4)“パラレルメカニズムが機械を変える”，日経メカニカル，no. 450, pp26-49, 1995
- 5)“パラレルメカニズムの機構設計入門”，機械設計，vol. 40, no. 10, pp17-65, 1996
- 6)新井健生：“静力学特性に基づくパラレルリンクマニピュレータの解析と統合”，日本ロボット学会誌，vol. 10, no. 4, pp526-533, 1992.
- 7)Clavel, R.：“DELTA, a fast robot with parallel geometry”，Proc. Int. Symposium on Industrial Robots, pp91-100, 1988
- 8)内山勝他：“6自由度高速パラレルロボットHEXAの開発”，日本ロボット学会誌，vol. 12, no. 3, pp117-124, 1994
- 9)Merlet, J-P. and Gosselin, C.：“Nouvelle Architecture Pour un Manipulateur Parallele a Six Degres de Liberte”，Mech. Mach. Theory, vol. 26, no. 1, pp77-90, 1991.
- 10)新井健生：“直動固定型パラレルメカニズムの開発”，第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集，vol. 1, pp55-56, 1995.
- 11)佐藤 衛：特公平7-54418「動揺装置」，特許公報，1995
- 12)遠山退三他：特開平8-150526「工作機械」，公開特許公報，1997

(7) 平成8年度新技術共同研究事業「知的ハンドリング技術の研究」 垂直直動型パレルメカニズムの運動学と静力学

Kinematics and statics of parallel mechanism by six vertical fixed linear actuators.

藤原基芳 増田峰知 村川 悟 田畑康晴* 増井孝実* 岡本康男** 伊濱啓一** 中村達也***
Motoyoshi FUJIWARA, Takanori MASUDA, Satoru MURAKAWA, Yasuharu TABATA,
Takami MASUI, Yasuo OKAMOTO, Keiichi IHAMA, Tatsuya NAKAMURA

* 三重県工業技術センター

** 三重県窯業試験場

*** 三重大学 (現 東京都立大)

Abstract: To design parallel mechanism which is suitable for a work, it's necessary to simulate its moving space, resolution and output force. The parallel mechanism by six vertical fixed linear actuators was developed. First, this report shows its invert kinematics, differential kinematics. Then shows the method of calculate direct kinematics and statics, gives examples of characteristics, which are maximum speed, and resolution of end effector. And actuator load is calculated by differential kinematics. It is compared with measured value, and rightness of the calculate method is checked.

key words: parallel mechanism, linear actuator, invert kinematics, differential kinematics, direct kinematics, resolution, statics

1. はじめに

パレルメカニズムは、シリアルメカニズムと比較し、高出力、高剛性、高負荷などの特徴を持つが、同時に動作範囲が狭いなどの短所があり、使用目的に応じたバランスのよい機構設計が必要である。また、エンドエフェクタの位置・方向によっても、その動作特性は大きく変化する。これらの特徴を考慮し、使用目的に合ったパレルメカニズムを設計するためには、その運動学及び、力学のシミュレーションが不可欠である。

Fig. 1は、著者らが開発した垂直直動固定型パレルメカニズムである¹⁾。この実験機は、直動機構を垂直に配置することで、垂直方向の特性改善と簡易制御とコストパフォーマンスの改善を指向して試作された。

本報では、この機構の逆運動学式、微小運動学式を示し、微小運動学式から導いた順運動学の計算方法を検討した。これらから動作特性の一例として、エンドエフェクタ位置を変えた場合の最高速度・分解能を推定した。また、静力学の計算方法を検討し、式の妥当性を評価するために、静的条件で

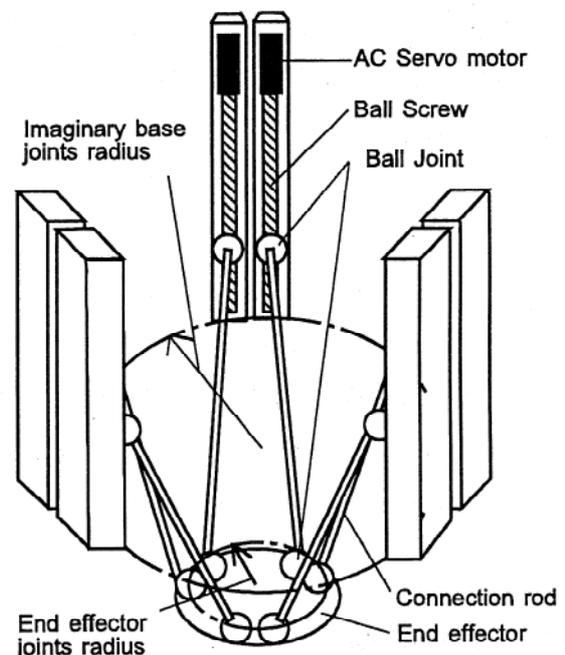


Fig. 1 垂直直動型パレルメカニズム

エンドエフェクタに負荷をかけた場合のアクチュエータ負荷を測定し、静力学シミュレーション結果と比較した。得られた実験結果より、静力学計算方法の妥当性を確認した。

2. 逆運動学

垂直直動型パラレルメカニズムにおいて、エンドエフェクタの位置と方向から制御量を求める逆運動学は、エンドエフェクタのジョイント位置を具体的な座標で表したとき、簡単な幾何で表すことができる¹⁾。本項では、エンドエフェクタの位置と方向から逆運動学を一般的に導出する。

Fig. 2は、エンドエフェクタ、リンク、アクチュエータの位置関係を示す。Σはエンドエフェクタ動作範囲の最下部に固定された基準座標系を表しており、Σ_hはエンドエフェクタの中心に固定されたハンド座標系である。直動機構移動部の仮想ベースプレートからの移動量をc_iとし、リンクの長さをL_c、リンクiとエンドエフェクタとの結合点をハンド座標で記述した位置ベクトルを(^hX_{ei} ^hY_{ei} ^hZ_{ei})^T、仮想ベースプレートと直動機構との結合点を基準座標で記述した位置ベクトルを(X_{bi} Y_{bi} Z_{bi})^Tとする。ハンド座標の原点を基準座標で記述した位置ベクトルを(x y z)^T、ハンド座標の方向を、ロール、ピッチ、ヨー角を用いz軸周りα、y軸周りβ、x軸周りγで表すものとする。

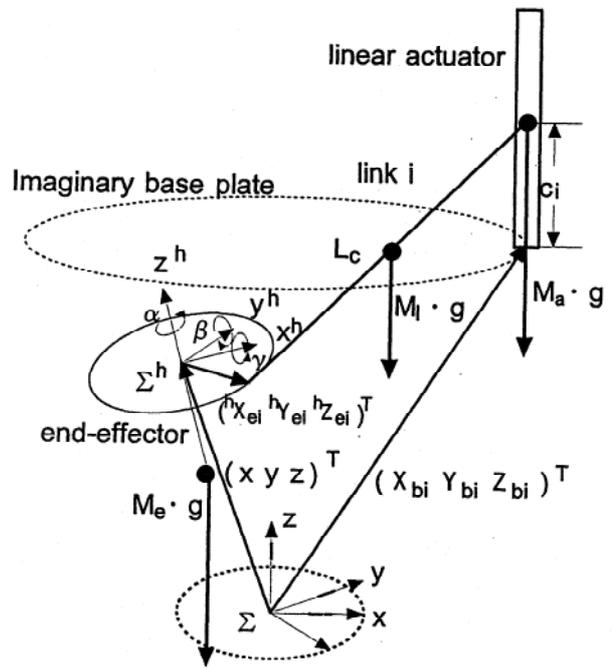


Fig. 2 試作機の機構部の関係と定義

これらの定義に従うと、逆運動学は、式(1)で表記できる。

$$c_i = [L_c^2 - \{ [x + \cos\alpha \cos\beta \cdot ^h X_{ei} + (\cos\alpha \sin\beta \sin\gamma - \sin\alpha \cos\gamma) \cdot ^h Y_{ei} + (\cos\alpha \sin\beta \cos\gamma + \sin\alpha \sin\gamma) \cdot ^h Z_{ei} - X_{bi}]^2 + [y + \sin\alpha \cos\beta \cdot ^h X_{ei} + (\sin\alpha \sin\beta \sin\gamma + \cos\alpha \cos\gamma) \cdot ^h Y_{ei} + (\sin\alpha \sin\beta \cos\gamma - \cos\alpha \sin\gamma) \cdot ^h Z_{ei} - Y_{bi}]^2 \}]^{1/2} + z - \sin\beta \cdot ^h X_{ei} + \cos\beta \sin\gamma \cdot ^h Y_{ei} + \cos\beta \cos\gamma \cdot ^h Z_{ei} - Z_{bi}$$

3. 微小運動学

一般的なパラレルメカニズムの微小運動学解析は、新井により示されている²⁾。同様の考え方を垂直直動型に適用し検討した。

式(1)の右辺 g_i とおき、式(1)の両辺を微分すると、次の関係式が得られる。

$$\delta c = J \cdot \delta x \quad (2)$$

ただし,

$$\delta \mathbf{c} = \begin{pmatrix} \delta c_0 \\ \delta c_1 \\ \delta c_2 \\ \delta c_3 \\ \delta c_4 \\ \delta c_5 \end{pmatrix}, \delta \mathbf{x} = \begin{pmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \\ \delta \alpha \\ \delta \beta \\ \delta \gamma \end{pmatrix}, \mathbf{J} = \begin{pmatrix} \frac{\partial g_0}{\partial x} & \frac{\partial g_0}{\partial y} & \frac{\partial g_0}{\partial z} & \frac{\partial g_0}{\partial \alpha} & \frac{\partial g_0}{\partial \beta} & \frac{\partial g_0}{\partial \gamma} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial g_5}{\partial x} & \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial g_5}{\partial \gamma} \end{pmatrix}$$

(2)式中, J はヤコビ行列を表している.

このヤコビ行列を用いて, 次項以降に垂直直動型パラレルメカニズムの順運動学解析, 特性解析, 静力学シミュレーションを行った.

4. 順運動学

各アクチュエータの変位量から, エンドエフェクタの位置と方向を求める順運動学は, (2)式の関係よりヤコビ逆行列を用い次式が得られる.

$$\delta \mathbf{x} = \mathbf{J}^{-1} \cdot \delta \mathbf{c} \quad (3)$$

式(3)の $x, y, z, \alpha, \beta, \gamma$ の代数的な求解は不可能であるため, 以下の方法で求解する. まず, 式(3)の両辺を δt で割り, δ を d に置き換えれば, 速度に関する次の微分方程式が得られる.

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{J}^{-1} \cdot \frac{d\mathbf{c}}{dt} \quad (4)$$

式(4)において, $c_i = M_i \cdot t + M_{i0}$ (M_i, M_{i0} : 定数) とおき, t で微分すると,

$$\frac{dc_i}{dt} = M_i$$

よって,

$$\frac{d\mathbf{c}}{dt} = \begin{pmatrix} M_0 \\ M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ M_5 \end{pmatrix}$$

順運動学計算のプログラム中では,

M_{i0} : 直動機構 i 軸の初期位置 (mm)

M_i : 直動機構 i 軸の初期位置からの移動量 (mm)

t の初期値は 0, 最終値は 1 とした.

$t = 0$ のとき

$$(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) = (X_0, Y_0, Z_0, A_0, B_0, \Gamma_0)$$

$c_i = M_i$ となる.

$t = t_k$ の時点での x の値を $x(t_k)$ とすると,

$t=t_k+\Delta t$ の時,

$$x(t_k+\Delta t) \doteq x(t_k) + \frac{dx(t_k)}{dt} \Delta t$$

(5)

となる。これを、 $t=0$ から、 $t=1$ になるまで、適当な Δt を定めて計算する。

実際のプログラムでは、式(5)をより高度化したルンゲ・クッタ法により計算した。ルンゲ・クッタ法とは、以下の方法である。

$$x(t_k+\Delta t) \doteq x(t_k) + \frac{1}{6}(k_1+2k_2+2k_3+k_4) \Delta t$$

$$K_1 = f(t_k, x(t_k)) \Delta t$$

$$K_2 = f\left(t_k + \frac{1}{2}\Delta t, x(t_k) + \frac{1}{2}k_1\right) \Delta t$$

$$K_3 = f\left(t_k + \frac{1}{2}\Delta t, x(t_k) + \frac{1}{2}k_2\right) \Delta t$$

$$K_4 = f(t_k + \Delta t, x(t_k) + k_3) \Delta t$$

以上の方法を用いて計算した結果、 Δt を $1/128$ とおくと、前述の逆運動学の入出力値と比較して、誤差 0.001 以内、すなわち、誤差 $1\mu m$ 以内の解が得られた。

5. 動作特性解析

試作機の速度、分解能は、リンク長さなどの設計パラメータに依存する。エンドエフェクタで得られる速度および分解能は、使用したアクチュエータの最高速度と分解能を用いて、微小運動学により推定できる。

直動機構の最高速度を 1000mm/s 、分解能を 0.01mm とした場合、動作領域中心および動作領域周辺域におけるエンドエフェクタの水平方向の最高速度および分解能は、Table. 1に示すように推定された。これより、リンクの長さが増加すると、速度は速くなり、分解能は悪くなるのがわかる。ただし、垂直方向の最高速度と分解能は、アクチュエータに依存することは自明である。

Table 1 Velocity, resolution of end effector

center (x, y, z, α , β , γ)=(0, 0, 200, 0, 0, 0)					edge (x, y, z, α , β , γ)=(200, 0, 200, 0, 0, 0)				
Lc(mm)		600	800	1000			600	800	1000
velocity (mm/s)	dir. X	1492.7	2199.3	2862.1	velocity (mm/s)	dir. X	494.6	1118.3	1594.9
	dir. Y	1430.4	2107.5	2742.6		dir. Y	1219.8	1970.7	2638.9
resolution (mm)	dir. X	0.078	0.114	0.149	resolution (mm)	dir. X	0.086	0.119	0.151
	dir. Y	0.042	0.062	0.081		dir. Y	0.049	0.067	0.085

6. 静力学とアクチュエータ負荷推定

6. 1 機構に働く力と、その位置

Fig. 2 に、本機の移動部とその重心を示す。以下に、それぞれの部分の定義を示す。

①アクチュエータ移動部

アクチュエータの移動部と、それに対して相対位置を変えない部分。この部分の位置ベクトルを基準座標で記述すると、 $(X_{bi} \ Y_{bi} \ Z_{bi}+c_i)^T$ となる。

この部分の質量を M_a とする。

②エンドエフェクタ部

エンドエフェクタと、それに対して相対位置を変えない部分。エンドエフェクタ部の重心位置をハンド座標系で記述したものを $({}^hX_e \ {}^hY_e \ {}^hZ_e)^T$ とし、ハンド座標の方向を 3×3 行列 R で表すものとする。この位置を基準座標で記述すると、 $(x \ y \ z)^T + R ({}^hX_e \ {}^hY_e \ {}^hZ_e)^T$ となる。

この部分の質量を M_e とする。

③リンク部

リンクと、それに対して相対位置を変えない部分とする。リンク部の重心は、リンクの中心にあると仮定する。リンク i の重心位置を基準座標系で記述すると、

$$\{(x \ y \ z)^T + R ({}^hX_{ei} \ {}^hY_{ei} \ {}^hZ_{ei})^T + (X_{bi} \ Y_{bi} \ Z_{bi}+c_i)^T\} / 2 \text{ となる。}$$

この部分の質量を M_i とする。

6. 2 静力学によるアクチュエータの負荷推定

各アクチュエータで垂直方向に発生する力を t_i とする。機構全体が力学的に平衡状態にあると仮定して、アクチュエータ及びエンドエフェクタがそれぞれ δc 、 δx だけ微小運動を行ったとすると、仮想仕事の原理より機構全体が行う仕事は次のようになる。

$$\sum_{i=0}^5 t_i \delta c_i = \sum_{i=0}^5 M_i g \delta c_i + (0 \ 0 \ M_e g) \left\{ \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} + \delta R \begin{bmatrix} {}^hX_e \\ {}^hY_e \\ {}^hZ_e \end{bmatrix} \right\} + (0 \ 0 \ M_i g) \left[\frac{1}{2} \sum_{i=0}^5 \left\{ \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} + \delta R \begin{bmatrix} {}^hX_{ei} \\ {}^hY_{ei} \\ {}^hZ_{ei} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \delta c_i \end{bmatrix} \right\} \right] \quad (6)$$

本機の場合、

$$\sum_{i=0}^5 ({}^hX_{ei} \ {}^hY_{ei} \ {}^hZ_{ei})^T = \mathbf{0} \quad , \quad {}^hX_e = {}^hY_e = 0$$

$i=0$

となるので、これらを式(6)に代入して整理すると、

$$\delta \mathbf{c}^T \begin{pmatrix} t_0 \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \\ t_5 \end{pmatrix} = \delta \mathbf{c}^T \left(M_a g + \frac{M_i g}{2} \right) + \delta \mathbf{x}^T \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ M_e g + 3M_i g \\ 0 \\ M_e g (-\sin \beta \cos \gamma \ {}^hZ_e) \\ M_e g (-\sin \beta \cos \gamma \ {}^hZ_e) \end{pmatrix}$$

式(2)より、 $\delta \mathbf{c}^T = \delta \mathbf{x}^T \mathbf{J}^T$ となるので、各アクチュエータに発生する負荷は次式で示される。

$$\begin{pmatrix} t_0 \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \\ t_5 \end{pmatrix} = \left(M_a g + \frac{M_i g}{2} \right) \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + (\mathbf{J}^T)^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ M_e g + 3M_i g \\ 0 \\ M_e g (-\sin \beta \cos \gamma \ Z_e) \\ M_e g (-\sin \beta \cos \gamma \ Z_e) \end{pmatrix}$$

(7)

また、アクチュエータ負荷の和は、エンドエフェクタの位置姿勢に関わらず、機構移動部の合計質量と同じになるため、次式が成立する。

$$\sum_{i=0}^5 t_i = (6M_a + M_e + 6M_l)g \quad (8)$$

6. 3 アクチュエータ負荷の測定方法

アクチュエータ負荷の測定は、以下の方法で行った。

- ①エンドエフェクタの位置と方向を乱数によって無作為に決め、エンドエフェクタがその位置と方向になるようにアクチュエータを動かす。
- ②アクチュエータ i のサーボロックを解除する。これで、アクチュエータ i は手で自由に動かせる。
- ③アクチュエータ i を手でもとの位置に戻し、そのときにアクチュエータにかかる垂直方向の負荷をバネばかり（分解能2N）で測定する。

また、ボールねじの摩擦力の影響を排除するために、③で、バネばかりの値の最大値と最小値をとり、その平均をアクチュエータ i の負荷とした。

6. 4 計算値と実測値の比較

アクチュエータ負荷の実測値と、静力学計算から推定した値との差を比較した結果をFig. 3 に示す。統計値は、以下である。

測定点	21
データ数	126
誤差の平均値(N)	0
誤差の標準偏差(N)	2.0
絶対誤差の最大値(N)	6

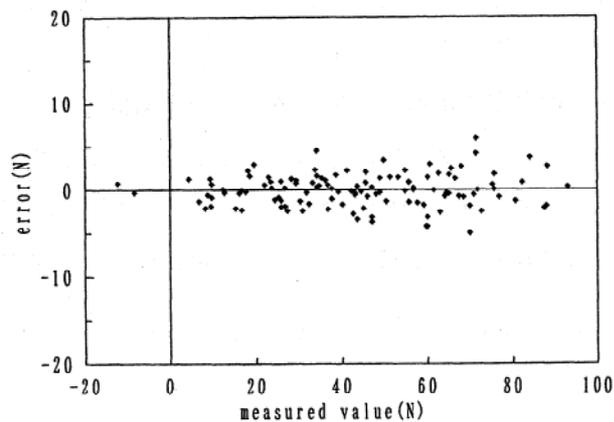


Fig. 3 実測値と、推定値との誤差との関係

誤差の主な原因は、計測結果のばらつきによるもので以下の理由と考えられる。

- ①機構可動部の摩擦力、ガタ、機構の寸法誤差
- ②実測値の計測に用いたバネばかりの分解能

このことは、式(8)から常に同じ値となるべき6本のアクチュエータ負荷の合計が、以下のとおり誤差を持つことから考えられる。

データ数	21
アクチュエータ負荷合計の平均値(N)	265
アクチュエータ負荷合計の標準偏差(N)	3.9
平均値からの絶対誤差の最大値(N)	7

6. 5 考 察

推定計算と実測値の差は、最大で10%以内に収まっている。測定器の精度などを考慮すれば、検討した静力学計算式は妥当なものと考えられる。

このことから、垂直直動型パラレルメカニズムは、要求される負荷条件から機構部品の仕様など、設計パラメータを決めることができる。

7. 結 言

本研究において、以下の結果を得た。

- (1) 垂直直動型パラレルメカニズムの逆運動学式より微小運動学式を導き、順運動学解析を行った。
- (2) 順運動学式から、エンドエフェクタにおける最高速度と分解能の推定計算ができることを示した。
- (3) 系全体に働く静的な力のバランスを考慮して、仮想仕事の原理から、アクチュエータ負荷の推定計算を行う静力学式を導いた。
- (4) アクチュエータ負荷の推定計算値と実測値の比較を行い、計算手法が妥当なものであることを確認した。
- (5) 以上の結果は、パラレルメカニズムを設計する場合、直動機構の選定や各種設計パラメータに反映させることができる。

8. 謝 辞

本研究の実施にあたり、ご指導を頂いた機械技術研究所ロボット工学部自律制御研究室 新井健生室長（現 大阪大学）に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 増田他:”垂直直動型パラレルメカニズムの開発”, 日本機械学会東海支部講演論文集, No. 973-1, pp. 323~324, 1997
- 2) 新井健生:”静力学特性に基づくパラレルリンクマニピュレータの解析と統合”, 日本ロボット学会誌(1992)vol. 10, No. 4, pp. 526~533

(8) 粉末パターンフィッティング法を用いたセラミックス材料の定量

材料開発部門 林 茂雄

本研究は、平成8年度長期派遣研修として、名古屋工業大学セラミックス研究施設にて行ったものである。この研究内容の詳細については、学術協会誌に論文投稿予定であることから概要について報告する。

1. はじめに

平成7年度の年報にて、新しく提案されたWPPD法(Whole-Powder-Pattern Decomposition method)による定量法を多成分系試料に応用した結果について報告を行った。そこでは、8~10成分系試料の定量とその中に含まれる微量成分の定量を行い、定量精度について検討を行った。この方法は、粉末パターン全体をフィッティングすることで得られるスケール因子から各成分の重量分率を求めるものである。本報告では、WPPD法と同じく粉末パターン全体を参照するRietveld法を用いて同系列試料の定量を行い両者の定量精度について検討を行った。なお、WPPD法はRietveld法と異なり解析において、格子定数の近似値のみが必要であり、結晶構造パラメータは必要としない。そこで、WPPD法による定量法を一般に、その結晶構造パラメータを得ることが困難である天然原料の定量分析に適用したので報告する。

2. 実験

標準試料と多成分系混合試料をガラス製試料ホルダーに均一に詰めて測定試料とした。理学電機社製RAD II A(2KW)縦型ゴニオメータ、グラファイトモノクロメータ付き粉末X線回折装置を用いて回折強度の測定を行った。測定条件は、ステップスキャン法を用いて、ターゲット：Cu，管電圧・管電流：40KV・40mA，測定範囲：15°~80°，ステップ幅：0.02°，各ステップ毎の測定時間：4秒，発散スリット：1°，散乱スリット：1°，受光スリット：0.3mm，モノクロメータ受光スリット：0.6mmとした。

3. 結果と考察

表1に代表例として10成分系混合試料をWPPD法とRietveld法を用いて定量した結果を示す。解析範囲は $2\theta = 30^\circ \sim 80^\circ$ とした。WPPD法を用いた場合の定量誤差の平均値(ΔW_{ave})は0.28(%)となりRietveld法を用いた場合の1.10(%)に比べて高い精度で定量が行えたことを示している。また、図1に3成分系天然原料[K長石：Na長石： α -石英=20：20：60(wt%)]のWPPD法によるフィッティング結果を示した。WPPD法での解析範囲は $2\theta = 29^\circ \sim 80^\circ$ とした。解析範囲内の回折ピークの総数は1001本で、定量誤差の平均値は0.74(%)となり高精度な定量が行えたことを示している。

Table1. Weight fraction in % for ten-component system

$2\theta=30-80\text{deg.}$	W_{known}	WPPD method		Reitveld method	
		W_{found}	ΔW	W_{found}	ΔW
Corundum	12.00	12.71	0.71	12.91	0.91
Quartz	4.00	3.86	-0.14	5.02	1.02
Zincite	4.00	4.07	0.07	3.74	-0.26
Rutile	10.00	9.77	-0.23	11.11	1.11
Anatase	10.00	10.40	0.40	12.32	2.32
Yttria	4.00	4.05	0.05	4.13	0.13
Ceria	12.00	11.64	-0.36	11.34	-0.66
Hematite	20.00	19.43	-0.57	18.38	-1.62
Magnetite	16.00	16.19	0.19	14.89	-1.11
Calcite	8.00	7.88	-0.12	6.16	1.84
		$\Delta W_{\text{av.}}=0.28\%$		$\Delta W_{\text{av.}}=1.10\%$	
		$R_{\text{wp}}=8.25\%$		$R_{\text{wp}}=12.15\%$	

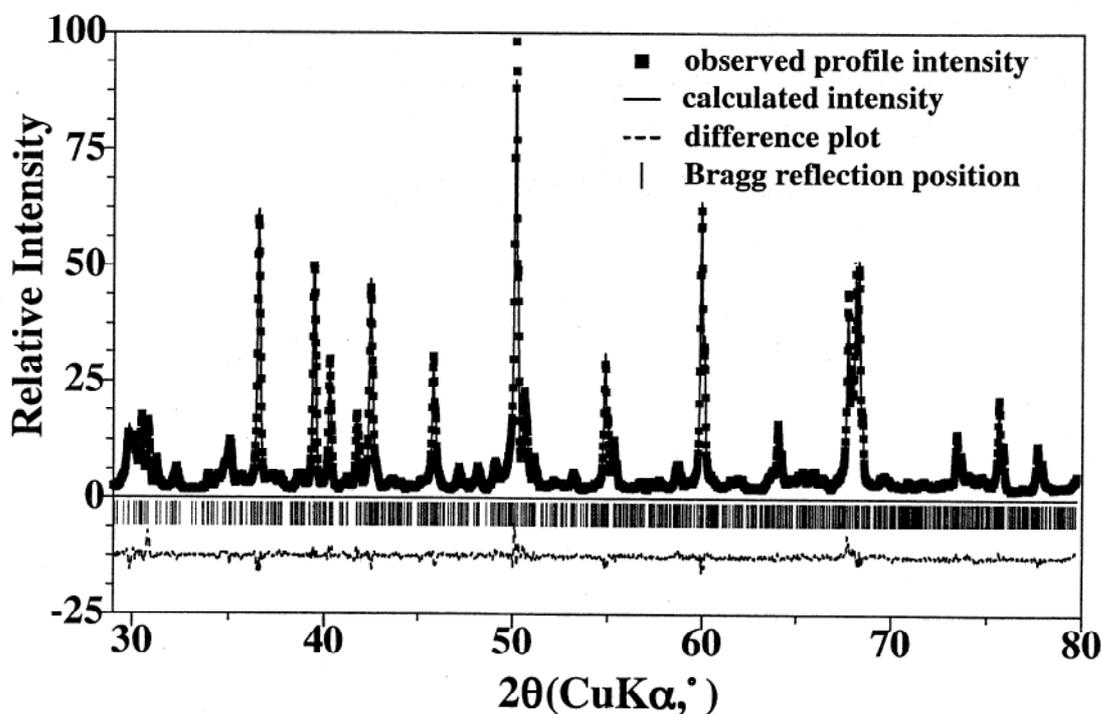


Fig1. Fitting result for three-component system.

参考文献

- 1) H. Toraya and S. Tsusaka, J. Appl. Cryst, 28, 392-399(1995).

(9) 他誌掲載等

外部口頭発表

- (1) 『石膏の吸水特性』
稲垣順一、庄山昌志、國枝勝利（三重窯試）
小田喜一、佐野三郎、伴野 巧、芝崎靖雄（名工研）
於：日本セラミックス協会年会
- (2) 『石膏によるアルミナ鑄込み泥しょうの着肉特性』
稲垣順一、國枝勝利（三重窯試）
小田喜一、芝崎靖雄（名工研）
於：日本セラミックス協会年会
- (3) 『低火度無鉛釉薬の化学的耐久性』
庄山昌志、國枝勝利
於：日本セラミックス協会年会
- (4) 『ゾル・ゲル法による希土類添加ZrSiO₄系顔料の合成』
庄山昌志（三重窯試）
那須弘行、神谷寛一（三重大）
於：日本セラミックス協会年会
- (5) 『粉末パターンフィッティング法を用いたセラミックス材料の定量』
林 茂雄（三重窯試）、虎谷秀穂（名工大）
於：日本セラミックス協会 第9回秋季シンポジウム

三重県窯業試験場年報

平成8年度 (Vol.31)

発行日 平成9年9月1日

発 行 三重県窯業試験場

三重県四日市市東阿倉川788

電 話 0593-31-2381

FAX 0593-31-7223