

2016年度 学位論文（博士）

亜鉛結晶釉の結晶析出の多様化に関する研究

A Study on the diversification of the crystallization of zinc crystal glaze

鄭 智恩

2016年度 学位論文（博士）

亜鉛結晶釉の結晶析出の多様化に関する研究

A Study on the diversification of the crystallization of zinc crystal glaze

京都造形芸術大学大学院

芸術研究科

芸術専攻

鄭 智恩

目 次

序章

1. 研究目的.....	1
2. 研究の理論的背景	3
3. 研究方法	8
第一部 亜鉛結晶釉を用いた結晶表現の多様化	9
第1章 亜鉛結晶釉の発色剤添加による結晶析出の変化	9
1. 本研究の亜鉛結晶釉の基本調合	9
1. 1 焼成条件	9
1. 2 結果	10
2. 発色剤の単独添加による結晶析出模様	11
2. 1 実験方法	11
2. 2 焼成条件	12
2. 3 結果	12
2. 3.1 MnO	12
2. 3.2 Fe ₂ O ₃	16
2. 3.3 CuO	19
2. 3.4 NiO ₂	24
3. 2種類の発色剤添加による結晶析出模様	27
3. 1 Fe ₂ O ₃ +CuO	27
3. 2 Fe ₂ O ₃ +MnO	28
3. 3 Fe ₂ O ₃ +NiO ₂	29
3. 4 CuO+MnO	29
3. 5 CuO+NiO ₂	30
3. 6 MnO+NiO ₂	31
3. 7 各酸化物とCo ₃ O ₄ 混合	31
4. 3種類の発色剤添加による結晶析出模様	33
4. 1 Fe ₂ O ₃ +MnO+CuO	34
4. 2 Fe ₂ O ₃ +CuO+NiO ₂	35
4. 3 Fe ₂ O ₃ +NiO ₂ +MnO と MnO+NiO ₂ +CuO	36
4. 4 各発色剤とCo ₃ O ₄ 混合	37

5. 考察	40
第2章 結晶成長温度の変化による結晶析出方法	44
1. 実験目的	44
2. 実験方法	45
3. 結果	45
4. 考察	56
第二部 亜鉛結晶釉の作品制作	59
1. 制作目的	59
2. 制作方法	60
3. 結果	60
3.1 作品Ⅰ	60
3.2 作品Ⅱ	61
3.3 作品Ⅲ	61
3.4 作品Ⅳ	62
3.5 作品Ⅴ	62
3.6 作品Ⅵ	63
3.7 作品Ⅶ	64
3.8 作品Ⅷ	64
結論	66
注	69
引用文献	70
参考文献	70
図版	
参考資料a(表)、b(グラフ)	
作品リスト	
作品写真	

表目次

表1 亜鉛結晶釉調合比(%).....	a
表2-1 2種類発色剤添加比 Fe_2O_3 、 CuO (%)	a
表2-2 2種類発色剤添加比 Fe_2O_3 、 MnO (%)	a
表2-3 2種類発色剤添加比 Fe_2O_3 、 NiO_2 (%)	a
表2-4 2種類発色剤添加比 CuO 、 MnO (%)	a
表2-5 2種類発色剤添加 CuO 、 NiO_2 (%)	a
表2-6 2種類発色剤添加比 MnO 、 NiO_2 (%)	a
表3-1 3種類発色剤添加 Fe_2O_3 、 MnO 、 CuO (%)	b
表3-2 3種類発色剤添加比 Fe_2O_3 、 CuO 、 NiO_2 (%)	b
表3-3 3種類発色剤添加比 Fe_2O_3 、 NiO_2 、 MnO (%)	b
表3-4 3種類発色剤添加比 MnO 、 NiO_2 、 CuO (%)	b

グラフ目次

グラフ1(基本亜鉛結晶釉薬 冷却酸化焼成)	c
グラフ2(還元焼成)	c
グラフ3(酸化焼成)	d
グラフ4(冷却酸化焼成 1150℃-5h)	d
グラフ5(冷却酸化焼成 1100℃-5h)	e
グラフ6(冷却酸化焼成 1050℃-5h)	e
グラフ7(結晶成長温度による結晶析出変化①)	f
グラフ8(結晶成長温度による結晶析出変化②)	f
グラフ9(焼成累積データ 2013～2014 年)	g
グラフ 10(焼成累積データ 2015 年)	g

図版目次

(図1) 1200 度で焼成した煨焼亜鉛	[1]
(図2) 播潰機	[1]
(図3) 釉薬テストのため 100gづつ配合	[1]
(図4) 配合した釉薬を乳鉢に入れ混合	[1]
(図5) テストピース施釉	[1]
(図6) 5kw 電気窯	[1]

(図7) 亜鉛結晶 基本調合 Test	[2]
(図8) 亜鉛結晶釉 還元焼成(1250 度).....	[2]
(図9) 亜鉛結晶釉 酸化焼成(1250 度).....	[2]
(図 10) 亜鉛結晶釉 1150 度(5時間).....	[2]
(図 11) 亜鉛結晶釉 1100℃(5時間)	[2]
(図 12) 亜鉛結晶釉 酸化焼成後 冷却酸化焼成	[2]
(図 13) MnO 0.5%(1150℃—5時間)	[3]
(図 14) MnO 0.5%(1100℃—5時間)	[3]
(図 15) MnO 0.5%(1050℃—5時間)	[3]
(図 16) MnO 1%(1150℃—5時間)	[3]
(図 17) MnO 1%(1100℃—5時間)	[3]
(図 18) MnO 1%(1050℃—5時間)	[3]
(図 19) MnO 2%(1150℃—5時間)	[4]
(図 20) MnO 2%(1100℃—5時間)	[4]
(図 21) MnO 2%(1050℃—5時間)	[4]
(図 22) MnO 3%(1150℃—5時間)	[4]
(図 23) MnO 3%(1100℃—5時間)	[4]
(図 24) MnO 3%(1050℃—5時間)	[4]
(図 25) MnO 4%(1150℃—5時間).....	[5]
(図 26) MnO 4%(1100℃—5時間).....	[5]
(図 27) MnO 4%(1050℃—5時間).....	[5]
(図 28) MnO 5%(1150℃—5時間).....	[5]
(図 29) MnO 5%(1100℃—5時間).....	[5]
(図 30) MnO 5%(1050℃—5時間).....	[5]
(図 31) MnO 6%(1150℃—5時間).....	[6]
(図 32) MnO 6%(1100℃—5時間).....	[6]
(図 33) MnO 6%(1050℃—5時間).....	[6]
(図 34) MnO 7%(1150℃—5時間).....	[6]
(図 35) MnO 7%(1100℃—5時間).....	[6]
(図 36) MnO 7%(1050℃—5時間).....	[6]
(図 37) MnO 8%(1150℃—5時間).....	[7]
(図 38) MnO 8%(1100℃—5時間).....	[7]
(図 39) MnO 8%(1050℃—5時間).....	[7]

(図 40) MnO 9% (1150℃—5時間)	[7]
(図 41) MnO 9% (1100℃—5時間)	[7]
(図 42) MnO 9% (1050℃—5時間)	[7]
(図 43) MnO 10% (1150℃—5時間)	[8]
(図 44) MnO 10% (1100℃—5時間)	[8]
(図 45) MnO 10% (1050℃—5時間)	[8]
(図 46) MnO 15% (1150℃—5時間)	[8]
(図 47) MnO 15% (1100℃—5時間)	[8]
(図 48) MnO 15% (1050℃—5時間)	[8]
(図 49) Fe ₂ O ₃ 0.5% (1150℃—5時間)	[9]
(図 50) Fe ₂ O ₃ 0.5% (1100℃—5時間)	[9]
(図 51) Fe ₂ O ₃ 0.5% (1050℃—5時間)	[9]
(図 52) Fe ₂ O ₃ 1% (1150℃—5時間)	[9]
(図 53) Fe ₂ O ₃ 1% (1100℃—5時間)	[9]
(図 54) Fe ₂ O ₃ 1% (1050℃—5時間)	[9]
(図 55) Fe ₂ O ₃ 2% (1150℃—5時間)	[10]
(図 56) Fe ₂ O ₃ 2% (1100℃—5時間)	[10]
(図 57) Fe ₂ O ₃ 2% (1050℃—5時間)	[10]
(図 58) Fe ₂ O ₃ 3% (1150℃—5時間)	[10]
(図 59) Fe ₂ O ₃ 3% (1100℃—5時間)	[10]
(図 60) Fe ₂ O ₃ 3% (1050℃—5時間)	[10]
(図 61) Fe ₂ O ₃ 4% (1150℃—5時間)	[11]
(図 62) Fe ₂ O ₃ 4% (1100℃—5時間)	[11]
(図 63) Fe ₂ O ₃ 4% (1050℃—5時間)	[11]
(図 64) Fe ₂ O ₃ 5% (1150℃—5時間)	[11]
(図 65) Fe ₂ O ₃ 5% (1100℃—5時間)	[11]
(図 66) Fe ₂ O ₃ 5% (1050℃—5時間)	[11]
(図 67) Fe ₂ O ₃ 6% (1150℃—5時間)	[12]
(図 68) Fe ₂ O ₃ 6% (1100℃—5時間)	[12]
(図 69) Fe ₂ O ₃ 6% (1050℃—5時間)	[12]
(図 70) Fe ₂ O ₃ 7% (1150℃—5時間)	[12]
(図 71) Fe ₂ O ₃ 7% (1100℃—5時間)	[12]
(図 72) Fe ₂ O ₃ 7% (1050℃—5時間)	[12]

(図 73) Fe_2O_3 8% (1150℃—5時間)	[13]
(図 74) Fe_2O_3 8% (1100℃—5時間)	[13]
(図 75) Fe_2O_3 8% (1050℃—5時間)	[13]
(図 76) Fe_2O_3 9% (1150℃—5時間)	[13]
(図 77) Fe_2O_3 9% (1100℃—5時間)	[13]
(図 78) Fe_2O_3 9% (1050℃—5時間)	[13]
(図 79) Fe_2O_3 10% (1150℃—5時間)	[14]
(図 80) Fe_2O_3 10% (1100℃—5時間)	[14]
(図 81) Fe_2O_3 10% (1050℃—5時間)	[14]
(図 82) Fe_2O_3 15% (1150℃—5時間)	[14]
(図 83) Fe_2O_3 15% (1100℃—5時間)	[14]
(図 84) Fe_2O_3 15% (1050℃—5時間)	[14]
(図 85) CuO 0.5% (1150℃—5時間)	[15]
(図 86) CuO 0.5% (1100℃—5時間)	[15]
(図 87) CuO 0.5% (1050℃—5時間)	[15]
(図 88) CuO 1% (1150℃—5時間)	[15]
(図 89) CuO 1% (1100℃—5時間)	[15]
(図 90) CuO 1% (1050℃—5時間)	[15]
(図 91) CuO 2% (1150℃—5時間)	[16]
(図 92) CuO 2% (1100℃—5時間)	[16]
(図 93) CuO 2% (1050℃—5時間)	[16]
(図 94) CuO 3% (1150℃—5時間)	[16]
(図 95) CuO 3% (1100℃—5時間)	[16]
(図 96) CuO 3% (1050℃—5時間)	[16]
(図 97) CuO 4% (1150℃—5時間)	[17]
(図 98) CuO 4% (1100℃—5時間)	[17]
(図 99) CuO 4% (1050℃—5時間)	[17]
(図 100) CuO 5% (1150℃—5時間)	[17]
(図 101) CuO 5% (1100℃—5時間)	[17]
(図 102) CuO 5% (1050℃—5時間)	[17]
(図 103) CuO 6% (1150℃—5時間)	[18]
(図 104) CuO 6% (1100℃—5時間)	[18]
(図 105) CuO 6% (1050℃—5時間)	[18]

(図 106) CuO 7% (1150℃—5時間)	[18]
(図 107) CuO 7% (1100℃—5時間)	[18]
(図 108) CuO 7% (1050℃—5時間)	[18]
(図 109) CuO 8% (1150℃—5時間)	[19]
(図 110) CuO 8% (1100℃—5時間)	[19]
(図 111) CuO 8% (1050℃—5時間)	[19]
(図 112) CuO 9% (1150℃—5時間)	[19]
(図 113) CuO 9% (1100℃—5時間)	[19]
(図 114) CuO 9% (1050℃—5時間)	[19]
(図 115) CuO 10% (1150℃—5時間)	[20]
(図 116) CuO 10% (1100℃—5時間)	[20]
(図 117) CuO 10% (1050℃—5時間)	[20]
(図 118) CuO 15% (1150℃—5時間)	[20]
(図 119) CuO 15% (1100℃—5時間)	[20]
(図 120) CuO 15% (1050℃—5時間)	[20]
(図 121) NiO ₂ 0.5% (1150℃—5時間)	[21]
(図 122) NiO ₂ 0.5% (1100℃—5時間)	[21]
(図 123) NiO ₂ 0.5% (1050℃—5時間)	[21]
(図 124) NiO ₂ 1% (1150℃—5時間)	[21]
(図 125) NiO ₂ 1% (1100℃—5時間)	[21]
(図 126) NiO ₂ 1% (1050℃—5時間)	[21]
(図 127) NiO ₂ 2% (1150℃—5時間)	[22]
(図 128) NiO ₂ 2% (1100℃—5時間)	[22]
(図 129) NiO ₂ 2% (1050℃—5時間)	[22]
(図 130) NiO ₂ 3% (1150℃—5時間)	[22]
(図 131) NiO ₂ 3% (1100℃—5時間)	[22]
(図 132) NiO ₂ 3% (1050℃—5時間)	[22]
(図 133) NiO ₂ 4% (1150℃—5時間)	[23]
(図 134) NiO ₂ 4% (1100℃—5時間)	[23]
(図 135) NiO ₂ 4% (1050℃—5時間)	[23]
(図 136) NiO ₂ 5% (1150℃—5時間)	[23]
(図 137) NiO ₂ 5% (1100℃—5時間)	[23]
(図 138) NiO ₂ 5% (1050℃—5時間)	[23]

(図 139) NiO ₂ 6% (1150℃—5時間)	[24]
(図 140) NiO ₂ 6% (1100℃—5時間)	[24]
(図 141) NiO ₂ 6% (1050℃—5時間)	[24]
(図 142) NiO ₂ 7% (1150℃—5時間)	[24]
(図 143) NiO ₂ 7% (1100℃—5時間)	[24]
(図 144) NiO ₂ 7% (1050℃—5時間)	[24]
(図 145) NiO ₂ 8% (1150℃—5時間)	[25]
(図 146) NiO ₂ 8% (1100℃—5時間)	[25]
(図 147) NiO ₂ 8% (1050℃—5時間)	[25]
(図 148) NiO ₂ 9% (1150℃—5時間)	[25]
(図 149) NiO ₂ 9% (1100℃—5時間)	[25]
(図 150) NiO ₂ 9% (1050℃—5時間)	[25]
(図 151) NiO ₂ 10% (1150℃—5時間)	[26]
(図 152) NiO ₂ 10% (1100℃—5時間)	[26]
(図 153) NiO ₂ 10% (1050℃—5時間)	[26]
(図 154) NiO ₂ 15% (1150℃—5時間)	[26]
(図 155) NiO ₂ 15% (1100℃—5時間)	[26]
(図 156) NiO ₂ 15% (1050℃—5時間)	[26]
(図 157) Fe ₂ O ₃ 1%、CuO 1%(1100℃—5時間)	[27]
(図 158) Fe ₂ O ₃ 1%、CuO 2%(1100℃—5時間)	[27]
(図 159) Fe ₂ O ₃ 2%、CuO 1%(1100℃—5時間)	[27]
(図 160) Fe ₂ O ₃ 2%、CuO 2%(1100℃—5時間)	[27]
(図 161) Fe ₂ O ₃ 1%、MnO 1%(1100℃—5時間)	[27]
(図 162) Fe ₂ O ₃ 1%、MnO 2%(1100℃—5時間)	[27]
(図 163) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 1% (1100℃—5時間)	[28]
(図 164) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 2% (1100℃—5時間)	[28]
(図 165) Fe ₂ O ₃ 1%、NiO ₂ 1% (1100℃—5時間)	[28]
(図 166) Fe ₂ O ₃ 1%、NiO ₂ 2%(1100℃—5時間)	[28]
(図 167) Fe ₂ O ₃ 2%、NiO ₂ 1%(1100℃—5時間)	[28]
(図 168) Fe ₂ O ₃ 2%、NiO ₂ 2%(1100℃—5時間)	[28]
(図 169) CuO 1%、MnO 1% (1100℃—5時間)	[29]
(図 170) CuO 1%、MnO 2% (1100℃—5時間)	[29]
(図 171) CuO 2%、MnO 1% (1100℃—5時間)	[29]

(図 172) CuO 2%、MnO 2% (1100℃—5時間)	[29]
(図 173) CuO 1%、NiO ₂ 1% (1100℃—5時間)	[29]
(図 174) CuO 1%、NiO ₂ 2% (1100℃—5時間)	[29]
(図 175) CuO 2%、NiO ₂ 1% (1100℃—5時間)	[30]
(図 176) CuO 2%、NiO ₂ 2% (1100℃—5時間)	[30]
(図 177) CuO 3%、NiO ₂ 1% (1100℃—5時間)	[30]
(図 178) MnO 1%、NiO ₂ 1% (1100℃—5時間)	[30]
(図 179) MnO 1%、NiO ₂ 2% (1100℃—5時間)	[30]
(図 180) MnO 2%、NiO ₂ 1% (1100℃—5時間)	[30]
(図 181) MnO 2%、NiO ₂ 2% (1100℃—5時間)	[31]
(図 182) MnO 2%、Co ₃ O ₄ 0.3% (1100℃—5時間)	[31]
(図 183) MnO 3%、Co ₃ O ₄ 1% (1100℃—5時間)	[31]
(図 184) MnO 10%、Co ₃ O ₄ 0.5% (1100℃—5時間)	[31]
(図 185) NiO ₂ 1%、Co ₃ O ₄ 0.3% (1100℃—5時間)	[31]
(図 186) CuO 3%、Co ₃ O ₄ 1% (1100℃—5時間)	[31]
(図 187) Fe ₂ O ₃ 1%、MnO 1%、CuO 1% (1100℃—5時間)	[32]
(図 188) Fe ₂ O ₃ 1%、MnO 1%、CuO 2% (1100℃—5時間)	[32]
(図 189) Fe ₂ O ₃ 1%、MnO 2%、CuO 1% (1100℃—5時間)	[32]
(図 190) Fe ₂ O ₃ 1%、MnO 2%、CuO 2% (1100℃—5時間)	[32]
(図 191) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 1%、CuO 1% (1100℃—5時間)	[32]
(図 192) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 1%、CuO 2% (1100℃—5時間)	[32]
(図 193) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 2%、CuO 1% (1100℃—5時間)	[33]
(図 194) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 2%、CuO 2% (1100℃—5時間)	[33]
(図 195) Fe ₂ O ₃ 4%、MnO 2%、CuO 1% (1100℃—5時間)	[33]
(図 196) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 3%、CuO 1% (1100℃—5時間)	[33]
(図 197) Fe ₂ O ₃ 1%、MnO 2%、CuO 3% (1100℃—5時間)	[33]
(図 198) Fe ₂ O ₃ 1%、MnO 2%、CuO 4% (1100℃—5時間)	[33]
(図 199) Fe ₂ O ₃ 1%、CuO 1%、NiO ₂ 1% (1100℃—5時間)	[34]
(図 200) Fe ₂ O ₃ 1%、CuO 1%、NiO ₂ 2% (1100℃—5時間)	[34]
(図 201) Fe ₂ O ₃ 1%、CuO 2%、NiO ₂ 1% (1100℃—5時間)	[34]
(図 202) Fe ₂ O ₃ 1%、CuO 2%、NiO ₂ 2% (1100℃—5時間)	[34]
(図 203) Fe ₂ O ₃ 2%、CuO 1%、NiO ₂ 1% (1100℃—5時間)	[34]
(図 204) Fe ₂ O ₃ 2%、CuO 1%、NiO ₂ 2% (1100℃—5時間)	[34]

(図 205) Fe_2O_3 2%、 CuO 2%、 NiO_2 1% (1100℃—5時間)	[35]
(図 206) Fe_2O_3 2%、 CuO 2%、 NiO_2 2% (1100℃—5時間)	[35]
(図 207) Fe_2O_3 1%、 CuO 2%、 NiO_2 3% (1100℃—5時間)	[35]
(図 208) Fe_2O_3 1%、 CuO 4%、 NiO_2 3% (1100℃—5時間)	[35]
(図 209) Fe_2O_3 2%、 CuO 1%、 NiO_2 3% (1100℃—5時間)	[35]
(図 210) Fe_2O_3 3%、 CuO 1%、 NiO_2 2% (1100℃—5時間)	[35]
(図 211) Fe_2O_3 4%、 CuO 1%、 NiO_2 2% (1100℃—5時間)	[36]
(図 212) Fe_2O_3 4%、 CuO 2%、 NiO_2 1% (1100℃—5時間)	[36]
(図 213) Fe_2O_3 5%、 CuO 1%、 NiO_2 1% (1100℃—5時間)	[36]
(図 214) Fe_2O_3 1%、 NiO_2 1%、 MnO 1% (1100℃—5時間)	[36]
(図 215) Fe_2O_3 1%、 NiO_2 1%、 MnO 2% (1100℃—5時間)	[36]
(図 216) Fe_2O_3 1%、 NiO_2 2%、 MnO 1% (1100℃—5時間)	[37]
(図 217) Fe_2O_3 1%、 NiO_2 2%、 MnO 2% (1100℃—5時間)	[37]
(図 218) Fe_2O_3 2%、 NiO_2 1%、 MnO 1% (1100℃—5時間)	[37]
(図 219) Fe_2O_3 2%、 NiO_2 1%、 MnO 2% (1100℃—5時間)	[37]
(図 220) Fe_2O_3 2%、 NiO_2 2%、 MnO 1% (1100℃—5時間)	[37]
(図 221) Fe_2O_3 2%、 NiO_2 2%、 MnO 2% (1100℃—5時間)	[37]
(図 222) MnO 1%、 NiO_2 1%、 CuO 1% (1100℃—5時間)	[38]
(図 223) MnO 1%、 NiO_2 1%、 CuO 2% (1100℃—5時間)	[38]
(図 224) MnO 1%、 NiO_2 2%、 CuO 1% (1100℃—5時間)	[38]
(図 225) MnO 1%、 NiO_2 2%、 CuO 2% (1100℃—5時間)	[38]
(図 226) MnO 2%、 NiO_2 1%、 CuO 1% (1100℃—5時間)	[38]
(図 227) MnO 2%、 NiO_2 1%、 CuO 2% (1100℃—5時間)	[38]
(図 228) MnO 2%、 NiO_2 2%、 CuO 1% (1100℃—5時間)	[39]
(図 229) MnO 2%、 NiO_2 2%、 CuO 2% (1100℃—5時間)	[39]
(図 230) MnO 4%、 NiO_2 1%、 CuO 2% (1100℃—5時間)	[39]
(図 231) Fe_2O_3 0.5%、 MnO 1%、 Co_3O_4 0.3% (1100℃—5時間)	[39]
(図 232) Fe_2O_3 1%、 MnO 2%、 Co_3O_4 0.3% (1100℃—5時間)	[39]
(図 233) Fe_2O_3 3%、 MnO 1%、 Co_3O_4 0.1% (1100℃—5時間)	[40]
(図 234) Fe_2O_3 1%、 CuO 2%、 Co_3O_4 0.1% (1100℃—5時間)	[40]
(図 235) Fe_2O_3 4%、 CuO 1%、 Co_3O_4 0.6% (1100℃—5時間)	[40]
(図 236) Fe_2O_3 1%、 CuO 3%、 Co_3O_4 0.3% (1100℃—5時間)	[40]
(図 237) MnO 3%、 NiO_2 1%、 Co_3O_4 0.2% (1100℃—5時間)	[40]

(図 238) MnO 0.5%、CuO 1%、Co ₃ O ₄ 0.3% (1100℃—5時間)	[40]
(図 239) MnO 1%、CuO 2%、Co ₃ O ₄ 0.1% (1100℃—5時間)	[41]
(図 240) MnO 3%、CuO 2%、Co ₃ O ₄ 0.1% (1100℃—5時間)	[41]
(図 241) Fe ₂ O ₃ 3%、CuO 1%、NiO ₂ 2% (1150℃3時間—1100℃3時間)	[42]
(図 242) Fe ₂ O ₃ 3%、CuO 1%、NiO ₂ 2% (1150℃3時間—1050℃3時間)	[42]
(図 243) Fe ₂ O ₃ 3%、CuO 1%、NiO ₂ 2% (1100℃3時間—1150℃3時間)	[42]
(図 244) Fe ₂ O ₃ 3%、CuO 1%、NiO ₂ 2% (1050℃3時間—1150℃3時間)	[42]
(図 245) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 1%、CuO 3% (1150℃3時間—1100℃3時間)	[42]
(図 246) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 1%、CuO 3% (1150℃3時間—1050℃3時間)	[42]
(図 247) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 1%、CuO 3% (1100℃3時間—1150℃3時間)	[43]
(図 248) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 1%、CuO 3% (1050℃3時間—1150℃3時間)	[43]
(図 249) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 3%、CuO 1% (1150℃3時間—1100℃3時間)	[43]
(図 250) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 3%、CuO 1% (1150℃3時間—1050℃3時間)	[43]
(図 251) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 3%、CuO 1% (1100℃3時間—1150℃3時間)	[43]
(図 252) Fe ₂ O ₃ 2%、MnO 3%、CuO 1% (1050℃3時間—1150℃3時間)	[43]
(図 253) Fe ₂ O ₃ 2%、CuO 1%、NiO ₂ 3% (1150℃3時間—1100℃3時間)	[44]
(図 254) Fe ₂ O ₃ 2%、CuO 1%、NiO ₂ 3% (1150℃3時間—1050℃3時間)	[44]
(図 255) Fe ₂ O ₃ 2%、CuO 1%、NiO ₂ 3% (1100℃3時間—1150℃3時間)	[44]
(図 256) Fe ₂ O ₃ 2%、CuO 1%、NiO ₂ 3% (1050℃3時間—1150℃3時間)	[44]
(図 257) Fe ₂ O ₃ 1%、CuO 2%、NiO ₂ 3% (1150℃3時間—1100℃3時間)	[44]
(図 258) Fe ₂ O ₃ 1%、CuO 2%、NiO ₂ 3% (1150℃3時間—1050℃3時間)	[44]
(図 259) Fe ₂ O ₃ 1%、CuO 2%、NiO ₂ 3% (1100℃3時間—1150℃3時間)	[45]
(図 260) Fe ₂ O ₃ 1%、CuO 2%、NiO ₂ 3% (1050℃3時間—1150℃3時間)	[45]
(図 261) Fe ₂ O ₃ 4%、CuO 1%、NiO ₂ 2% (1150℃3時間—1100℃3時間)	[45]
(図 262) Fe ₂ O ₃ 4%、CuO 1%、NiO ₂ 2% (1150℃3時間—1050℃3時間)	[45]
(図 263) Fe ₂ O ₃ 4%、CuO 1%、NiO ₂ 2% (1100℃3時間—1150℃3時間)	[45]
(図 264) Fe ₂ O ₃ 4%、CuO 1%、NiO ₂ 2% (1050℃3時間—1150℃3時間)	[45]
(図 265) MnO 4%、CuO 2%、NiO ₂ 1% (1150℃3時間—1100℃3時間)	[46]
(図 266) MnO 4%、CuO 2%、NiO ₂ 1% (1150℃3時間—1050℃3時間)	[46]
(図 267) MnO 4%、CuO 2%、NiO ₂ 1% (1100℃3時間—1150℃3時間)	[46]
(図 268) MnO 4%、CuO 2%、NiO ₂ 1% (1050℃3時間—1150℃3時間)	[46]
(図 269) Fe ₂ O ₃ 3%、MnO 1%、CuO 5% (1150℃3時間—1100℃3時間)	[46]
(図 270) Fe ₂ O ₃ 3%、MnO 1%、CuO 5% (1150℃3時間—1050℃3時間)	[46]

(図 271) Fe_2O_3 3%、 MnO 1%、 CuO 5% (1100℃3時間－1150℃3時間)	[47]
(図 272) Fe_2O_3 3%、 MnO 1%、 CuO 5% (1050℃3時間－1150℃3時間)	[47]
(図 273) Fe_2O_3 5%、 CuO 1%、 NiO_2 1% (1150℃3時間－1100℃3時間)	[47]
(図 274) Fe_2O_3 5%、 CuO 1%、 NiO_2 1% (1150℃3時間－1050℃3時間)	[47]
(図 275) Fe_2O_3 5%、 CuO 1%、 NiO_2 1% (1100℃3時間－1150℃3時間)	[47]
(図 276) Fe_2O_3 5%、 CuO 1%、 NiO_2 1% (1050℃3時間－1150℃3時間)	[47]
(図 277) Fe_2O_3 2%、 MnO 3%、 Co_3O_4 0.1% (1150℃3時間－1100℃3時間)	[48]
(図 278) Fe_2O_3 2%、 MnO 3%、 Co_3O_4 0.1% (1150℃3時間－1050℃3時間)	[48]
(図 279) Fe_2O_3 2%、 MnO 3%、 Co_3O_4 0.1% (1100℃3時間－1150℃3時間)	[48]
(図 280) Fe_2O_3 2%、 MnO 3%、 Co_3O_4 0.1% (1050℃3時間－1150℃3時間)	[48]
(図 281) MnO 0.5%、 CuO 1%、 Co_3O_4 0.3% (1150℃3時間－1100℃3時間)	[48]
(図 282) MnO 0.5%、 CuO 1%、 Co_3O_4 0.3% (1150℃3時間－1050℃3時間)	[48]
(図 283) MnO 0.5%、 CuO 1%、 Co_3O_4 0.3% (1100℃3時間－1150℃3時間)	[49]
(図 284) MnO 0.5%、 CuO 1%、 Co_3O_4 0.3% (1050℃3時間－1150℃3時間)	[49]
(図 285) Fe_2O_3 4%、 CuO 1%、 Co_3O_4 0.6% (1150℃3時間－1100℃3時間)	[49]
(図 286) Fe_2O_3 4%、 CuO 1%、 Co_3O_4 0.6% (1150℃3時間－1050℃3時間)	[49]
(図 287) Fe_2O_3 4%、 CuO 1%、 Co_3O_4 0.6% (1100℃3時間－1150℃3時間)	[49]
(図 288) Fe_2O_3 4%、 CuO 1%、 Co_3O_4 0.6% (1050℃3時間－1150℃3時間)	[49]
(図 289) Fe_2O_3 1%、 MnO 2%、 Co_3O_4 0.3% (1150℃3時間－1100℃3時間)	[50]
(図 290) Fe_2O_3 1%、 MnO 2%、 Co_3O_4 0.3% (1150℃3時間－1050℃3時間)	[50]
(図 291) Fe_2O_3 1%、 MnO 2%、 Co_3O_4 0.3% (1100℃3時間－1150℃3時間)	[50]
(図 292) Fe_2O_3 1%、 MnO 2%、 Co_3O_4 0.3% (1050℃3時間－1150℃3時間)	[50]
(図 293) MnO 2%、 CuO 8% (1150℃3時間－1100℃3時間)	[50]
(図 294) MnO 2%、 CuO 8% (1150℃3時間－1050℃3時間)	[50]
(図 295) MnO 2%、 CuO 8% (1100℃3時間－1150℃3時間)	[51]
(図 296) MnO 2%、 CuO 8% (1050℃3時間－1150℃3時間)	[51]
(図 297) MnO 2%、 CuO 8% (1050℃3時間－1150℃3時間) 拡大	[51]
(図 298) 素焼き器	[51]
(図 299) 釉薬の流動性	[51]
(図 300) Fe_2O_3 2%、 MnO 2%添加 (1100℃5時間) 実施用	[52]
(図 301) Fe_2O_3 2%、 MnO 2%添加 (1100℃5時間) 実施用 拡大	[52]
(図 302) MnO 1%、 NiO_2 2%添加 (1100℃5時間) 実施用	[53]
(図 303) NiO_2 1% (1100℃5時間) 実施用 拡大	[53]

(図 304) Fe_2O_3 5%、 CuO 1%、 NiO_2 1% (1150°C5時間) 実施用	[54]
(図 305) Fe_2O_3 5%、 CuO 1%、 NiO_2 1% (1150°C5時間) 実施用 拡大	[54]
(図 306) MnO 1%、 CuO 1% 添加 (1150°C2時間、1100°C3時間) 実施用	[55]
(図 307) MnO 1%、 CuO 1% 添加 (1150°C2時間、1100°C3時間) 実施用 拡大	[55]
(図 308) Fe_2O_3 2%、 MnO 3%、 CuO 1% (1100°C3時間－1150°C3時間) 実施用	[56]
(図 309) Fe_2O_3 2%、 MnO 3%、 CuO 1% (1100°C3時間－1150°C3時間) 実施用 拡大	[56]
(図 310) Fe_2O_3 2%、 MnO 1%、 CuO 2% (結晶成長温度 微調節) 実施用	[57]
(図 311) Fe_2O_3 2%、 MnO 1%、 CuO 2% (結晶成長温度 微調節) 実施用 拡大	[57]
(図 312) 亜鉛結晶釉 複合施釉① 実施用	[58]
(図 313) 亜鉛結晶釉 複合施釉① 実施用 拡大	[58]
(図 314) 亜鉛結晶釉 複合施釉② 実施用	[59]
(図 315) 亜鉛結晶釉 複合施釉② 実施用 拡大	[59]

序 章

1. 研究目的

陶器を制作するにあたり、釉薬の持つ力は非常に大きい。釉薬の表面から感じられる発色や表情は、釉薬の持つ最大のメリットであり、陶芸産業において非常に重要な役割を果たしている。釉薬の天然原料は、異なる性質と役割を持っているが、其々の原料を混合して使用した時、陶器の機能性を高め、芸術性を与える。過去から現在まで、陶磁器に機能的意味を加える事、そして装飾的意味を加えることにおいて、釉薬の多様性は持続的に要求されてきた。現在では様々な釉薬が開発され、使用されている。釉薬の開発により、陶芸術の発展はより深く広がることになる。

東洋では磁器を製造し始め、釉薬の使用範囲が非常に広がった。数多くの釉薬が開発され、その釉薬を安定させるために陶芸家たちの研究は継続的に続いた。しかし、多くの釉薬の中で結晶釉の研究は東洋ではなく西洋を中心に行われていた。東洋の代表的な結晶釉だといえる油滴天目や禾目天目などは、西洋で発達した結晶釉とは根本的な違いが存在する。それは結晶核を生み出す結晶生成剤が添加されているかいないかの違いである。天目の油滴結晶は、釉薬の材料のカリ系長石の多量添加と釉薬自体の粘りによるガスの発生から結晶が析出される。発色材である酸化鉄の添加は、天目特有の黒色のための発色剤の役割であり、天目の結晶を析出させるために結晶核生成剤として添加させたものではない。西洋で発達した亜鉛結晶釉は、結晶核を生成させるための核生成剤として釉薬の中に亜鉛を添加して結晶を析出させる。東洋で発達した結晶釉の一種である天目と、西洋で発達した結晶釉である亜鉛結晶釉は、釉薬原料が結晶核生成のための物であるかどうかが決定的な違いである。また、油滴天目と亜鉛結晶釉は調合の方法も異なる。油滴天目は粘性が非常に優れており、釉薬の流動性も非常に安定している。亜鉛結晶釉は粘性が少なく、焼成時の流動性が大きい。この様に油滴天目と亜鉛結晶釉は大きな違いがある。

現代に入り、西洋の美学が詰まった亜鉛結晶釉は、東洋の釉薬を研究する陶芸家の間で注目を浴びている。現在までの伝統的な着色剤から、新しい色の釉薬を作ることに限界があることは事実である。素地の形や装飾を用いた表現方法から一歩進み、釉薬で陶器を美しく表現することは、現在までに多くの陶芸家や釉薬研究者を通じて今なお発展している。結晶釉は、一つの釉薬調合から非常に多様な感覚の陶器を誕生させることができる。窯の中で火を調節することにより結晶状態を調節する結晶釉は、全く同じ釉薬表情を完成させることはできない。偶然による芸術を陶という素材を通して現実化させる良い表現方法だと考える。

伝統的な釉薬が現代に至っても多く使用されている今日だが、伝統的な釉をベースとした研究から、結晶や乳白釉、発色酸化剤添加などで、様々な色彩と釉薬面を作り出す研究に進む必要がある。現在は、昔から使用されてきた酸化鉄をはじめ、酸化銅、酸化マンガ、ニッケル、コバルトなどの原料が広く使われている。釉薬の材料としても亜鉛華、チタンなどによる結晶生成に限らず、新しい釉面を作り出す原料が広く用いられている。これらの材料をより多様な方法で活用することによって、陶芸産業をさらに発展させることが可能だと考える。本研究は、亜鉛結晶釉薬という表現方法を通じて、陶芸産業の多様化に貢献することが研究の終着点であり、研究目的である。

そのため、本研究では、一つの亜鉛結晶釉の組合から、発色剤添加による発色、焼成条件と冷却方法による結晶析出模様の変化をテストピースを通して実験する。そして実験の結果を基に亜鉛結晶釉を実際の器に施釉し、テストピースに限らず、実施用することから、結晶の表現が可能な幅を観察する。

本研究では、発色剤添加や焼成方法の違いなどで、同じ亜鉛結晶釉でも異なる表情を得られることを証明する。多様な模様や表情を具現化させることにより、器の芸術的表現において釉薬の幅を広げ、陶芸術に貢献したいと考える。

2. 研究の理論的背景

釉薬の定義

釉薬とは、素地の表面に薄いガラス質を形成する膜である。釉薬は陶磁器に機能性と芸術性を同時に与える。ガラス質を形成することで一番重要な材料は珪砂と呼ばれるガラス粉である。ガラス粉を使うということはガラスと同じであるが、ガラスと釉薬はまた違う性質を持っている。釉薬は溶けない原料、すなわち珪酸質と他の原料を混ぜ合わせて素地の表面に塗る。ガラスはガラス粉を溶かしてから形を作るが、釉薬は陶磁器の一定部分に混ぜ合わせた原料を塗ってから焼成させてガラス質を作る。基本となる原料は似ているが、一つの原料をガラスとする工程で違いが生じる。

釉薬の材料

釉薬を調合するには、材料となる様々な原料が釉薬の中でどのような役割をするのかを研究する必要がある。釉薬になる原料のほぼすべては我々が生活している地球表面から‘酸化物’という形で存在する。原料は一つの酸化物で出来ておらず、複数の酸化物が混合している状態で発見される。

釉薬に使用する酸化物は PbO , Na_2O , K_2O , CaO , MgO , BaO , Li_2O , SrO , Sb_2O_3 , B_2O_3 , ZnO , Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 などがある¹。この物質は釉薬を形成する原料であり、釉薬の中で色を発することはない。この材料は釉薬の骨組であり、物質の融点を下げたり、気泡生成や釉面割れを抑制するなど、様々な役割を持っている。

現在、釉薬の製造に使用している材料は、一つ以上の酸化物からできている材料で、天然原料である。釉薬を調合する際に留意すべき点は、天然原料はいつも同じ量の酸化物が含まれているとは限らないことである。地球上の天然原料は、地球の物質が変化するにつれて、同じ場所で出土された材料であっても、その中の酸化物の量は時間が経つにつれて変化していく。陶器を制作する時に使用された原料の成分がある程度変化しても、肉眼

では簡単に区別することは難しい。原料の使用期間が長くなると、以前調合した釉薬と異なる釉薬結果となることがある。

釉薬を製造する際に使用する天然原料は、長石、石灰石、珪石、マグネサイト、リチウム、亜鉛華、土灰、藁灰、タルク、カオリン、アルミナ、陶石、炭酸バリウムなどがある。この材料は、単独で使用した時に融点が非常に高いため、釉薬内の役割に分けて使用する必要がある²。

発色酸化物

基礎となる材料と共に、釉薬の色を出す酸化物も存在する。

釉薬発色剤の殆んどは天然元素で構成された酸化物である。発色に応じて区分すると、釉薬に使用した際、条件のない環境で発色する酸化物としては銅、鉄、クロム、マンガン、コバルト、ニッケル、ウランなどがあり、一定の条件が重なって発色する酸化物はチタン、バナジウム、アンチモン、モリブデン、タングステンなどがある。これらの発色酸化物の種類は非常に多いが、実際の釉薬で使用する物は限られている。代表的なものに鉄（Fe）、銅（Cu）、コバルト（Co）、マンガン（Mn）、ニッケル（Ni）、チタン（Ti）などがある。この酸化物は、添加される量に応じて釉薬の色になり、それ自体で釉薬内で結晶にもなり、釉薬の美しさを加えてくれる。釉薬発色の多様性は、発色剤の粒子の大きさ、形状、発色に関連する補助剤添加、複数発色酸化物の混合、施釉の厚さ、焼成雰囲気などによって変わってくる。³

ガラス質の釉薬の中で色を得ることができる発色機構は大きく三つに分けることができる。

第一はイオン発色機構である。釉薬に金属イオンを添加すると、イオンがガラス質に溶け込み、発色する。例えば、塩を水に入れると塩が水に溶けてなくなったように見えるが、塩水を蒸発させると、塩の結晶が残る事を観察することができる。このように金属

イオンもガラス質の中で完全に溶解しているように見えるが、ガラス質の中に存在しているイオンが発色するのである。代表的な釉薬としては青磁釉があり、青磁釉は釉薬の中に添加された約2%の酸化鉄が釉薬の中で完全に溶解している状態を観察することができる。イオン発色機構は焼成雰囲気が発色に大きな影響を与える。

第二は、コロイド (colloid) 発色機構である。コロイドは膠質とも呼ばれる、分子やイオンよりは大きく、直径が1nm~100nm程度の微粒子がイオン発色より完全に溶解した状態ではなく、釉薬のガラス質の中で分散され、埃のように浮遊している状態をいう。このコロイド粒子が光の屈折、分散、散乱などの現象によって発色効果を示すことになる。コロイド発色になりやすい金属の種類としては、Cu、Au、Ag、Fe、Se、Cdなどがある。代表的な釉薬では辰砂釉がある。

第三は、微粒子による発色機構である。焼成時、微粒子がガラス質の中で結晶の形で析出して発色する。代表的な釉薬では結晶釉、マット釉などがある。ガラス質に析出した微粒子の結晶によって発色が決められるため、結晶生成のための釉薬調合がとても重要である。⁴

釉薬に使用される一般的な発色酸化物は、多くの変数によって色が変化するが、ある程度の発色は予想することができる。しかし、これは一つの酸化物が必ずしも同じ色を出すとは言えない。一般的に、酸化物から導出される特定の色は、釉薬に添加された原料との関係、焼成雰囲気、又は温度によって変化する。あるものは焼成時の冷却過程によって導出される場合もある。なので酸化物に対する一般的な発色データは、ある程度発色の可能性を考えて釉薬を調合するためのものだと考えると良い。酸化物を使用する前に、その性質と酸化物が添加されることになる釉薬の性質を知ると、更に計画的な釉薬製造ができる。

本研究で使用するようになる発色酸化物は、酸化マンガン (MnO_2)、酸化コバルト (Co_3O_4)、酸化ニッケル (NiO_2)、酸化銅 (CuO)、酸化鉄 (Fe_2O_3) で5種類である。

亜鉛結晶釉

結晶釉は透明釉の表面に肉眼、或は顕微鏡で確認できる結晶が生成されているものである。一般的に透明釉は均質な単一相となっている。それに対して結晶釉は二つ、或はそれ以上の相で構成されている釉薬であり、不均質な釉薬のひとつである。不均質な釉薬とは透明なガラス質に結晶体が分散、或は集合して現れていることを言う。結晶釉は乳濁釉（Opaque glaze）とは釉薬原料の役割やガラス質内で発生する変化において全く異なっている。

亜鉛結晶釉薬は、亜鉛のモル比が酸化カルシウム（CaO）を追い越し、亜鉛（ZnO）が0.5以上、過剰添加された時に作られる。釉薬の表面に扇形や円形の結晶が析出される釉薬であり、代表的な肉眼的粗結晶組織（Macrocrystalline glaze）である⁵。亜鉛結晶は、磁器の全面または一部に結晶を析出させることができ、発色酸化物や顔料を使用し、結晶を発色させることも可能である。亜鉛結晶釉薬は素地の選択、釉薬の調合における亜鉛添加量、試釉の厚さ、焼成雰囲気、冷却方法など、すべての工程から大きな影響を受け、非常に精密に扱う必要がある。

酸化亜鉛に関して

酸化亜鉛は白色の粉末であり、金属亜鉛の蒸気に酸素または空気を作用させて合成する。これは粒子が非常に細かく、亜鉛華（Zinc flower）とも呼ばれる。酸化亜鉛を加熱すると熔融することなく1800℃で気体に昇華することが、他の媒熔材料との違いである。酸化亜鉛は、空気中の水分を吸収し、固まる性質がある。これを防止するために、1000℃前後で煅焼（淡黄色）させて使用する。これを⁶煅焼亜鉛という。釉薬配合時に煅焼亜鉛を使用すると、釉薬の収縮を減少させ、釉薬の剥がれや発泡傾向を防止することができる。

また、結晶釉の結晶核生成剤として使用する場合には、亜鉛華より粒子が大きく比重が重いので、核生成剤として良い。

酸化亜鉛は、数多くの釉薬に使用される。その役割は釉薬の調合によって異なるが、一般的には媒熔材料、釉薬の膨張を抑え、亀裂を防止し、光沢と白色度を向上させる役割をする。また、釉薬の熟成温度の範囲を広げ、発色の鮮明度を向上させる。

酸化亜鉛は、亜鉛結晶釉の主原料である。釉薬の出発原料である長石に対して、酸化亜鉛を15～30%程度添加すると、優れた結晶釉を作ることができる。

亜鉛結晶釉薬の結晶生成に関して

結晶釉に結晶核が生成され、成長するためには次のような条件が必要である⁷。

- a. 溶剤となる釉の化学的性質と物理的性質
- b. 熔融液に飽和し、条件によって冷却中に結晶化合物として現れるような珪酸塩を生成するために用いられる基本的な酸化物
- c. 温度と焼成時間
- d. 冷却の温度と時間との関係

焼成において、釉薬が熔融する時に結晶核が生成され、冷却過程に入る段階で、結晶核が成長するという、結晶釉薬特有の焼成メカニズムが存在する。焼成法は、釉薬の調合によって異なるが、そのほとんどは800℃～1250℃の間で結晶核が生成され、1050℃～1150℃の間で結晶核が成長する。結晶核が成長する1050℃～1150℃、又、温度を維持させる時間によって、結晶の大きさを調節することが可能となる⁸。

釉薬を製造する際に、酸化亜鉛以外の原料を先にボールミルに入れ、混ぜ合わせた後、酸化亜鉛を入れ、軽く混ぜ合わせるように調合すると、結晶核の生成に有効である。最初から酸化亜鉛を混ぜてしまうと、亜鉛結晶に成らず、透明釉またはマット釉に成りやすい。

3. 研究方法

本研究で使用する釉薬原料は、福島長石、石灰石、亜鉛華（煅焼亜鉛）、珪石である。長石は福島長石のような日本国内で釉薬の材料として一般的に使用されている原料を用いて、結晶釉の実験を行った。亜鉛は煅焼亜鉛と呼ばれるものを使用する。釉薬配合時に煅焼亜鉛を使用すると、釉薬の収縮を減少させ、釉薬の剥がれや発泡傾向を防止することが可能となる。また、結晶釉を結晶核生成剤として使用する場合、亜鉛華より粒子が大きく比重が重いので、核生成剤として良い。本研究における煅焼亜鉛は亜鉛華（生亜鉛）を1200℃程度で酸化焼成し（図1）、500gずつ分けて播潰機に入れ、1時間回した物を使用した。実験素地を用いたテストピースは半磁器土であり、6x6x0.8cmの正方形を寝かせたものである。釉薬の混合量は水を添加してない状態で、総混合量が100gずつになるように測り（図3）、播潰機（図2）に入れて30分間混合する。この混合した釉薬と水を75ml乳鉢に入れ（図4）、よく混ぜたものをテストピースに施釉した。（図5）

亜鉛結晶釉から結晶を析出、成長させるために最も重要な条件は、焼成環境である。亜鉛結晶釉は焼成時、結晶核が生成され、結晶核が一定の焼成条件と冷却条件によって析出、成長することになる。同じ条件の温度と上昇時間、下降時間であっても、窯の大きさ、熱伝達の方法、器の形、窯詰め量や詰め方などによって、少しずつ結果が異なることがある。

亜鉛結晶釉の基本的な焼成方法は冷却酸化焼成である。釉薬の融点となる焼成最高温度まで温度を上げ、結晶が成長する一定温度で3～5時間維持させる方法である。本研究では、均一なテストピースの焼成結果を得るため、温度と焼成時間が自動調節できる5kwの電気窯（図6）を使用した。

第一部 亜鉛結晶釉を用いた結晶表現の多様化

第一章 亜鉛結晶釉の発色剤添加による結晶析出の変化

1. 本研究の亜鉛結晶釉の基本調合

本研究に用いる亜鉛結晶釉薬の基本調合を設定する実験を行う。亜鉛結晶釉薬の調合データが結晶の成長温度である1100℃で焼成した際、安定的に結晶が生成され、成長するかを観察する。

本研究の亜鉛結晶釉は主に以下のゼーゲル式を使用した。

0.170	KNaO	}	0.184 Al₂O₃ · 1.600 SiO₂
0.230	CaO		
0.600	ZnO		

このゼーゲル式を調合率として表すと、福島長石53.0%、石灰石11.5%、亜鉛24.2%、珪石11.3%(表1)である。⁹

1. 1 焼成条件

第1章の焼成方法は亜鉛結晶釉が各焼成条件から結晶の析出反応を観察するために様々な焼成方法を選んだ。

基本的な亜鉛結晶釉を発色酸化物を混合していない状態で最も代表的な焼成雰囲気で焼成し、結晶生成や釉薬の全体的な雰囲気を観察した。最初に亜鉛結晶釉薬を酸化で最高上昇温度である1250℃から30分間維持し、結晶成長温度である1100℃まで60分間冷却、以降1100℃で5時間を維持させた後、自然冷却した。(焼成グラフ1)

また還元焼成(焼成グラフ2)、酸化焼成(焼成グラフ3)を単独で行った実験は最

高上昇温度である1250℃で30分間維持した後、自然冷却させた。結晶成長温度である1100℃から維持をする方法を行っていない。

1. 2 結果

(図7)のように、本研究で基本亜鉛結晶釉薬として提示した調合は、結晶生成と成長において安定的な釉薬である。釉薬はガラス質により形成され、透明度が高く、結晶生成面とガラス質面の境界がはっきりとしている。結晶は、扇形から段々大きくなり、結果的に円形になる。光に照らしてみると、成長しながら析出された結晶の筋を観察することができる。

(図8)は、基本亜鉛結晶釉を1250℃で還元焼成したテストピースである。最高上昇温度である1250℃で30分間維持した後、自然冷却させた。結晶成長温度である1100℃から維持をする方法を行っていない。結果、全体的に結晶は生成されず、きれいな白釉となった。割れた断面を観察した際も結晶核が観察できず、添加した亜鉛が釉薬の中で材料を溶かす役割をしたと考えられる。還元焼成した亜鉛結晶釉のテストピースを結晶焼成(冷却酸化焼成)で再び焼成した際も、結晶は生成されず、還元焼成したテストピースと同じ結果を示した。

(図9)は基本亜鉛結晶釉を1250℃で酸化焼成したテストピースである。最高上昇温度である1250℃で30分間維持し、自然冷却を行った。テストピースを観察した結果、全体的にガラス質が形成され、小さな結晶が釉薬の表面に現れた。結晶核が多く生成され、結晶生成面がまるで乳濁釉のように見える。触れてみた際、少し凹凸が感じられた。

(図10)と(図11)は、結晶成長温度を1150℃と1100℃に設定し、同じ時間維持させたテストピースである。これは結晶成長温度の設定が結晶の形と成長にどのような影響を与えるかを観察するための実験である。基本亜鉛結晶釉薬を約3mmで施釉したテストピースを最高昇温度1250℃で30分維持し、以降1150℃、1100℃でそれぞれ5時間維持させた。

(図10) は、1150℃で5時間維持させたテストピースである。結晶が生成されたことは観察できたが、(図7) のような扇形の結晶ではなかった。釉面が針状の結晶でびっしりとなっており、乳濁部分もあった。(図11) は、1100℃で5時間維持させたテストピースである。全体的に扇形の結晶で埋め尽くされた状態であった。焼成時に、釉薬の中に残された亜鉛結晶核が結晶成長温度で大きく成長する。(図10) と(図11) のテストピースは、結晶核が多く残され、成長したと考えられる。(図7) と(図11) を比較してみると、結晶が成長する前の出発部分の形と結晶成長の筋は似ているが、結晶核の量は比較的(図7) のテストピースの方が少ないことが分かる。多くの結晶核が存在していた(図11) は、結晶核が成長しながら隣で成長していた結晶とぶつかり合って、一つの結晶として大きく成長しなかった。しかし(図10) の結晶と比較すると結晶が大きく華やかさが感じられる。

(図12) は亜鉛結晶釉を(図9) のように1250℃で酸化焼成したテストピースを冷却酸化で再び焼成したテストピースである。全体的に結晶が成長した。(図9) のように1250℃で生成された結晶核は再び最高温度である1250℃を経ても、その結晶核は残り、1100℃の結晶成長温度で結晶が成長する。結晶釉薬を焼成する際、結晶成長が不十分であったり、結晶自体が多すぎる場合は、再度冷却酸化焼成を行うと、美しい結晶を得ることができると期待される。

これまでの結果の基、本論文の研究に用いる亜鉛結晶釉の基本調合データは1250℃で完全に熔融され、結晶成長温度では結晶が安定的に析出される。一定条件の施釉方法や焼成方法で結晶が析出されたことから、本研究の実験に用いることに非常に適していると判断した。

2. 発色剤の単独添加による結晶析出模様

2. 1 実験方法

第1章の実験結果を基にし、亜鉛結晶釉薬の基本調合に発色剤を添加する実験を行う。

第2章の実験は釉薬を製造する際に用いる基本的な発色剤の中で酸化マンガン（ MnO ）、酸化鉄（ Fe_2O_3 ）、酸化銅（ CuO ）、酸化ニッケル（ NiO_2 ）の4つを使用した。発色剤の量によって釉薬自体の発色や結晶析出の発色変化を観察する。各酸化物の量は0.5%、1%、2%、3%、4%、5%、6%、7%、8%、9%、10%、15%である。

釉薬の混合量は水を添加していない状態で、総混合量が100gずつになるように測り、発色剤を各分量に合わせて混合した。混合したものは播潰機（図2）に入れて30分間混合回し、この混合した釉薬と水を75ml乳鉢に入れ、よく混ぜたものをテストピースに施釉した。

2. 2 焼成条件

結晶の色と形は、焼成方法によって大きな差が生じる。その差を観察するため、結晶成長温度である1050℃～1150℃の間で、それぞれ試験を行った。本研究で結晶析出状態と成長状態を観察するために設定した温度は、1150℃（焼成グラフ4）、1100℃（焼成グラフ5）、1050℃（焼成グラフ6）であり、維持時間は各5時間である。最高上昇温度は1250℃、1250℃での維持時間は30分、1250℃で各結晶成長温度を冷却させる時間は、60分である。

2. 3 結果

2. 3.1 MnO

酸化マンガンは添加量に応じて発色の範囲が広い発色剤である。発色効果に限らず、マンガン単体でも結晶釉薬を製造することができ、用いる方法により、釉薬の活用範囲を広げることが可能である。

酸化マンガンを0.5%添加したテストピースの結果は、（図13）～（図15）の通りである。

発色剤を添加していない結果と発色が差ほど変わらない。全て結晶は析出したが、結晶核が密集し表面がマット質になっている。結晶の成長を観察できるのは1100℃の結晶（図14）である。

酸化マンガンを1%添加したテストピースの結果は、（図16）～（図18）の通りである。全体的な発色は鮮やかな黄色から淡いピンクを帯び、結晶が密集している。1150℃での結晶（図16）は針状結晶が析出されたが、無数に析出されたため、結晶の明確な形は観察できない。1100℃での結晶（図17）は、結晶核の部分は白、成長した部分はマンガンの影響を受けて淡いピンク色で発色する。（図17）－aのように結晶部分が針状形態で析出され、扇形に成長しようとした形態を観察できる。1150℃（図16）、1050℃（図18）の結果と比較すると、結晶部とガラス質部分の透明度が高く、素地部分が透けて見える。1050℃での結晶は、無数の結晶が析出したため、釉薬表面が溶融されていないように見えるが、釉薬は全体的によく溶融されている。

酸化マンガンを2%添加したテストピースの結果は、（図19）～（図21）の通りである。結晶部分は明るい茶色、結晶が析出していない部分は明るい紫色に発色する。全体的に結晶が無数に析出された。1150℃のテストピースを観察すると、無数に析出した針状結晶によりテストピースの表面に光沢がない。1100℃でのテストピースは、（図20）－aのように針状結晶から扇形結晶に成長している。結晶部分は淡褐色を帯び、結晶が析出していない部分は紫に発色する。成長した結晶は、まるでシルクのような光沢を持っている。1050℃でのテストピースは小さく無数に析出した結晶により、表面の光沢は観察できず、一つの結晶形が明確ではない。

酸化マンガンを3%添加したテストピースの結果は、（図22）～（図24）の通りである。酸化マンガンを2%添加したテストピースと比較すると、結晶部と背景部の発色が少し濃くなったことを観察できる。1150℃でのテストピースは（図22）－aのように針状形

の結晶が析出された。結晶部分は淡褐色、背景部分は紫色に発色した。結晶析出部分からの立体感を感じられず、ガラス質の表面に浮いているようである。1100℃でのテストピースは、結晶成長温度1100℃で見られる扇形の美しい結晶が結晶核から四方に広がっている。結晶部分は淡褐色～濃い茶色に発色する。光に照らしてみると、シルクのような優れた光沢を観察でき、この光沢により結晶に立体感を感じられる。1050℃でのテストピースは、(図24) -aのようカスミソウ結晶が生成された。このカスミソウのような結晶が釉薬の表面に無数に析出されており、結晶が密集している部分は雲形のような模様をみせる。結晶は明るい茶色～黄色で、結晶の立体感を感じられない。

酸化マンガンを4%添加したテストピースの結果は、(図25)～(図27)の通りである。3%までの結果と比較してみると、テストピースの発色がより鮮明である。結晶は茶色に発色し、背景部分は紫と白が混ざり、濁りが生じた。1150℃でのテストピース(図25)は、結晶が針状形で析出されて大きく成長し、結晶が釉薬の表面上に浮いているようで、結晶成長部分からの立体感を感じられない。1100℃でのテストピース(図26)は結晶が扇形で大きく成長し、結晶個々の成長が優れる。結晶部分の濃い茶色と薄い茶色の光沢により、立体感を感じられる。結晶が成長していない背景部分は濁りが生じた。1050℃でのテストピース(図27)は、結晶核の部分はカスミソウ形、結晶成長部では雲形の結晶が無数に析出された。

酸化マンガンを5%添加したテストピースの結果は、(図28)～(図30)の通りである。全体的な発色は4%添加より少し暗く、背景が白く濁ってきた。結晶部分は各温度別成長のパターンで析出した。1150℃で5時維持したテストピース(図28)は針状結晶が成長した。(図25)と比較すると針状結晶が細く、析出した結晶の数が少ない。1100℃で5時間維持したテストピース(図29)を観察すると、結晶が円形結晶に成長したことが分かる。(図29) -aのように結晶核から成長した結晶の筋が生じた。1050℃で5時間維持したテストピース(図30)は結晶が円形に成長した。(図27)のカスミソウ形成長と比較す

ると、結晶の模様が少し変化した。結晶の筋が細かく光沢もあるため、ダイヤモンドのような形態を見せる。

酸化マンガンを6%添加したテストピースの結果は、(図31)～(図33)の通りである。全体的に暗い紫～茶色に発色し、結晶の成長模様が非常に鮮明である。1150℃でのテストピース(図31)は針状結晶が析出された。1100℃でのテストピース(図32)は、結晶核から扇形で成長した結晶を観察できるが、5%までのテストピースから見られる円形結晶までには成長していない。結晶部分はシルクのような優れた光沢を帯び、光に応じて暗褐色から明るい茶色に発色する。1050℃でのテストピース(図33)は、雲形結晶が成長した。雲形結晶の中には結晶が成長する過程で生じる結晶の筋があり、1100℃の立体的な結晶成長ではないが、結晶筋の光沢が優れており、ダイヤモンド形の成長模様である。

酸化マンガンを7%～10%添加したテストピースは各温度帯での結果がほぼ同一である。7%添加したテストピースの結果は(図34)～(図36)、8%を添加した結果は(図37)～(図39)、9%を添加した結果は(図40)～(図42)、10%を添加した結果は(図43)～(図45)の通りである。

全体的な発色は、6%の発色と大きく変わらないが、発色剤の添加量により発色が濃くなった。また、結晶の析出した数が減ったことを観察できる。1150℃のテストピースでは結晶が析出していない。1100℃でのテストピースは、結晶が析出されたが扇形の結晶成長形状は確認できない。1050℃でのテストピースは、(図30)で観察することができたダイヤモンド形の結晶に限られた数ではあるが析出された。結晶核の部分を明確に確認することはできないが、結晶が成長し、作られた結晶の結果は観察することができる。

酸化マンガンを15%添加したテストピースの結果は、(図46)～(図48)の通りである。全体的に結晶は析出してない。釉薬は良く溶解され、ガラス質で光沢がある。結晶が析出したテストピースは(図48)であり、(図48)の矢印にあるように扇形の小さい結晶

が数個析出された。

2. 3.2 Fe_2O_3

酸化鉄 (Fe_2O_3)は、釉薬製造の際、添加量と焼成方法に応じて発色効果が非常に高い発色酸化物の一つである。

酸化鉄を0.5%添加したテストピースの結果は、(図49)～(図51)の通りである。全体的に淡い黄色を帯び、結晶析出部分は白色である。三つのテストすべて結晶核が無数に形成され、結晶が大きく成長してはいない。1150°Cでの結晶は透明度が高く、小さな針状結晶の形を示す。1100°Cと1150°Cでは大きな結晶の形を把握しにくい。

酸化鉄を1%添加したテストピースの結果は、(図52)～(図54)の通りである。全体的に淡い黄色を帯び、結晶が析出されていない部分は透明で、薄く濁った部分もある。1150°Cでのテストピース(図52)－aの部分を見ると、結晶核を中心に針状結晶が析出している。1100°Cのテストピース(図53)は、結晶が無数に析出することにより、1150°C(図52)の結晶形とは異なる扇形結晶が析出された。(図53)－aを見ると、結晶が成長しながら作られた結晶の筋を観察することができる。この結晶の筋が光に反射され、立体感がある。1050°Cのテストピース(図54)は、1100°Cのテストピース(図53)と比較してみると、結晶が成長した形は似ているが、析出された結晶部分の立体感は感じられない。(図54)－aのように結晶核は鮮明で、肉眼で観察できる。そして一つの結晶が集まり、(図54)－bのようなカスミソウが集まっているような結晶の形を見せる。

酸化鉄を2%添加したテストピースの結果は、(図55)～(図57)の通りである。全体的に明るい黄色に発色する。1150°Cのテストピース(図55)は、結晶が針形で析出され、明るい金色である。1100°Cのテストピース(図56)は、結晶の筋が形成され、成長し、光に応じて立体的に輝く。1050°Cのテストピース(図57)は、結晶核が無数に生成され、成長する際に、カスミソウ形結晶が雲形に成長した。

酸化鉄を3%添加したテストピースの結果は、(図58)～(図60)の通りである。全体的に黄色から茶色に変化している。1150℃のテストピース(図58)は、結晶が析出されなかったが、施釉の際に結晶核を生成する亜鉛の成分が十分に付着してなかったと考えられる。(図58)－aを見ると、結晶の析出していない部分に濁りが発生した。1100℃のテストピース(図59)は、結晶が大きく成長しており、テストピースの全体を覆っている。

(図59)－aを見ると、結晶の筋が鮮明に現れている。1050℃のテストピース(図60)は、結晶核が多く生成され、(図60)－aに示すように、まるで雲のような形で析出されている。結晶の色は、1100℃より比較的暗い色である。

酸化鉄を4%添加したテストピースの結果は、(図61)～(図63)の通りである。全体的に結晶の析出していない部分で茶色と青色が混ざったような色をしている。1150℃のテストピース(図61)は、結晶が濃い黄色を帯び、結晶核から針状結晶が大きく成長した。1100℃のテストピース(図62)の結晶は、濃い茶色を帯び、(図62)－aのように扇形の結晶が析出して成長した。扇形が成長し、横で成長していた結晶とぶつかることで結晶の筋が生成している。1050℃のテストピース(図63)は、結晶が大きく成長し、1100℃で見える結晶の筋は観察することができない。結晶析出形態は、1050℃で焼成した他のテストピースの結晶と同様に雲形であり、赤色が混ざった茶色に発色する。

酸化鉄を5%添加したテストピースの結果は、(図64)～(図66)の通りである。1150℃のテストピース(図64)は、(図64)－aのように結晶が析出していない部分に青色が強くなっていることがわかる。結晶は(図64)－bのように針状結晶の形で析出された。結晶が釉薬断面の上に浮いているような姿を見せ、平面的に感じられる。1100℃のテストピース(図65)は、個々の結晶が大きく成長し、テストピース面をほぼ覆っている。(図65)－aを見ると、結晶が互いに重なっている様子が見え、それにより結晶状態が立体的に見える。1050℃のテストピース(図66)は結晶が大きく成長し、テストピース面をほぼ覆っているが、1100℃の結晶のように結晶の筋が見えておらず、すべての結晶

が一つの結晶のようである。（図66）－aを見ると、結晶一つの大きさや形を把握することができ、1150℃から見える結晶析出形状に似ていることが分かる。

酸化鉄を6%添加したテストピースの結果は、（図67）～（図69）の通りである。1150℃テストピース（図67）は、結晶を生成する亜鉛の成分が十分に供給されず、結晶が析出していない。1100℃のテストピース（図68）は、結晶が析出され、結晶核に沿って成長した。結晶の形状は、他の1100℃のテストの結果と似ているが、（図68）－aのように結晶核の部分は、濃い茶色、結晶の端は、明るい茶色に発色する。結晶をよく観察してみると、結晶の筋が微細に析出されている。結晶が析出されていない部分は、藍色と紫が混ざった様な発色を示す。1050℃のテストピース（図69）は、テストピースの表面に結晶がぎっしりと析出している。赤色が混ざったオレンジ色に発色し、結晶の筋は見当たらない。

酸化鉄を7%添加したテストピースの結果は、（図70）～（図72）の通りである。1150℃テストピース（図70）は、結晶が生成されなかった。1100℃のテストピース（図71）は、結晶が生成されたが大きく成長していない。結晶が生成されていない部分は、茶色と青色が混ざっている。1050℃のテストピース（図72）は、（図69）に示したような、結晶がテストピースの全面に析出しており、ほぼ似たような発色であった。

酸化鉄を8%添加したテストピースの結果は、（図73）～（図75）の通りである。1150℃テストピース（図73）は、亜鉛結晶特有の結晶が生成されておらず、結晶が析出していない部分が濃い藍色、明るい黄色の部分が結晶化されたようである。1100℃のテストピース（図74）は、結晶が析出した。（図74）－aを見ると、結晶の析出した形が1050℃の結晶と同様の雲形結晶である。1050℃のテストピース（図75）は、結晶が析出しておらず、背景部分の濁りが濃いオレンジ色に発色する。

酸化鉄を9%添加したテストピースの結果は、（図76）～（図78）の通りである。全体的に結晶が析出していない部分は、藍色と紫が混ざった発色を示す。1150℃のテスト

ピース（図76）を見ると、（図76）－aの部分で結晶が析出したことを見る事ができる。結晶部分が明るい金色を帯びており、金結晶釉から見える結晶形態を観察できる。1100℃のテストピース（図77）と1050℃のテストピース（図78）は、結晶の析出形態が雲形で析出され、成長した形が非常に似ている。（図77）－aを見ると、結晶の筋を観察できるが1050℃のテストピース（図78）では観察できない。1050℃のテストピース（図78）－aの部分を見ると、結晶と背景が同化されていく様な様子が見られる。

酸化鉄を10%添加したテストピースの結果は、（図79）～（図81）の通りである。1150℃テストピース（図79）で表れる結晶は（図76）の結晶に非常に似ており、金結晶のような析出形態を示す。濃い茶色と明るい金茶色の混合されたような発色を見せ、結晶が析出していない部分は、黒に近い紺色であった。1100℃のテストピース（図80）は、背景部分が藍色に発色し、結晶部分は濃い茶色の部分と明るい茶色の部分を観察することができる。（図80）－aは、結晶の内側部分は濃い茶色、結晶の成長端は明るい茶色であり、成長先端部分が縞模様のように形成されている。1050℃のテストピース（図81）は、（図78）の結晶形と似ている。

酸化鉄を15%添加したテストピースの結果は、（図82）～（図84）の通りである。全体的に赤の発色を見せ、結晶部は藍色を帯びている。（図82）－aを見ると、8%、9%で観察できた金結晶と同様の結晶析出模様が見えるが、結晶の色は濃い藍色と緑が混ざった発色状態を示す。

2. 3.3 CuO

酸化銅は、酸化鉄と同様に発色の効果が非常に優れた発色剤の一つである。酸化焼成時は緑～青に発色し、還元焼成時は赤色に発色する。

酸化銅を0.5%添加したテストピースの結果は、（図85）～（図87）の通りである。全体的に淡い青緑色を帯び、各結晶成長温度での結晶発色が異なっている。1150℃のテ

トピース（図85）は、（図85）－aのように針状結晶で成長し、結晶が半透明である。

1100℃のテストピース（図86）は、結晶が多く析出し、テストピースの全面を覆っている。全体的に明るい緑色に発色し、光に応じて白、濃い青緑色に変わる。（図86）－aのように結晶核を正確に区別することはできず、カスミソウのような形の結晶模様を示す。

（図86）－bを見ると、結晶が成長し作られた結晶の筋が雷のような形に見える。1050℃のテストピース（図87）は、結晶核が数多く生成され、全体を覆っており、結晶一つの形を区別しにくい。

酸化銅を1%添加したテストピースの結果は、（図88）～（図90）の通りである。結晶が析出されていない部分は明るい青だが、濁りが生じ始めた。1150℃のテストピース（図88）は、（図88）－aのように針状結晶であり、結晶が大きく成長した。（図88）－bのように針状結晶が集まり、扇形に見える結晶も析出された。1100℃のテストピース（図89）は、結晶が多く析出しており、結晶析出部分が重なって生じる結晶の筋も観察できる。（図89）－aのように結晶が重なって析出された部分は、奥行きが感じられる。結晶の色は白から濃い緑色まで、光に応じてグラデーションが生成されたように見える。

1050℃のテストピース（図90）は、多くの結晶核から成長した結晶がぎっしりと析出されており、結晶が集まっている部分は緑、結晶析出が少ない部分は明るい黄緑色を示す。

酸化銅を2%添加したテストピースの結果は、（図91）～（図93）の通りである。背景部分と結晶析出部分が同様の濃い緑色に発色する。1150℃のテストピース（図91）は、結晶核の部分から四方に長く伸びている針状結晶が析出した。結晶部分が緑色に発色しており、光に応じて明るい緑色に見える部分もある。1100℃のテストピース（図92）は、結晶核から成長した結晶の部分が重なり、（図92）－aのように結晶の筋を観察できる。濃い緑色から明るい緑色に発色する結晶は、光に応じ、その発色が変化する。1050℃のテストピース（図93）は、テストピースの前面に結晶がぎっしりと析出している。結晶は、緑色に発色しており、（図93）－aのようにカスミソウのような結晶が析出した。こ

の結晶が重なり（図93）－bのように結晶の茎が析出されている部分も観察することができる。

酸化銅を3%添加したテストピースの結果は、（図94）～（図96）の通りである。結晶が析出されている部分は緑系、結晶が析出していない背景部分は青の混ざった濁った緑色である。1150℃のテストピース（図94）を見ると、結晶核が限定されて針状に大きく成長した結晶を観察することができる。（図94）－aの部分は、結晶成長の先端部分が背景部分の濁った部分に吸収されるような姿を見せる。1100℃のテストピース（図95）は結晶核が集まっている部分、そして限定された結晶核の成長過程を一つのテストピースで観察することができる。（図95）－aは結晶核であり、小さな針状結晶が形成されている。（図95）－bは、複数の結晶核が成長し生じた結晶の筋が観察できる。（図95）－cは、一つの結晶核から結晶が大きく成長した部分であり、結晶成長温度1100℃での結晶形の最も代表的な形態である。結晶析出部分はすべて濃い緑色を帯び、光に応じて明るい黄緑色に発色する。1050℃のテストピース（図96）は、（図96）－aのようにカスミソウ形態の結晶が析出した。このカスミソウ形態の結晶が集まり、大きく成長すると（図96）－bのように雲形結晶が生じる。結晶析出部分は濃い緑色を帯び、1100℃の結晶よりも発色が複雑ではない。

酸化銅を4%添加したテストピースの結果は、（図97）～（図99）の通りである。全体的に結晶が析出してない部分で、青色が濃くなった。1150℃のテストピース（図97）は、結晶核が生成された部分は観察できるが、結晶が大きく成長してない。十分な亜鉛成分が付着せず、結晶化まで至らなかったと考えられる。1100℃のテストピース（図98）は、結晶が扇形で成長しようとした部分を確認できたが、大きく成長していない。1050℃のテストピース（図99）は、結晶核の部分を明確に区別可能であり、（図99）－aのように結晶が扇形から成長する1100℃の結晶成長過程とは異なり、結晶核の部分から四方に広がって生成されている。

酸化銅を 5 % 添加したテストピースの結果は、（図100）～（図102）の通りである。結晶が析出された部分で、濃い緑色の杵が生じた。1150℃のテストピース（図100）－ a を観察すると針状に析出した結晶部分の周囲に、杵が形成されていることが観察できる。1100℃のテストピース（図101）－ a にもその結晶析出部分に生じる杵が見て取れるが、この結晶の杵は（図101）－ b のように結晶核が生成された時点から生じている。1050℃のテストピース（図102）の結晶析出部分を観察してみると（図99）の結晶形態に杵ができたような形に析出されている。

酸化銅を 6 % 添加したテストピースの結果は、（図103）～（図105）の通りである。1150℃（図103）と1100℃（図104）のテストピースでは、亜鉛成分が不足し、結晶が成長していない。1050℃のテストピース（図105）の結晶析出部分は（図102）とほぼ同じ形状の結晶が析出された。

酸化銅を 7 % 添加したテストピースの結果は、（図106）～（図108）の通りである。テストピースの釉薬表面が半光沢であった。1150℃のテストピース（図106）は、結晶核が生成されたが、結晶が大きく成長していない。1100℃のテストピース（図107）は、結晶核から非常にはっきりと成長した結晶が確認できる。（図107）－ a のように結晶核が集まった部分は、釉薬が溶融していないようで、触ってみると凸凹した質感である。

（図107）－ b の部分を光に照らし観察してみると、長くまっすぐ成長した結晶の筋が確認できる。結晶部分は濃い緑色を示し、結晶核から成長し始めた部分は黒に近い緑、結晶が成長した部分は濃い緑色であった。1050℃のテストピース（図108）は、結晶がテストピースの全面に析出しており、1100℃で見れる結晶の筋と1050℃で見れる雲形の結晶成長形態が混ざっている。濃い緑色に発色する結晶析出部分は、光に照らしてみると1100℃の結晶よりもグラデーションのような表情はない。

酸化銅を 8 % 添加したテストピースの結果は、（図109）～（図111）の通りである。全体的に、背景部分が濁った濃い緑色に発色している。1150℃のテストピース（図109）

は結晶が大きく成長していないが、（図109）－aのように一部の結晶が析出された。結晶部分では黒のグラデーションを示し、8%添加の結晶と比較すると、黒のグラデーション結晶部分は、結晶析出部分の枠であると判断できる。1100℃のテストピース（図110）を観察してみると（図110）－aのように結晶の核の部分が確認できる。結晶核から成長した結晶は、（図110）－bにて確認でき、結晶の枠部分の内側の結晶が針状の形態であることが観察できる。1050℃のテストピース（図111）は、結晶の形が（図111）－aのように扇形に成長し、結晶析出部分の黒のグラデーションの枠がさらに広く生成されている。

酸化銅を9%添加したテストピースの結果は、（図112）～（図114）の通りである。1150℃のテストピース（図112）は、結晶が析出しておらず、表面が半光沢である。1100℃のテストピース（図113）は、一つの結晶核から結晶が非常に大きく成長している。（図113）－bのように、結晶核の部分を観察することができ、表面が凸凹である。（図113）－aを観察すると、結晶が針状に長く伸びて成長したことが観察できる。結晶部分は黒に近い濃い緑色に発色しており、一部は光を受け、明るい黄緑色に光る部分もある。（図113）－cを見ると、8%の結晶析出部分に表示される黒のグラデーション枠がより広く形成されている。1050℃のテストピース（図114）は、結晶の形が扇形に広がり、円形になっている。

酸化銅を10%添加したテストピースの結果は、（図115）～（図117）の通りである。1150℃テストピース（図115）と1100℃のテストピース（図116）を観察すると（図116）－aのように結晶核は生成されたが、結晶が大きく成長していない。結晶が析出されていない部分は、半光沢の暗い緑であった。1050℃のテストピース（図117）の結晶は、扇形であり、結晶が析出した部分の周囲に結晶の枠が観察できる。

酸化銅を15%添加したテストピースの結果は、（図118）～（図120）の通りである。テストピースの全面が完全なマット質であり、黒に近い濃い緑色に発色する。1150℃の

テストピース（図118）の結晶は、（図118）－aのように結晶が丸形であり、大きく成長していない。結晶が析出された部分を触てみると、凹凸がある。1100℃のテストピース（図119）の結晶を見ると、（図119）－aのように針状に析出した結晶が観察できる。

（図119）－bのように結晶の周りに枠が形成され、この枠の部分も凹凸である。1150℃のテストピース（図120）は、結晶が扇形に析出されており、結晶の部分がマット質の黒で、詳細に観察しなければ結晶が析出されたことを確認しにくい。

2. 3.4 NiO₂

酸化ニッケルは少ない添加量でも発色効果の得られる優れた発色剤の一つである。特に、他の発色剤は、結晶部分と背景部分の発色が発色剤の添加量によって同様に変化しますが、酸化ニッケルは結晶部分は青色、背景部分は黄色に発色するのが特徴である。

酸化ニッケルを0.5%添加したテストピースの結果は、（図121）～（図123）の通りである。結晶が析出された部分は明るい青色、背景部分は黄色に発色する。1150℃のテストピース（図121）は、（図121）－aのように結晶核から針状結晶が析出され、結晶核からは薄い針状に析出された結晶が成長し、少しずつ広がっている。1100℃のテストピース（図122）は、結晶核がテストピースの全面に広がっている。（図122）－bは、結晶の核であり、この核が成長した部分が（図122）－aである。結晶が成長し、結晶の筋が生じている。1050℃のテストピース（図123）は、結晶核が無数に生成され、1050℃特有のカシミノウ形の結晶が生成されている。

酸化ニッケルを1%添加したテストピースの結果は、（図124）～（図126）の通りである。結晶の部分は濃い青を帯び、結晶が生成されていない部分は、明るい黄色が濁ったような部分がある。1150℃のテストピース（図124）－aを見ると、針状に析出され、成長しようとした結晶が観察できる。1100℃のテストピース（図125）は、結晶の成長を一目で確認することができる。（図125）－aは結晶核が生成された部分である。（図

125) - b は結晶が扇形で成長を始めた部分である。(図125) - c は、(図125) - b の扇形結晶状態から成長して生じた円形の結晶である。1050°Cのテストピース(図126)は、1050°C特有のカシミソウ形結晶と雲型結晶が同時に析出されている。(図126) - a のようにカシミソウ形で生成された結晶が集まって生成された雲の結晶が(図126) - b の部分である。

酸化ニッケルを2%添加したテストピースの結果は、(図127)～(図129)の通りである。テストピースの全面に結晶が析出されており、酸化ニッケル特有の藍色に発色する。1150°Cのテストピース(図127)は、(図127) - aのように小さな針状結晶が析出している。結晶核が多く集まった部分は濃い藍色、結晶が成長した部分は青に発色する。1100°Cのテストピース(図128)は、扇形に広がって生じた結晶がたくさん析出されている。(図128) - a は結晶核であり、結晶核の部分が微細に針状形態を示しており、この部分が大きく成長し、扇形の結晶が析出されている。1050°Cのテストピース(図129)は、(図129) - a のようにカシミソウ形の結晶が析出した。カシミソウ形の結晶が密集し、雲のような形状を示している。

酸化ニッケルを3%添加したテストピースの結果は、(図130)～(図132)の通りである。結晶が析出された部分は、濃い藍色に発色し、結晶が析出していない部分は、黄色で濁っている。1150°Cテストピース(図130)は、針状の結晶が析出した。(図130) - a のように、酸化ニッケル特有の藍色は、結晶核が生成される時から発色効果を持つ。結晶核から(図130) - b のように針状結晶が成長する。1100°Cのテストピース(図131)は、テストピースの全面に大きく成長した結晶が析出された。(図131) - a は結晶核の部分であり、この結晶核を中心に四方に広がって(図131) - b のように結晶の筋が生成している。1050°Cのテストピース(図132)は、結晶が無数に析出され、雲形結晶が成長した。1100°Cの結晶よりも1150°Cの結晶がより暗い藍色に発色する。

酸化ニッケルを4%添加したテストピースの結果は、(図133)～(図135)の通りで

ある。亜鉛結晶が析出されていない部分が結晶化し始めた。1150°Cのテストピース（図133）－aの部分を見ると、ガラスの破片のような明るい黄緑色の結晶が析出された。1100°Cのテストピース（図134）は、亜鉛結晶部分と背景結晶部分が同時に析出されている。（図134）－aの部分は、1100°C特有の扇形結晶が析出され（図134）－cのように成長した。（図134）－bの部分は、背景に微細な針状結晶がぎっしりと析出している。1050°Cのテストピース（図135）は、（図135）－aのようにカスミソウ形の結晶が析出した。このカスミソウ形の結晶が集まって（図135）－bのように雲形結晶に成長した。

酸化ニッケルを5%添加したテストピースの結果は、（図136）～（図138）の通りである。酸化ニッケルを添加することにより、背景部分の結晶化がさらに加速した。1150°Cのテストピース（図136）を観察してみると（図136）－aのように亜鉛結晶が成長しようとした痕跡はあるが、大きく成長せず、（図136）－bのように、背景部分に針状結晶が無数に析出された。背景部分の針状結晶は、一定の成長パターンはなく、ガラスの破片を散らしたような析出状態である。1100°Cのテストピース（図137）は、（図137）－aのように、一般的な1100°Cの扇形結晶ではなく、カスミソウ形結晶が析出した。背景部分には（図137）－bのようにガラス破片のような結晶も観察できる。1050°Cのテストピース（図138）もカスミソウ形の結晶が析出され、（図137）－aの部分と似ており、（図138）－aの方がより平面的である。

酸化ニッケルを6%添加したテストピースの結果は、（図139）～（図141）の通りである。全体的に、背景部分のガラス破片のような結晶模様が亜鉛結晶の成長過程にも影響を与えたように見える。1150°Cのテストピース（図139）－aの部分を見ると、結晶が針状結晶と扇形結晶の中間段階のように成長し、析出している模様は、背景部分の結晶に影響を受けた。1100°Cのテストピース（図140）は、亜鉛結晶部分は雲型結晶に成長し、（図140）－aのような結晶析出形態である。結晶内の模様が背景のガラス破片のような質感を見せる。この現象は、1150°Cのテストピース（図141）も同じである。

酸化ニッケルを7%添加したテストピースの結果は、(図142)～(図144)の通りである。全体的に酸化ニッケル結晶の藍色がテストピースの全面に広がっている。全体的に亜鉛結晶の針状、扇形、カスミソウ形、雲形の結晶は析出されておらず、(図143)－aのように、背景部分の結晶が青と黄緑色に混ざって、ガラス破片のように析出している。

酸化ニッケルを8%～15%添加したテストピースの結果は、(図145)～(図156)の通りである。酸化ニッケルを8%以上添加すると亜鉛結晶は析出されなかった。表面は黄緑色と濃い緑の微細な結晶で表面が覆われており、半光沢を帯びている。酸化ニッケルの添加量が増加するほど、黄緑色の割合が高くなり、15%に達すると青色が完全に消える。

3. 2種類の発色剤添加による結晶析出模様

発色剤の単独添加実験結果の基、発色剤2種類を混合添加する研究を行った。亜鉛結晶釉薬の基本調合や混合方法は同様であり、焼成方法は結晶成長温度1100℃で5時間維持させる方法で焼成した。

2種類の発色剤を添加する実験は、4種類の発色剤(酸化鉄、酸化銅、酸化マンガン、酸化ニッケル)をそれぞれ1～2%混合する実験を基に、3%以上添加する実験も連携して行った。

3. 1 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CuO}$

酸化鉄と酸化銅を混合した結果は(表2－1)、(図157)～(図160)の通りである。

全体的に酸化鉄の明るい黄色と酸化銅の青緑色が混合され多様な発色を見せる。結晶核の生成が非常に多く、結晶の成長も安定している。釉薬は全体的に光沢に優れており、よく熔融されている。結晶核を目視で確認することができ、数が非常に多いため、一つの結晶体が小型である。4つのテストピース全て、結晶成長の際に作られた結晶筋を確認することができ、成長部分の光沢が非常に良い。

酸化鉄の量が多くなるほど黄色と茶色の発色、酸化銅の添加量が多くなるほど、緑色になる。酸化鉄と酸化銅を1～2%添加したテストピースの結果、(図157)～(図159)のように結晶析出が非常に密集している。結晶の過剰析出による釉薬表面のマット化は見られない。酸化鉄と酸化銅をそれぞれ2%添加したテストピース(図160)を観察してみると(図160)－aのように結晶が生成されていない背景部分が青色に見える。この発色は、酸化銅の単独添加実験1～2%のテストピース(図88)～(図93)の背景部分の青と似ている。

酸化鉄、酸化銅は、発色効果において結晶部分と背景部分すべてに影響を与える発色剤である。この発色の影響は、各発色剤の単独添加実験からも明らかになっている。二つの発色剤を混合すると、塗料の二色を混合することと同様の発色効果が見られ、結晶と背景部分でも同じ効果が見受けられた。

3. 2 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}$

酸化鉄と酸化マンガンを混合した結果は(表2-2)、(図161)～(図164)の通りである。全体的に結晶が金色を帯び、テストピースの表面を埋め尽くすほど、結晶が多く析出された。各発色剤の添加量による発色の変化が観察できないほど、非常に似ている。各発色剤を2%添加したテストピースの結果から結晶の生成と発色の変化を少し観察できる程度である。この結果は、酸化鉄と酸化マンガンの単独添加のテストピースの結果と比べると、ある程度予想可能な範囲の発色変化である。酸化鉄を少量添加したテストピースでも発色剤をほとんど添加していないような結果を見せ、酸化マンガンも発色剤としての発色効果は3%以上から観察することができた。両方の発色剤は黄色と茶色、すなわち同系統の暖色の発色効果を示す。発色の範囲が似ている発色剤であるため、(図161)～(図164)のようなテストピースの発色を示したと見られる。酸化鉄と酸化マンガンの混合は、1～2%の少量添加ではなく、3%以上の多量添加から発色効果を極大化させるこ

とができる。

3. 3 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{NiO}$

酸化鉄と酸化ニッケルを混合添加した結果は（表 2 - 3）、（図165）～（図168）の通りである。全体的に酸化ニッケル特有の青色結晶がテストピースの全面を覆っている。それぞれ 1 % 添加したテストを除き、結晶が大きく成長し、光沢が非常に優れている。結晶の核は、すべて区分が可能であり、結晶が成長する際に生成される結晶の筋も観察することができる。結晶部分の青色は酸化鉄の添加量に応じて青から緑に変化するなど、酸化ニッケル特有の結晶に酸化鉄の色を加えた発色を示した。酸化鉄 1 %、酸化ニッケル 2 % を添加したテストピース（図166）を観察してみると、結晶が濃い青色であり、酸化鉄の影響から茶色系の発色が生成された。結晶核は（図166）－aのように目視で確認でき、濃い青色を帯びている。結晶は（図166）－bのように扇形結晶に成長した。酸化鉄 2 %、酸化ニッケル 1 % を混合したテストピース（図167）を観察してみると、結晶部の発色が緑色に変化したことが分かる。酸化ニッケルの青い発色に酸化鉄の黄色の発色が混合され、緑色に発色したものと見られる。結晶の成長は（図167）－aのように扇形成長を見せる。酸化鉄 1 %、酸化ニッケル 1 % を添加したテストピース（図165）と、それぞれ 2 % を添加したテストピース（図168）を比較すると、緑に近い青緑色の結晶がテストピースの表面を覆っており、1 % 添加より 2 % 添加のテストピースが結晶個々のサイズが大きい。酸化鉄と酸化ニッケルの混合では、酸化ニッケルが結晶析出の発色において主となる。

3. 4 $\text{CuO} + \text{MnO}$

酸化銅と酸化マンガンを混合した結果は（表 2 - 4）、（図169）～（図172）の通りである。酸化銅の主な発色は青緑色、酸化マンガンは黄色、茶色などである。二つの発色材は共に結晶と背景、両方に発色効果をもたらし、酸化鉄と酸化銅の混合発色と同様な結

果を示した。酸化銅と酸化マンガンを混合すると、酸化銅の青緑色に酸化マンガンの黄色が加わった発色効果を見せる。同じ量を混合添加した際、発色効果は酸化鉄よりも酸化銅が優れると思われる。酸化マンガンは1～2%の少量では発色効果がほぼ観察できないことと比較し、酸化銅は少量の添加量でも優れた発色効果を持っている。そのため、1～2%を混合したテストピースでは酸化銅の発色結果が際立った。結晶の析出模様や光沢は非常に優れ、(図169) -aのように扇形結晶の成長パターンを観察できる。結晶の核はすべて肉眼で確認することができ、一つの結晶体が大きく成長している。酸化銅1%、酸化マンガン1%を混合した結果(図169)と、それぞれ2%を添加した結果、(図172)を観察してみると、結晶核から成長した結晶の大きさが非常に大きい。この結果は、(図170)、(図171)のテストピースを観察してみると、無数析出された結晶核によって結晶体一つの大きさは小さく見えるが、これは結晶が密集して互いの結晶成長妨げた為だと考えられる。結晶が大きく成長する際、結晶核の密集度が影響を与える。

3. 5 CuO+NiO₂

酸化銅と酸化ニッケルを混合添加した結果は(表2-5)、(図173)～(図176)の通りである。酸化ニッケルの結晶発色が酸化銅の発色効果より優ており、テストピースの全面が濃い青色の結晶に覆われている。酸化ニッケルの発色に酸化銅の発色が添加され、緑青色の結晶が析出された。同じような発色を示す酸化鉄と酸化ニッケルを混合したテストピースと比較すると、酸化鉄を混合したテストピース(図165)～(図168)は、酸化ニッケルの青結晶発色に黄色を混ぜたようで、緑が強い青緑色に発色している。それに比べ酸化銅が添加された酸化ニッケルの青の結晶は、青色が強い青緑色を示す。酸化銅3%、酸化ニッケル1%を添加したテストピース(図177)を観察してみると(図177) -aのように結晶核の部分で青色に発色し、結晶が成長した部分では青緑色に発色している。酸化銅の添加量が酸化ニッケルの添加量より2%以上多い為、酸化ニッケルの結晶発色効果に

酸化銅の発色が大きな影響を及ぼしたものであると見られる。酸化銅が3%添加されると、結晶体一つが非常に大きく成長するが、この特徴は2つの発色剤を混合したテストピースでも観察することができる。酸化ニッケルの強力な結晶発色効果と酸化銅の結晶成長パターンを用いることで、様々な青緑系の結晶釉薬を製造することができると思う。

3. 6 $\text{MnO} + \text{NiO}_2$

酸化マンガンと酸化ニッケルを混合した結果は（表2-6）、（図178）～（図181）の通りである。1%の添加量では、結晶核が密に析出され、一つの結晶が大きく成長するまでには至らなかった。発色剤を2%添加したテストでは、結晶核から大きく成長した結晶を観察することができ、結晶の筋も非常に鮮明で光沢が優れている。他の酸化ニッケルを混合したテストピース（図165）～（図168）、（図173）～（図176）と比べ、結晶析出と発色において似た発色結果を示した。酸化マンガンとニッケルのテストピースでは、酸化ニッケルの発色により、発色力の弱い酸化マンガンの発色が制限されたことが分かる。

（図173）と（図178）を比較すると、発色や結晶の析出状態はほぼ似ているが、酸化マンガンと混合した結果（図178）の方がより鮮明な青色の発色である。

3. 7 各酸化物と Co_3O_4 混合

酸化コバルトは極少量の添加で強力な青色を発色させることができる優れた発色剤の一つである。酸化コバルトの青色発色は、光沢や色が鮮明であり、結晶と背景部分両方に影響を与える。コバルトは3%以上混合すると、結晶核が過剰析出し釉の表面が完全に溶融されない問題点を残す。したがって、各発色剤との混合による発色効果を観察するため、酸化コバルトの添加量は、0.3%～1%までと制限し用いた。

$\text{MnO} + \text{Co}_3\text{O}_4$

酸化マンガンを2%とコバルト0.3%と添加したテストは、(図182)の通りである。濃い青の結晶であり、結晶が析出された部分を光に照らして観察すると、光沢に透明感がある。結晶核が適量で発生し、結晶成長温度で十分に成長した姿である。結晶核が密集し溶けていないように見える部分は観察されず、結晶が成長し、筋のような線が結晶の中に残り、この部分が光に反射され、絹糸のような姿を現わす。

酸化マンガン3%と酸化コバルト1%を添加したテスト結果は、(図183)の通りである。全体的に濃く深い青色である。(図182)の青色よりも色が濃く、透明度はやや落ちる。光の方向に応じて、明るい青と黒に近い青を帯びており、結晶の筋は大きく目立たないが、結晶核は明確に表れている。釉薬の表面全体に大きく成長した結晶が広がっている。結晶核の部分から成長部分までのグラデーションがある。結晶に、奥行きがあり、澄んだ感じのコバルトブルー色であり、扇形に成長した筋はあまり見受けられないが、光の方向に応じて観察することができる。

マンガン10%と酸化コバルト0.5%を添加したテスト結果は、(図184)の通りである。結晶の色は濃い藍紫色で、結晶の析出されていない部分は、濃い藍色の上に白色が厚く塗り重ねられているようである。釉薬は全体的に熔融状態が良く光沢がある。結晶の形は、他のテストピースと大きく異なることはなかったが、一般的な釉薬では滅多に見ることのない珍しい色をしており、非常に希少価値があると思う。また、結晶が扇形に大きく成長した姿を観察できる。扇形に大きく成長し、円形結晶までは成長していない。結晶部分と結晶が析出されていない部分の色のコントラストの差が激しいため、結晶境界面が非常にはっきりとしている。結晶を光に照らして見ると、結晶成長の筋を観察することができる。マンガンとコバルトを混合するとコバルトの発色効果が非常に強力であり、酸化マンガンの発色効果はほぼ見当たらない。しかし、酸化マンガンの添加量が極端に多くなると、酸化コバルトの発色からもマンガンの発色を確認することができる。

$\text{NiO}_2 + \text{Co}_3\text{O}_4$

酸化ニッケル1%とコバルト0.3%を添加したテストピースの結果は（図185）の通りである。酸化ニッケルを亜鉛結晶釉薬に用いた際、結晶の色は青色で現れるが、結晶が析出されていないガラス面の色は黄色、茶色、緑色を帯びている。コバルトは結晶とガラス面を青く変化させる強力な発色剤にもかかわらず、ニッケルの量がコバルトの量よりも多く添加された事により、ニッケルを単独使用したものと同様の結果のテストピースが作られた。全体的に結晶核が少なく、結晶が成長した部分も少ない。結晶面とガラス面の色の違いが明解であり、結晶部分はコバルトの影響で明るく澄んだ青色である。

テストピースの凹凸部分に結晶核が集まり、その部分にのみ結晶が生成された。青い結晶は扇形に生成され、成長し、結晶の大きさは他のテストピースと比較してみると大きな方ではない。

$\text{CuO} + \text{Co}_3\text{O}_4$

コバルト1%と酸化銅3%を添加したテストピースの結果は、（図186）の通りである。全体的に結晶部分と結晶が生成されてない部分が濃い藍色を帯び、境界面が非常にはっきりとしている。釉薬の透明度はやや劣るが、ガラス質がよく進行しており、全体的に光沢がある。結晶は大きく、はっきりとした形で析出された。多数の結晶核が集まって作られた結晶状態ではなく、いくつかの結晶核が大きく成長する姿を見せる。結晶析出面と結晶が析出されていない面の境界線がはっきりとしており、光に照らして見ると結晶が作成されたところに微細な筋を見ることができる。

4. 3種類の発色剤添加による結晶析出模様

第1章の2, 3の結果の基、発色剤を3種類添加する実験を行った。発色剤添加の種類が増えるほど、結晶の析出模様や発色にどのような変化が起きるのかを観察する実験で

ある。ここまでの実験から、各結晶成長温度で結晶の析出模様が異なることが明らかであることから、焼成方法は結晶成長温度を1100℃に設定し実験を行った。

発色剤はそれぞれ1～2%を添加する実験を基とし、3%以上添加する実験を行った。3種類の発色剤を添加するとある程度の発色効果は予測できる。しかし発色剤の添加量の調整範囲が非常に多様になるため、結晶の成長過程で新たな発色と形を発見することができると期待する。

4. 1 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO} + \text{CuO}$

酸化鉄と酸化マンガン、酸化銅の混合添加のテストピース結果は（表3-1）、（図187）～（図198）の通りである。（図197）、（図198）を除いて、酸化鉄の黄色発色が強い。酸化マンガンと酸化銅の影響により、緑が混ざったような結晶の発色を示す。結晶は扇形であり、大きく成長した。結晶の筋も析出され、結晶を光に照らしてみると、絹のような光沢がある。酸化鉄、酸化マンガン、酸化銅は少量添加の際、結晶の光沢が非常に良いことを観察できるが、多種類の発色剤を混合添加しても光沢が濁ることはなかった。結晶成長模様や筋の変化は、各酸化物を2%以上添加した際、その変化を観察することができる。（図195）の結晶を観察してみると結晶の中で赤色の結晶筋が析出していることを観察できるが、この色は酸化鉄の多量添加による発色であると見られる。（図196）の結晶を観察してみると、結晶の色は黄色から暗褐色であり、光沢がある。結晶核を観察してみると（図196）-aのように、明るい黄色の結晶筋が生成された。酸化銅を3%以上添加した（図197）と（図198）のテストピースを観察してみると、酸化銅の緑発色が濃くなり、結晶と背景部分共に緑色を帯びる。結晶の成長において特徴的な点は、（図198）-aのように結晶成長した部分に枠が析出された。この枠は、酸化銅を多量添加した際に観察することができる現象である。

(図 195) ～ (図 198) の結果を見ると、添加された発色剤は、結晶が成長する過程で混ざり、お互いに影響を与えながら添加量に応じて多様な発色を見せることが分かった。結晶の成長の形態は、添加量に応じ、成長パターンが複合的に発現する。結晶の核が生成され、その核が大きく成長する際、それぞれの添加結果と似たような結晶の数と大きさの結晶析出状態を確認することができる。(図 198) -a のように単独発色剤の多量添加による結晶形のパターンも現れる。

4. 2 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CuO} + \text{NiO}_2$

酸化鉄、酸化銅、酸化ニッケルの混合添加テストピースの結果は(表 3-2)、(図 199) ～ (図 213) の通りである。結晶部と背景部の発色において特徴のある酸化ニッケルが添加されている。酸化ニッケルは、他の発色剤よりも少ない添加量でも発色力が優れており、背景部分と結晶部分が違う色で発色する。(図 199) ～ (図 205) まで結晶部分の発色が各発色剤の影響を受け、藍色から青緑色に至るまで、微妙な発色の違いを見せる。酸化鉄の添加量が多くなると黄色が混ざった青色に発色し、酸化銅の添加量が多くなると緑が混ざった青色に発色する。酸化ニッケルの添加量が多くなると、酸化ニッケル特有の青の発色がより強くなる。三つの発色剤を 3 % 以上添加すると、1 ～ 2 % を添加したテストと比較すると発色の変化がより一層目立つ。(図 208) を観察してみると結晶は濃い藍色で発色し、結晶の中で成長する過程を観察することができる結晶の筋が生成されている。(図 207) -a 部分は、結晶核から扇形に成長した結晶を観察することができ、結晶枠も一緒に生成され成長した。(図 207) -b の部分は、結晶の筋が酸化鉄と酸化銅の影響を受け、濃い黄色の筋が析出した。(図 209) を観察してみると酸化銅が 4 % 添加されたことにより、背景部分の緑発色が強くなった。結晶部分は枠が析出されている。結晶が成長した部分では結晶核を確認することはできないが、成長していない結晶では結晶核を観察することができる。(図 209) ～ (図 211) を見ると、背景部分の黄色が完全に不透明に

なり、結晶核から結晶が扇形に成長している。結晶は杵が生成され、酸化鉄の量が多くなるほど杵の部分が赤色に発色する。（図 212）と（図 213）は、酸化銅と酸化ニッケルの添加量と比べ、酸化鉄の添加量が多い。結晶を観察してみると、扇形の結晶に成長し、結晶の杵が析出されている。結晶の杵は赤色を帯びており、結晶自体の発色は濃い緑色である。酸化鉄が 5 % 添加された（図 213）は、結晶の成長過程で添加された発色剤の影響を受け、結晶の筋が黄色・赤色・紺色などに発色し、その表現が非常に多彩である。結晶杵の部分は赤色に発色し、結晶の成長部分とグラデーションをなしている。

酸化鉄、酸化銅、酸化ニッケルの発色剤混合実験では、酸化銅の単独添加（5 % 以上）のテストピースで観察することができた結晶の杵が生成された。この杵は酸化銅が少量であっても、三つの発色剤の添加量が合計 6 % 以上の際に析出された。二つの発色剤を混合添加する実験で、合計添加量が 6 % 以上の際には結晶の杵が形成されていない。

4. 3 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{NiO}_2 + \text{MnO}$ と $\text{MnO} + \text{NiO}_2 + \text{CuO}$

酸化鉄、酸化ニッケル、酸化マンガンを添加した実験と、酸化マンガン、酸化ニッケル、酸化銅を添加した二つの発色剤混合実験の結果は非常によく似た発色を見せていることから、一つにまとめて比較分析する。

酸化鉄、酸化ニッケル、酸化マンガンを混合添加したテストピースの結果は（表 3-3）、（図 214）～（図 221）の通りである。全体的に酸化ニッケルの影響を受け、結晶が青色に発色する。結晶核が無数に生成され、結晶成長の大きさを測定することができない。結晶の発色は酸化鉄の添加量に応じ、青色の発色から緑色や黄色などに変化する。結晶核の部分は（図 220）-a のように、カスミソウ結晶が析出されている。

酸化マンガン、酸化ニッケル、酸化銅を混合添加したテストピースの結果は（表 3-4）、（図 222）～（図 230）の通りである。結晶の発色は、酸化ニッケルの影響を受け、青緑色に発色する。結晶核や結晶の成長が良好であり、絹のような光沢が優れている。結

晶部分は、全体的に霧が掛かったような濁りが発生し、結晶の形状は明確に区別することができるが、鮮明な結晶発色ではない。結晶核が多く析出され、結晶が密集している部分は、結晶成長部分が接触した事により、表面がマットになっている。結晶析出部分の表面が無光沢のように見えるテストピースは（図 230）である。（図 230）は、発色剤の総添加量が 7 % であり、結晶の境界線が生成されている。結晶の筋は観察できず、結晶成長部分の光沢はあるが、釉薬の表面光沢はない。

酸化ニッケルが添加されたすべてのテストピースは、酸化ニッケルの結晶発色の影響が非常に強いため、発色における変化が大きいものはない。

4. 4 各発色剤と Co_3O_4 混合

二つの発色剤と酸化コバルトを添加する実験を行う。酸化コバルトの優れた発色効果により結晶発色がすべて青に変化することを防止させるため、コバルトは 0.1 % ~ 0.6 % に制限して少量添加した。

Fe_2O_3 、 MnO 、 Co_3O_4

酸化鉄 0.5 %、酸化マンガン 1 %、酸化コバルト 0.3 % を混合し添加したテストピースの結果は（図 231）の通りである。酸化鉄と酸化マンガンを添加したテストピースと比較し、全体的に酸化コバルトの影響を受け、青色に発色している。酸化鉄と酸化マンガンの発色とは関係なく、結晶部分と背景部分が酸化コバルトの青色に染まっている。結晶は、扇形に成長し、結晶の筋が美しいグラデーションになっている。

酸化鉄 1 %、酸化マンガン 2 %、酸化コバルト 0.3 % を混合添加したテストピースの結果は（図 232）の通りである。結晶の部分は濃い藍色に発色し、結晶部分と背景部分の透

明度は感じられない。結晶と背景の発色が異なり、結晶部分の青色が酸化ニッケルを添加したテストピースと類似している。

酸化鉄 3 %、酸化マンガン 1 %、酸化コバルト 0.1 %を混合添加したテストピースの結果は（図 233）の通りである。（図 231）と比較すると、結晶の発色に違いがある。酸化鉄を 3 %に増量添加し、酸化コバルトを減量添加することにより、結晶の発色が緑色に変化した。酸化鉄と酸化マンガンの二種類の発色剤を添加したテストピースの結晶は、（図 164）のように明るい黄色に発色する。この発色に酸化コバルトの添加すると、結晶の発色が緑色に変化する。結晶部分は結晶筋の光沢があり、酸化コバルトの発色に見える微妙な青色の筋を観察することができる。

Fe_2O_3 、 CuO 、 Co_3O_4

酸化鉄 1 %、酸化銅 2 %、酸化コバルト 0.1 %を混合添加したテストピースの結果は（図 234）の通りである。酸化鉄 1 %と酸化銅 2 %添加したテスト（図 158）と比較すると、明るい青色の結晶発色変化を観察することができる。結晶は、扇形の成長パターンを示し、結晶の光沢がある。

酸化鉄 4 %、酸化銅 1 %、酸化コバルト 0.6 %を混合し添加したテストピースの結果は（図 235）の通りである。全体的に暗い黄緑色を帯び、結晶部は藍色である。酸化鉄と酸化銅、酸化コバルトが添加された（図 234）、（図 236）と比較し、酸化鉄の添加量が多くなることにより、結晶析出の変化を観察することができる。結晶が扇形に成長したことは確認できるが、結晶が背景部分に染み込んだような模様を見せる。それにより結晶と背景の境界が不明快になり、結晶の形を明確に観察することができない。酸化鉄 1 %、酸化銅 3 %、酸化コバルト 0.3 %を混合添加したテストピースの結果は（図 236）の通りである。全体的に酸化銅の影響により、緑色に発色する。結晶部分を観察してみると結晶が成長する過程で、酸化コバルトの影響を受け、（図 236）－a のように青色の結晶の筋が析

出されている。結晶の光沢があり、薄い緑色から濃い緑色まで、結晶体内での発色が多彩である。結晶には、杵が生成され、この杵により立体感がある。

MnO、NiO₂、Co₃O₄

酸化マンガン 3 %、酸化ニッケル 1 %、酸化コバルト 0.2 %を混合添加したテストピースの結果は（図 237）の通りである。酸化マンガンと酸化ニッケルを混合した結果（図 178）～（図 181）と比べ、酸化コバルトの影響を受け、鮮やかな青色に発色している。酸化ニッケルの単独添加の結果と比較すると、結晶の発色変化は見当たらないが、背景の発色の変化が生じた。酸化ニッケルの単独添加したテストピースは、背景部分の発色が黄色～茶色であるが、（図 237）は、青色が加わった発色である。結晶析出部分は扇形で成長し、結晶の光沢がある。

MnO、CuO、Co₃O₄

酸化マンガン 0.5 %、酸化銅 1 %、酸化コバルト 0.3 %を混合添加したテストピースの結果は（図 238）の通りである。結晶の析出状態が非常に美しく、透明感がある。結晶の成長過程から見られる結晶筋も観察できる。酸化マンガンと酸化銅を添加したテストピースでは、緑の発色である結晶や背景の発色が、酸化コバルトの影響により、鮮明な青に発色している。

酸化マンガン 1 %、酸化銅 2 %、酸化コバルト 0.1 %を混合し添加したテストピースの結果は（図 239）の通りである。結晶の部分の光沢があり、光に照らして見ると、明るい水色と濃い水色のグラデーションが生成されている。結晶の筋は、密に析出されており、結晶体一つが大きく成長している。

酸化マンガン 3 %、酸化銅 2 %、酸化コバルト 0.1 %を添加したテストピースの結果は（図 240）の通りである。（図 239）と比べ、透明感のある結晶発色ではないが、結晶の

光沢がある。(図 239) よりも少し緑が加わった淡い水色で、結晶が析出していない部分の濁りがより強くなった。結晶一つのサイズが非常に大きく、結晶の筋が四方に広がっている。

5. 考察

第 1 章では本研究の実験に用いる亜鉛結晶釉の基本データを設定し、そのデータを基にして発色剤を添加する実験を行った。亜鉛結晶釉の発色効果や結晶模様の変化など、発色剤の添加による影響を観察した。

酸化マンガン

酸化マンガンを添加したテストピースは、明るい黄色とピンクから濃い茶色に至るまで添加量に応じ、結晶や結晶が生成されていない部分の発色変化がはっきりとしている。

マンガンの添加量が多くなるほど、結晶生成部分と背景部分の発色がグラデーションのように、濃くなっていくことが分かる。添加量が0.5%～2%までは無数の結晶核が生じて成長したことから、温度による結晶模様を明確に区別することはできなかった。しかし、3%～5%を添加したテストピースは結晶成長温度による形状変化を明確に観察することができる。結晶核が限定的に選択され始めており、成長の模様もはっきりしている。

1050℃での結果は多少大量の結晶核が生じたが、1150℃での結晶は針形結晶が成長し、1100℃では扇形に成長し、円形にまで成長している。結晶が生成されていない背景部分では、濁りが生じたが、全体的な光沢に影響を与えなかった。結晶が最も大きく、鮮明なのは、添加量4～5%であり、背景部分と結晶析出部分の境界が明確である。結晶が成長する過程を一つの結晶体からすべて観察することができ、その過程が成長温度に応じて変化することが分かる。6%以上添加したテストピースでは、結晶の数が減り、大きさも小型である。この結果は酸化マンガンの添加量が結晶核の成長に影響を及ぼすことを

示す。しかし6%以上添加し、結晶成長温度1050℃で結晶を成長させたテストピースは、1150℃や1100℃に比べ、結晶が成長している。特に9%以上での結晶成長模様に1100℃での結晶成長パターンである扇形の結晶が生成された。この結果から、マンガンを6%以上添加した際、結晶の成長は抑制されるが、1050℃での結晶成長が非常に良好であることが分かる。酸化マンガンを6%以下に添加した際は結晶成長温度を1100℃、6%以上添加の際には結晶成長温度を1050℃に設定し焼成すると、形が美しく、光沢が非常に優れた結晶を得ることができると判断できる。

酸化鉄

酸化鉄を添加した実験では、酸化鉄が結晶と背景の発色、両方に影響を与えることが分かる。発色は明るい黄色から濃い藍色、褐色に至るまで発色の範囲が非常に広い。酸化鉄の添加量1～5%での結晶が最も優れた析出を見せ、その大きさと形が多様である。1150℃では針状結晶が生成され、長く伸びながら成長し、酸化マンガンを添加した1150℃の結晶より光沢が優れている。1100℃では扇形結晶が析出され、結晶体のサイズが非常に大きく成長した。1050℃では雲形結晶が析出され、3%までは結晶の筋を確認することが出来るが、4%からは結晶の筋が析出されなかった。6%以上添加したテストピースでは、亜鉛結晶特有の結晶析出が多少制限された。酸化鉄は、添加量が多くなると、釉薬の中に結晶生成誘導材料を添加しなくても、結晶が析出される。6%以上添加したテストピースでは、亜鉛結晶釉の結晶模様と酸化鉄結晶が同時に析出された。この結果から、酸化鉄が発色剤の役割と共に結晶析出誘導剤としての役割も持っていることがわかる。酸化鉄の添加量を5%以上すると多様な結晶の形を得ることが出来ると考える。

酸化銅

酸化銅を添加したテストピースの結果による、酸化銅は、結晶発色と背景発色の両方に影響を与えることが分かる。全体的に青緑の発色が際立ち、添加量が多くなるほど、その青緑色が段々と濃くなる。酸化銅は、結晶の部分と生成されていない背景部分で発

色の違いがほぼなく、0.5%の添加量から優れた発色効果をもたらす。0.5%～4%までの範囲で、一般的な亜鉛結晶が析出され、結晶成長温度に応じた結晶模様の変化も分かりやすい。5%以上では、結晶の形は亜鉛結晶に近いが、結晶部分の周りに杵や結晶の凹凸が生じることも特徴である。この杵は、添加量が多くなるほど広く析出し、結晶の周りに凹凸を生成する極めて新しい結晶表現の効果をもたらす。1150℃では結晶の析出が制限される傾向をみせるが、1100℃や1050℃では結晶析出における酸化銅の多量添加が大きな影響を与えないことが分かる。既存の光沢に優れ、絹のような美しい模様の亜鉛結晶とはまた違う表現方法の亜鉛結晶釉として、5%以上の酸化銅添加した亜鉛結晶釉を活用できると考える。

酸化ニッケル

酸化ニッケルを添加した亜鉛結晶釉の特徴は、結晶部分と背景部分の発色が全く異なることである。結晶部では青に発色し、背景部分は黄色系の発色を見せる。発色と共に結晶析出に非常に大きい影響を与え、美しい結晶を得ることが出来る添加範囲が狭い。

酸化ニッケルの添加により、最も美しい亜鉛結晶が析出する範囲は、0.5%～4%である。4%までの結晶は、各結晶成長温度による成長模様が非常に良好である。結晶の大きさは、テストピースの全面を覆う程度、非常に大きく鮮明であり、特に1100℃での結晶は光沢に優れ、一つの結晶核から成長した結晶が非常に大きい。背景部分の濁りは0.5%のテストピースから生じ、添加量が多くなるほど、その濁りが濃くなった。添加量が3%に至っては背景部分が完全に不透明な黄色になり、4%以上では背景部分が結晶化された。5%以上添加したテストピースでは亜鉛結晶は析出するが、大きさは小さく、背景部分の針状結晶化が亜鉛結晶にも影響を及ぼした。7%添加に至っては、亜鉛結晶が完全に姿を消し、釉薬自体が結晶化する。酸化ニッケルは少ない添加量でも発色効果に優れており、結晶と背景の発色に違いがあるなど、非常に特徴的である。現代陶芸の釉薬の材料は非常に多いが、酸化ニッケルのような発色効果をもたらす材料は珍しい。添

加量を細かく調整し用いると、豊かな表面装飾効果を有する材料として活用することができると考える。

発色剤を単独添加した結果、各発色剤の持つ基本的な発色と添加量に応じた結晶の形態変化を観察することができた。酸化マンガン、酸化鉄、酸化銅は、結晶部分と結晶が析出していない背景部分、共に各発色剤の発色効果を観察することができる。全体的に5%以下の添加量で結晶の析出形態と発色効果が優れた。酸化鉄と酸化ニッケルは6%以上添加すると、亜鉛により発生する結晶と発色剤により生じる結晶が同時に析出される。酸化マンガンと酸化銅は、5%以上添加しても亜鉛結晶とみられる結晶が析出され、発色剤による釉薬の結晶化は観察することができなかった。酸化鉄は6%以上の添加で、背景部分に結晶化作用が起こり、亜鉛結晶部と背景部の発色に違いが生じた。酸化ニッケルは結晶発色と背景発色が異なり、少量添加でも発色効果が非常に優れている。しかし5%以上添加になると釉薬自体が結晶化され、亜鉛結晶釉特有の結晶が析出しなかった。

2、3種類の発色剤を混合添加する実験では、発色剤の混合使用による、各発色剤の特徴的な発色効果がどのように作用するかを観察した。この実験を通して、各発色剤は添加量に応じて発色の作用度が異なり、互いに影響を与えながら発色することが分った。

1～2%の添加範囲では、単独添加の結果を参考に考察すると、予測可能な発色の結果が多かったが、3%以上添加した結果や酸化コバルトを少量添加したテストピースでは、予測よりも興味深い結果を観察することができた。酸化マンガン、酸化鉄、酸化銅を混合添加したテストピースの結果では、2種類、3種類に関係なく、お互いの発色に影響を与え、まるで絵の具を混合したような発色となる。一方の添加量が増量した際は、その発色剤の発色が濃くなる。酸化ニッケルを添加したテストピースでは、酸化ニッケルの特徴が主となった。結晶と背景部分が異なる発色を見せ、酸化ニッケル特有の青発色であった。しかし、他発色剤を3%以上添加すると、酸化ニッケルが持つ結晶と背景部分の異なる発色効果と共に、発色の変化をもたらすことができる。3種類の混合添加テストピースから特

別な結晶発色を得るためには、酸化ニッケルの添加量を 1%以下に減らし、他二つの発色剤を多量添加することで、その効果が出ると考えられる。

結晶枠は発色剤の総添加量が 6%以上になると生成された。結晶枠の形成は三つ以上の発色剤の添加による結晶析出、背景部と結晶成長の接触により発生する現象であると思われる。三つ以上の発色剤を多量に添加し、発色変化や結晶枠の生成など、様々な表情の結晶表現ができると期待できる。

第 1 章の研究は発色剤の発色効果が研究と共に、結晶成長温度が結晶の析出と成長パターンに影響を与えるかを明確にする研究も行った。結晶の成長パターンを観察するため、結晶成長温度である 1150℃、1100℃、1050℃でそれぞれ 5 時間維持し、結晶を析出させる実験を行った。実験の結果、結晶成長温度 1150℃では、針状形の結晶、1100℃では扇形、1050℃ではカスミソウ形の結晶が析出された。

発色剤の添加、そして成長温度による結晶析出変化を応用することにより、結晶を析出させることに限らず、析出される模様を調整し、より豊かで多様な表現方法としての結晶釉を作り出すことができると考察する。

第 2 章 結晶成長温度の変化による多様な結晶析出方法

1. 実験目的

過去の亜鉛結晶の研究は結晶の析出可否についての研究、或いは温度維持時間による結晶成長（大きさ）に関する研究が多い。結晶成長温度により結晶模様の変化や成長温度を変化させ、結晶模様を多様化しようとするものは、研究された事例があまりない。

第 1 章では、発色剤添加による亜鉛結晶釉の発色変化を観察した。同時に結晶成長温度による結晶形の変化を観察すること、それぞれの温度に応じ、結晶成長形状が一定のパ

ターンを持って成長していることを知った。1150℃では針状結晶、1100℃では扇形結晶、1050℃ではカスミソウ形結晶と雲形結晶が生成された。この研究の基、第2部では、結晶成長温度に応じた結晶析出形態の変化について研究を行う。結晶成長温度を変化させた際、一つの結晶の中で、各温度帯の特徴的な結晶模様が同時に具現化するかの実験を行い、結晶による芸術的表現を多様化させることを目標とする。

2. 実験方法

亜鉛結晶釉の基本調合データに発色剤を添加して混合し、テストピースに施釉する。

焼成方法は1150℃で3時間維持した後、冷却させ1100℃、1050℃の温度で3時間維持させる方法（グラフ7）、1100℃、1050℃で3時間維持した後、1150℃の温度まで昇温させ3時間維持させる方法（グラフ8）で実験を行った。各焼成方法での最高昇温温度で1250℃で30分維持し、以降60分に渡り結晶成長温度まで冷却させた。

3. 結果

Fe₂O₃ 3 %、CuO 1 %、NiO₂ 2 %

酸化鉄3 %、酸化銅1 %、酸化ニッケル2 %を添加したテストピースは、1100℃5時間の結果は（図210）、成長温度を調節した結果は（図241）～（図244）の通りである。全体的に濃い黄色で、結晶部分は濃い緑色である。

1150℃で3時間、1100℃で3時間維持させたテストピース（図241）は、結晶が大きく成長していないが、析出された一つの結晶が結晶核を中心に、二つの温度の特徴を同時に析出している。（図241）－aで1150℃の針状結晶が析出されており、（図241）－bで1100℃特有の扇形結晶が析出された。（図241）－cは、結晶が析出されていない部分である背景部分であり、この部分に生成されたのは結晶核ではなく、発色剤の多量添加により析出されたもう一種類の結晶である。1150℃で3時間、1050℃で3時間維持させたテ

ストピース（図242）は、丸い結晶が生成された。結晶核は確認できず、黒に近い濃い緑色である。1100℃で3時間、1150℃で3時間を維持させたテストピース（図243）は、様々な結晶の形が析出されている。（図243）－aのように結晶核から扇形の形に成長した結晶や、（図243）－bのように針状結晶が析出した部分も観察できる。結晶が生成されていない部分である（図243）－cは、亜鉛結晶ではないと見られる茶色の結晶が背景部分に油が浮いているような形状で析出されている。1050℃で3時間、1150℃で3時間維持させたテストピース（図244）は、テストピースの全面に結晶が大きく成長している。一つの結晶で二つの成長形態を見せており、（図244）－aは、1050℃の成長パターンを示し、（図244）－bは1150℃の針状結晶の成長パターンを示した。結晶核の部分を確認することはできず、各温度帯別の成長パターンに応じて結晶の発色も変化した。

Fe₂O₃ 2 %、MnO 1 %、CuO 3 %

酸化鉄2%、酸化マンガン1%、酸化銅3%を添加したテストピースの結果は、（図245）～（図248）の通りである。全体的に濃い黄緑色を帯び、結晶部分には枠が形成され、結晶が立体的に見える効果も有している。

1150℃で3時間、1100℃で3時間を維持させたテストピース（図245）は、（図245）－aのように結晶が扇形の成長を見せたが、結晶の大きさは大きくない。結晶部分を観察すると、結晶の先端部分に枠が形成され、（図245）－bを見ると結晶の枠は結晶核が生成された時点から析出されていることが分かる。1150℃で3時間、1050℃で3時間を維持させたテストピース（図246）は結晶核から非常に小さく成長した円形結晶が確認できる。

1100℃で3時間、1150℃で3時間を維持させたテストピース（図247）は、結晶が大きく成長し、結晶の枠も観察できる。（図247）－aの部分を見ると、結晶が1100℃特有の扇形で成長しているが、（図247）－bのように、針状結晶が成長したところも存在する。

1050℃で3時間、1150℃で3時間を維持させたテストピース（図248）は、テストピースの

全面に結晶が大きく成長し析出された。（図248）－aは結晶核から1050℃の結晶成長模様を見せ、（図248）－bは1150℃の針状結晶の成長パターンであった。結晶核は確認できず、1050℃の成長パターンを示した部分に、微細な結晶の筋が見られる。1150℃の成長パターンを示した部分を光に照らしてみると、無数に成長した針状結晶が観察できる。

Fe₂O₃ 2 %、MnO 3 %、CuO 1 %

酸化鉄2%、酸化マンガン3%、酸化銅1%を添加したテストピースは、1100℃5時間の結果は（図196）、成長温度を調節した結果は（図249）～（図252）の通りである。全体的に緑が混ざった黄色に発色し、結晶部分はダークブラウンから明るい金色であった。光に照らして見ると、光沢がある。1150℃で3時間、1100℃で3時間を維持させたテストピース（図249）と、1150℃から3時間、1050℃で3時間維持したテストピース（図250）は結晶が大きく成長してはいないが、各温度帯での結晶の形は異なっている。（図249）－aは結晶核を中心に小さな扇形結晶が析出され、明るい茶色に発色する。（図250）－aは円形の結晶が析出され、結晶部分が黒に近い茶色に発色している。1100℃で3時間、1150℃で3時間を維持させたテストピース（図251）と1050℃から3時間、1150℃で5時間を維持させたテストピース（図252）は、テストピースの全面に結晶が大きく成長している。（図251）の結晶析出面を見ると、結晶核の部分である（図251）－aから（図251）－bまでは1100℃の結晶成長のパターンであり、（図251）－cは1150℃の結晶成長パターンである。温度の変化により結晶成長が段階的に行われたことが分かる。（図252）の結晶成長のパターンは（図247）と同じであるが、（図252）－aの部分は1050℃特有の雲形結晶が析出されており、（図252）－bには1150℃特有の針状結晶も観察できる。

Fe₂O₃ 2 %、CuO 1 %、NiO₂ 3 %

酸化鉄2%、酸化銅1%、酸化ニッケル3%を添加したテストピースは、1100℃5時間

の結果は（図209）、成長温度を調節した結果は（図253）～（図256）の通りである。結晶部分は酸化銅と酸化ニッケルの影響を受け濃い青緑色に発色し、背景部分は酸化鉄の影響により黄色～茶色である。亜鉛結晶が析出していない背景部分に金属のラスター釉系統の茶色結晶が析出した。1150℃、1100℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図253）は、結晶が大きく成長はしなかったが、一つの結晶核に2つの結晶模様が析出された。（図253）－aで、小さな針状結晶、（図253）－bで扇形結晶に析出された。（図253）－cを見ると、背景部分に油が浮いているような状態で結晶が析出されており、この部分が金属ラスター系統の釉のように発色している。1150℃、1050℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図254）は、テストピース全体にガラス破片のような結晶が析出しており、亜鉛結晶部分は（図254）－aのように円形結晶が濃い緑色で発色し、析出されている。結晶部分を密に観察すると、濃い緑と赤が混合された発色で、この発色部分に雲形結晶の析出パターンを見せ、雲形から円形に成長している。1100℃、1150℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図255）は亜鉛結晶が成長しており、（図255）－aのような1100℃の扇形結晶成長パターンと（図255）－bのような1150℃の針状結晶成長のパターンを一つの結晶体から同時に観察できる。結晶の先端部分には赤色の結晶の枠が形成されている。1050℃、1150℃で其々3時間維持したテストピース（図256）は、テストピースの全面に結晶が大きく成長した。一つの結晶部分で、温度に応じた結晶の成長の姿が明確に区分される。（図256）－aの部分は1050℃の雲型結晶が成長し、（図256）－bの部分で1150℃の針状結晶が成長した。結晶の成長パターンに応じ、緑色の発色も変化することが観察できた。

Fe₂O₃ 1 %、CuO 2 %、NiO₂ 3 %

酸化鉄1%、酸化銅2%、酸化ニッケル3%を添加したテストピースは、1100℃5時間の結果は（図207）、成長温度を調節した結果は（図257）～（図260）の通りである。全

体的に背景部分は濃い黄緑色、結晶部は濃い藍色に発色する。1150℃、1100℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図257）は結晶核が生成されたが、大きく成長には至らなかった。1150℃、1050℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図258）は、背景のガラス破片結晶と亜鉛結晶が同時に析出された。（図258）－aは小さな扇形結晶が析出され、その扇形が小さく広がっており、円形に近い結晶析出模様をである。（図258）－bは背景部分にガラス破片結晶が生成された部分で、淡い黄緑色であった。1100℃、1150℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図259）は、一つの結晶核から大きく成長した結晶が析出した。背景部分は明るい黄緑色で、結晶部は藍色に発色する。（図259）－aは1100℃の扇形結晶の析出形態を見せ、結晶の筋も観察できる。（図259）－bは、1150℃の針状結晶が析出されており、（図259）－a結晶部分と比較してみると、明るい藍色に発色し、結晶の先端部分に薄い結晶の枠が生じている。1050℃、1150℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図260）は、亜鉛結晶部分と背景結晶部分とが生成されている。（図260）－aの部分で1050℃結晶成長部分に濃い藍色を示し、（図260）－bは1150℃の針状結晶が成長した。（図259）－bと比較すると、針状結晶がより薄く、藍色に黄緑色が混ざった発色を示す。（図260）－cの部分は1050℃の結晶成長の影響を受けず、1150℃の結晶だけが成長した。結晶は成長温度に達しても、結晶核が成長にまで至らない場合もある。結晶成長温度で成長を始めた結晶核は大きく成長するが、成長しない結晶核も存在する。

Fe₂O₃ 4 %、CuO 1 %、NiO₂ 2 %

酸化鉄4%、酸化銅1%、酸化ニッケル2%を添加したテストピースは、1100℃5時間の結果は（図211）、成長温度を調節した結果は（図261）～（図264）の通りである。体的に背景部は黄色、結晶部分は藍色に発色する。（図261）を除いて（図262）～（図264）は、亜鉛結晶が非常に大きく成長しており、結晶の中心部に赤色が混ざった部分もあった。

1150°C、1100°Cで其々 3 時間維持させたテストピース（図261）は（図261）－aのように結晶核は析出されたが、成長までには至らず、結晶核の周りには結晶枠が形成されている。

（図261）－bは（図253）－cで示したように、背景部分にラスター釉系統の背景結晶が析出している。1150°C、1050°Cでそれぞれ 3 時間維持したテストピース（図262）は、亜鉛結晶部分が円形に大きく成長し、紺色に発色している。結晶部分の内側に赤色の結晶が紺色と混ざっていて、赤と紺の雲型結晶の成長パターンで生成している。1100°C、1150°Cでそれぞれ 3 時間維持したテストピース（図263）は、いくつかの結晶核から大きく成長した亜鉛結晶が観察できる。背景部分は（図261）－bのような、背景結晶が無数に析出されている。（図263）－aは1100°Cの結晶成長のパターンであり、全体的に結晶はさほど大きくない。（図263）－bは1150°Cでの結晶成長のパターンである。薄く長く成長した針状結晶であり、結晶の先端部分に褐色の枠が形成されている。1050°C、1150°Cでそれぞれ 3 時間維持したテストピース（図264）は、テストピースの全面に結晶が析出され、全体的に暗い藍色に発色している。暗い藍色の部分は1050°Cで成長した結晶部分であり、（図264）－aが1150°Cから成長した結晶部分である。1150°Cで成長した結晶の部分は小さく、微細な針状結晶が無数に成長したが、形態を持つ結晶ではない。

MnO 4 %、CuO 2 %、NiO₂ 1 %

酸化マンガン 4 %、酸化銅 2 %、酸化ニッケル 1 %を添加したテストピースは、1100°C 5 時間の結果は（図230）、成長温度を調節した結果は（図265）～（図268）の通りである。全体的に緑色に発色し、結晶析出部分は濃い緑色～藍色に発色している。結晶体は結晶成長温度により、大きさが異なる。1150°C、1100°Cで其々 3 時間を維持させたテストピース（図265）は結晶は析出されたがその大きさは大きくなく、結晶の筋が真っ直ぐに伸びている。結晶析出部分を見ると結晶の枠が形成されており、この結晶の枠は（図267）の結晶でも観察することができる。1150°C、1050°Cでそれぞれ 3 時間維持したテスト

ピース（図266）は結晶が成長せず、背景部分に結晶の核が析出されたことが分かる。
1100℃、1150℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図267）は結晶が非常に大きく成長し、温度による結晶の成長模様が観察できる。（図267）-aは結晶の筋は確認できないが、1100℃の成長パターンである扇形の結晶成長模様が観察できる。（図267）-bからは1150℃で見られる針状結晶が長く伸びていることを観察することができ、濃い青緑色と白の針状結晶が析出されている。（図267）-cからは結晶の枠が生じたことが分かる。よく観察してみると明るい青緑色の枠があり、枠と背景部分との間に濃い青緑色の境界線を見ることができる。1050℃、1150℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図268）は、1050度から大きく成長した結晶により（図268）-aのように1150度の針状結晶が非常に少ないが析出されている。

Fe₂O₃ 3 %、MnO 1 %、CuO 5 %

酸化鉄3%、酸化マンガン1%、酸化銅5%を添加したテストピースの結果は、（図269）～（図272）の通りである。全体的に結晶と背景の発色が黒に近い発色である。結晶部分は酸化銅を多く添加した際に見られる結晶の析出形態であった。1150℃、1100℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図269）の結晶である（図269）-aを観察してみると結晶が針状の形で析出され、1100℃の扇形の結晶成長は見られない。1150℃、1050℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図270）は、（図270）-aのように円形の結晶が析出され、細い針状結晶が成長し、結晶の枠が二重に析出されている。結晶核の部分から結晶枠の部分まで伸びた針状結晶部分が半透明であり、背景が少し透けて見える。（図269）と（図270）は、結晶の筋部分は酸化銅を多量添加の際に観察できるラスター系の黒色である。小さな結晶とラスター系の背景発色により、表面に油が浮いているようである。1100℃、1150℃で3時間維持したテストピース（図271）は、（図269）とほぼ同様の結晶が析出され、背景部分のラスター系の光沢が少し減っている。結晶が析出された部分（図

269) -aは、結晶核から針状結晶が析出され、結晶の枠も広く析出されている。1050℃、1150℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図272）は、結晶の発色と背景発色は（図271）と同一であった。他のテストピースと比較すると、結晶が非常に大きく成長した。結晶核は見当たらないが、温度変化による結晶の成長パターンを観察することができる。（図272）-aは1050℃の結晶成長部分、（図272）-bは1150℃の結晶成長部分である。酸化鉄3%、酸化マンガン1%、酸化銅5%を添加したテストピースは、全体的に1100℃では結晶成長においての大きな成果を得ることが出来なかった。しかし、1150℃、1050℃では結晶が析出し、成長した。酸化銅の単独添加の実験で酸化銅の添加量が多くなると1050℃での結晶がよく成長したが、本テストピースも酸化銅を多く添加したことにより、結晶成長における興味深い結果であった。

Fe₂O₃ 5%、CuO 1%、NiO₂ 1%

酸化鉄5%、酸化銅1%、酸化ニッケル1%を添加したテストピースは、1100℃5時間の結果は（図213）、成長温度を調節した結果は（図273）～（図276）の通りである。背景の部分は黄色～茶色、そして赤が混ざった背景結晶が析出され、亜鉛結晶部分は赤と紺に発色する。1150℃、1100℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図273）は、針状結晶が扇形結晶に成長した。全体的な結晶析出形態は扇形であり、結晶の筋が針状形態である。結晶部分は濃い藍色に発色し、結晶枠部分である（図273）-aを観察すると、結晶の枠部分は赤く発色している。1150℃、1050℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図274）は、茶色の背景結晶が析出されており、藍色と赤が混合した円形の亜鉛結晶が析出した。1100℃、1150℃で3時間維持したテストピース（図275）は、1100℃の扇形結晶は成長しておらず、1150℃で観察される針状結晶が目立つ。（図275）-aは針状結晶が析出した場所の周辺に、赤茶色の結晶の筋が生じた部分である。1050℃、1150℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図276）は結晶が大きく成長し、テストピースの全面を

覆っている。結晶は各温度別の成長パターンを示しており、（図276）－aは1050℃の雲形結晶の成長を観察することができ、結晶核を中心に赤い色発色をみせた。（図276）－bは1050℃の針状結晶が滑らかな毛のように成長し析出された。

Fe₂O₃ 2 %、MnO 3 %、Co₃O₄ 0.1%

酸化鉄 2 %、酸化マンガン 3 %、酸化コバルト0.1%を添加したテストピースの結果は、（図277）～（図280）の通りである。全体的にアッシュグリーンの発色を見せる。結晶析出状態は非常に優れており、結晶部分が光に照らすと、シルクのような滑らかな光沢である。結晶の析出されていない背景部分は濁りが発生した。1150℃、1100℃で3時間維持したテストピース（図277）は、結晶核の部分に針状結晶が生成されたように見えるが、全体的な形から見ると扇形結晶が析出された。1150℃、1050℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図278）は、（図277）と比較すると、全体的に背景と結晶部分の発色が濃い。結晶部分は1050℃の結晶成長パターンであるカスミソウ形結晶と雲形結晶が混在して析出された。1100℃、1150℃でそれぞれ3時間維持させたテストピース（図279）は、一つの結晶が大きく成長したことが分かる。（図279）－aの部分は、結晶成長温度1100℃で観察することができる扇形結晶の成長パターンを示し、結晶内での結晶の筋は生じなかった。（図279）－bは1150℃の針状結晶が長くまっすぐに析出されている。1100℃で扇形に成長する形に応じ、針状結晶も扇形に広がって成長している。

MnO 0.5%、CuO 1 %、Co₃O₄ 0.3%

酸化マンガン0.5%、酸化銅 1 %、酸化コバルト0.3%を添加したテストピースは、1100℃5時間の結果は（図238）、成長温度を調節した結果は（図281）～（図284）の通りである。全体的に透明感のある明るい青色の結晶が析出され、結晶の光沢がある。結晶核や結晶の筋が明確であり、成長温度の結晶析出形態を観察しやすい。1150℃、1100℃で

それぞれ3時間維持したテストピース（図281）は、結晶の個々の形状が明確に区分され、青色の結晶が析出された。結晶核から1150℃の針状結晶が析出したことを（図281）－aから確認できる。また、（図281）－aから1100℃の扇形結晶が析出したことを観察することができ、針状結晶の先端から扇形結晶が伸び、結晶が成長する事により生じた結晶の筋がある。1150℃、1050℃でそれぞれ3時間を維持させたテストピース（図282）は、（図281）と同様の結晶の析出形態を示した。結晶核から針形で成長していた結晶が1050℃に到達した時点からカスミソウ形結晶に成長した。（図281）と比べると、結晶の析出形態が平面的である。針状結晶の部分は、（図282）が明確な針状結晶であり、カスミソウ形結晶は非常に少なく析出され、針状結晶の先端部分をよく観察してみないと析出していないように見える。1100℃、1150℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図283）と、1050℃、1150℃でそれぞれ3時間維持したテストピース（図284）は、1050℃の雲形結晶と1150℃の針状結晶が析出している。1150℃の針状結晶の部分である（図283）－aは、結晶の内側に扇形、雲形結晶が成長している。（図283）は、1100℃の扇形結晶が析出されたことにより、生じた結晶の筋が成長していた。（図284）の1050℃結晶部分は、小さなカスミソウ形結晶の密集が雲型結晶に成長しており、結晶核が明確に区別できない。

Fe₂O₃ 4 %、CuO 1 %、Co₃O₄ 0.6%

酸化鉄4%、酸化銅1%、酸化コバルト0.6%を添加したテストピースは、1100℃5時間の結果は（図235）、成長温度を調節した結果は（図285）～（図288）の通りである。全体的に淡い黄緑色に発色し、結晶が成長していない部分に白い濁りが発生した。このテストピースは、他の亜鉛結晶釉のテストとひと味違った結晶の表情を見せる。1150℃から3時間、1100℃、1050℃から3時間焼成したテストである（図285）（図286）は、結晶が扇形と円形に析出されたが、結晶は大きく成長していない。結晶析出形態の変化が際立つテストピースは、1100℃、1050℃から1150℃の成長温度を上げて焼成した（図287）

(図288)である。温度による特徴的な結晶は析出されたが、(図287)－aのように背景部分の濁りが重なり、成長温度による結晶の特徴を観察できない部分が発見された。

(図288)の結晶部分を観察してみると(図288)－aは1050℃の結晶成長パターンである雲形結晶が析出されており、1150℃結晶成長部分である(図288)－bは結晶部分が背景に染みこんだ様な姿で析出されている。

Fe₂O₃ 1 %、MnO 2 %、Co₃O₄ 0.3%

酸化鉄 1 %、酸化マンガン 2 %、酸化コバルト 0.3 %を添加したテストピースは、1100℃ 5 時間の結果は(図232)、成長温度を調節した結果は(図289)～(図292)の通りである。背景部分は青色が混ざった濁った白に発色し、結晶部は非常にはっきりと析出しており、結晶成長温度による結晶の変化を観察するには最良のテストピースである。

1150℃、1100℃でそれぞれ 3 時間維持したテストピース(図289)は一つの結晶が非常に大きく成長し、テストピースのサイズがより大きいと仮定すれば、結晶の大きさが直径 8 ～ 9 cmになったと予想できる。(図289)－aに結晶核から1150℃の針状結晶が成長した部分があり、針状結晶の先端から扇形結晶が成長した事が(図289)－bを見ると分かる。

1150℃、1050℃でそれぞれ 3 時間維持したテストピース(図290)は、(図289)と同様の成長パターンを示した。(図290)－aの部分は1150℃の針状結晶が長くまっすぐに成長し、(図290)－bをみると1050℃の雲形結晶が針状結晶の先端から析出されたことが分かる。

1100℃、1150℃でそれぞれ 3 時間維持したテストピース(図291)も一つの結晶が非常に大きく成長した。結晶核から扇形に成長した結晶が結晶の筋を生成しながら成長し、(図291)－aのように扇形結晶の先端部分から針状結晶が析出した。1050℃、1150℃でそれぞれ 3 時間を維持させたテストピース(図292)は、全面に雲形結晶が成長し、1150℃の針状結晶は析出していない。

MnO 2 %、CuO 8 %

酸化マンガン 2 %、酸化銅 8 %を添加したテストピースの結果は、(図 293) ~ (図 296) の通りである。全体的に黒の発色を見せ、表面はマットである。結晶が生成され成長した部分は凹凸が発生し、結晶の枠が非常に目立つ。(図 293) は、結晶核は生成したが、結晶が大きく成長していなかった。(図 294) は、結晶が成長したが、針状結晶、扇形結晶は(図 294) - a のように小さく成長した。結晶の枠は(図 294) - b のように非常に広く生成されている。(図 295) は目立つ結晶は析出していない。(図 296) は結晶が大きく成長したが、光に照らして見なければ結晶の状態を確認することが困難である。

(図 297) は、(図 296) に光を照らしてみたものである。結晶の中心部に各成長温度の結晶のパターンを観察でき、結晶の枠が広がっている。結晶の凹凸が非常に特徴的で、このような結晶の凹凸化は、酸化銅を多量添加したときに観察できる現象である。

4. 考察

第 2 章では、亜鉛結晶の成長温度に着目し、結晶成長温度の変化による結晶の成長形態変化を観察した。各テストピースの結晶析出の結果は非常に多様でありながら、一定のパターンが存在しており、非常に興味深い結果が導出された。

添加された発色剤が同一の場合でも、結晶成長温度の変化により結晶形状が大きく変化した。一つの結晶の中で、温度に応じて結晶の析出形態は変化し、ほぼすべてのテストピースで同じ結果を示した。結晶析出形態の変化を観察しやすいテストピースの結果は、 Fe_2O_3 1 %、MnO 2 %、 Co_3O_4 0.3 %を添加した(図 289) ~ (図 292) である。結晶の成長状態を観察してみると、結晶成長温度を維持する順番通りに、1150℃では針状結晶、1100℃では扇形結晶、1050℃では雲形結晶が析出された。

結晶の成長は焼成後、冷却する過程から発生する。釉薬が溶融する最高上昇温度から冷却する過程で、結晶核から結晶が成長するのである。本実験を行うにあたり、1150℃で析出した針状結晶が、1100℃、1050℃でゆっくり冷却する過程で扇形、雲形結晶に成長するとの仮説を立てた。この仮説に基づいて考察すると、1050℃に冷却させてから 1150℃に上昇させたとしても、成長を終えた結晶からは針状結晶が析出しないと仮説も立てた。

しかし結晶成長温度を変化させるこの実験を通し、結晶が成長する温度は、それぞれの結晶の成長に影響を与えることが分かる。1150℃で生成された結晶は、1100℃、1050℃に冷却させても針状結晶の形態は変化しておらず、針状結晶の先端から 1100℃、1050℃の扇形結晶、雲型結晶が成長した。1050℃、1100℃から 1150℃に温度を上昇させると、扇形結晶と雲形結晶の先端から針状結晶が析出する。

結晶の成長は成長温度が重要であるが、成長温度を維持する時間も非常に重要である。温度が維持する時間は、結晶が成長するための時間である。第2章での実験は、3時間という一定の温度を二度維持させる実験を行ったが、結晶成長温度を維持する時間を微調整すると、より多様な表現が可能になると考察する。各結晶の成長パターンである針状結晶、扇形結晶、雲形結晶の形を決定するのが温度であり、結晶成長の大きさを決めるのは温度の維持時間である。結晶の芸術的表現を多様化させる方法として、成長温度と維持時間を細かく調節することは一つの表現方法となる。例えば、1100℃で結晶を成長させた後、1150℃と 1050℃の範囲内で温度を上昇、下降させることを繰り返す。このような方法を経る事で、1100℃の結晶成長の先端から 1150℃と 1050℃の結晶が繰り返し析出され、ストライプのような効果を得ることが期待できる。

温度による結晶の模様は、発色剤の添加量によっても変化した。低い温度（1100℃、1050℃）で温度を上昇させた結果では、殆どどのテストピースで扇形、雲形結晶の先端から針状結晶が成長するパターンを示した。高い温度（1150℃）で温度を下降させたテスト

ピースの中で、発色剤の合計添加量が6%以上のテストピースは、針状結晶が完全に析出されていない結果ではないが、低い温度から上昇させた結晶の成長状態と比較すると、結晶の析出効果が良くない。発色剤の添加量による結晶の発色と結晶模様の実験結果は、結晶成長温度の変化実験でも同様である。結晶の筋は発色剤の添加量に応じ、少しずつ異なる析出を見せ、美しい光沢の結晶筋が析出された。発色剤の多量添加により発生する結晶の枠も観察することができる。結晶の枠や筋は成長温度に関係なく、発色剤の添加量に応じて析出した結果であると判断できる。

第2章の実験では結晶成長温度を変化させることにより、結晶の形が複合的に析出されることが分かった。本実験を通し、発色剤添加と共に成長温度の調節を行うと、より多様で美しい結晶を生み出すことが出来ると期待する。

第二部 亜鉛結晶釉の作品制作

1. 制作目的

釉薬をテストピースに用いてテストすることは、最も基礎的な段階である。しかし実際にテストした釉薬を使用した時、テストピースでの結果とまったく同じものが出来上がるとは限らない。焼成の際、釉薬が窯の中で熔融され、器物の形態と重力の影響により、テストとは全く異なった表情が生じる場合もある。テストピースの段階で釉薬の開発と実験が終了するのではなく、器物などに使用した例を「作品」として制作することが重要な段階である。

結晶釉薬は流動性が非常に強い釉薬であり、器、瓶などの形では（図299）のように釉薬が流れ、棚板や器の内側に溜まることが多い。しかし亜鉛結晶釉は、流動性から結晶が生成される特徴を持った釉薬でもある。つまり、流動性を抑制すると結晶が析出しにくく、流動性を抑制しないと結晶は大きく析出するが、釉薬が必要以上に流れてしまう。亜鉛結晶釉を用いた作品は、流動性を制限しないで結晶を大きく成長させる方法で制作する方法が一般的である。筆者の作品も結晶析出のため、流れるように流動性は制限しない。

亜鉛結晶釉は結晶が析出される位置や大きさ、形状を制作者がすべて設定することが非常に難しく、予測不可能な釉薬であり、テストピースと全く同じ形の結晶が析出することは不可能に近いとされている。釉薬としての機能的な部分や芸術的表現はテストピース実験だけでは確認することが出来ない。第二部の研究は、第一部で行ってきた亜鉛結晶釉テストの結果を利用し、予測可能な結晶成長温度の結晶変化と発色剤添加による発色が実用例テストに具現されるかを観察しようとする。様々な結晶が平面のテストピースに限らず、立体的な形にも表現可能であることを実験する。

この実験を通し、本研究で実験を行った釉薬の組み合わせは、テストピースに限らず、実際の器物に再現が可能な釉薬であることを証明する。また、実際に使用することにおい

ての問題点を発見し、その問題点を補完する方法などを提示する。

2. 制作方法

本研究と実験でテストした釉薬調合の中で、釉薬の芸術的表現の可能性が最も優れた釉薬や焼成方法を選定し、制作を行う。作品制作で使用する主な形態は、（図298）のような形態である。この形は、平面と側面が同時に存在する形態であり、実際の皿や器に使用した際の結晶の析出模様や発色変化を同時に観察できる形態である。

焼成方法は、第一部の結果を参考にし、成長温度を調節した。

3. 結果

作品の共通なテーマは「宇宙」「銀河」である。銀河や宇宙を器の中に表現することが制作の目標であり、その表現方法として様々な釉薬を使用してきた。

銀河は宇宙という果てない空間を果てなく旅している。旅の途中に落とした銀河の「かけら」が集まり、器になる。このストーリーを作品テーマして制作を行っている。その為、亜鉛結晶釉を用いた作品の殆どには「宇宙のかけら」や「銀河のかけら」というタイトルをつける。器は銀河を意味し、亜鉛結晶は銀河のかけらを意味する。

3. 1 作品 I - Fe_2O_3 2 %、 MnO 2 % 添加（1100℃— 5 時間）

亜鉛結晶釉の基本的な調合に酸化鉄 2 %、酸化マンガン 2 % を添加し、釉薬を混合した。この釉薬を轆轤成形で作られた皿に施釉し、結晶成長温度 1100℃ で 5 時間維持させる方法で焼成した。結果は、（図300）、（図301）の通りである。

全体的に明るい黄色で発色し、結晶部分は茶色と金色の扇形結晶の成長パターンを示す。表面が滑らかで光沢が非常に優れており、結晶部の凹凸は発見されなかった。皿の

内側に釉薬が集まって結晶がより多く析出された。（図301）のように結晶部分を拡大してみると、結晶核から扇形で成長した結晶を鮮明に区別することができ、結晶が重なり生じた結晶の筋も確認できる。

3. 2 作品Ⅱ－ MnO 1 %、 NiO_2 2 %添加（1100℃－5時間）

亜鉛結晶釉の基本調合に酸化マンガン1 %酸化ニッケル2 %を添加し、混合した。この釉薬を轆轤成形で作られた器に試釉し焼成した。結晶成長温度は1100℃(5時間維持)である。制作の結果は（図302）、（図303）の通りである。

結晶の発色は酸化ニッケルの青い色発色であり、結晶の模様は1100℃の扇形結晶で析出した。器の内側には釉薬が流れて、溜まった部分には結晶核がたくさん析出した。結晶部分を観察すると結晶の筋が縦で析出している。この現象は結晶成長の際、結晶釉が器の内側に流れる過程で生じた模様だと考えるられる。結晶の核から黄色の発色があり、ニッケル特有の青色発色により豊かな光沢をもたらす。

3. 3 作品Ⅲ－ Fe_2O_3 5 %、 CuO 1 %、 NiO_2 1 %（1150℃－5時間）

亜鉛結晶釉の基本調合に酸化鉄5 %、酸化銅1 %、酸化ニッケル1 %を添加し、混合した。この釉薬を轆轤成形で作られた器に試釉し焼成した。結晶成長温度は1150℃(5時間維持)である。結果は（図304）、（図305）の通りである。

結晶は1150℃の針状結晶に成長した。結晶や背景の色は茶色が強いが、（図305）を見ると、発色は非常に多様である。結晶は茶色く発色し、結晶枠は黄色に発色する。器の内側に釉薬が流れる際に作られた縦の線が生じ、黄色や紫などの発色が多彩である。（図305）－aの結晶は釉薬が流れガラス質が薄くなった部分であり、結晶の発色が茶色になっている。（図305）－bは釉薬が溜まった部分であり、結晶には黄色の枠が生じた。釉薬の厚さによって結晶の模様が変化することが分かる。結晶は多く析出してないが、神秘

的な背景の発色グラデーションが印象的である。

3. 4 作品Ⅳ－MnO 1 %、CuO 1 %添加（1150℃－2時間、1100℃－3時間）

亜鉛結晶釉の基本調合に酸化マンガン1 %、酸化銅1 %を添加して釉薬を混合した。この釉薬を轆轤成形で作られた器に施釉し、2種類の結晶成長温度を変化させるパターンで焼成した。焼成方法は、結晶成長温度1150℃で2時間、1100℃で3時間を維持させる方法である。結果は（図306）、（図307）の通りである。

全体的に透明で明るい緑色に発色し、結晶析出部分は黄緑色と濃い緑色である。表面は光沢が非常に優れており、器の内側には流れた釉薬が集まり、結晶が多数析出し、多少釉薬が溶融されていない部分も生じた。結晶部分を拡大した（図307）を観察してみると、（図307）－aの結晶核の部分から（図307）－bのように1150℃の針状結晶が四方に伸びて析出した。針状結晶から（図307）－cの部分まで1100℃の結晶成長を見せ、（図307）－cから（図307）のdまでの過程で、線のような縞模様が生じた。これは、1100℃で3時間を維持させる途中、1080℃まで温度が下がった時の結晶部分である。再び1100℃に昇温させ、温度を維持させた部分が（図307）－dである。温度に応じ、結晶の析出形態は、非常に敏感に反応することが分かる。温度を微調整する方法で、同じ結晶の中で様々な形や縞模様を導出させることが可能となる。1100℃維持部分で縦の縞模様が発生した部分は、釉薬が内側に集まる際に生じた縞であると判断できる。

3. 5 作品Ⅴ－Fe₂O₃ 2 %、MnO 3 %、CuO 1 %（1100℃－3時間、1150℃－3時間）

亜鉛結晶釉の基本的調合に酸化鉄2 %、酸化マンガン3 %、酸化銅1 %を添加して釉薬を混合した。この釉薬を轆轤成形で作られた皿に施釉して焼成した。焼成方法は、1100℃で3時間維持し、1150℃で3時間を維持する方法である。結果は、（図308）、（図

309) の通りである。

釉薬を厚く施釉し焼成したもので、釉薬が溜まった部分は完全には溶融されていない。結晶が析出されていない部分は不透明な黄色に発色し、結晶部分は黄色と茶色に発色している。結晶部分を拡大した（図309）を観察すると、結晶の析出形態が非常に多様である。（図309）－aは、1100℃の扇形結晶の成長パターンであり、焼成時、1100℃の温度維持時間帯の温度範囲を1085℃～1115℃に設定し、継続的に温度を変化させた。この焼成方法により、結晶に数多くの縞模様が生じた。1150℃の結晶成長のパターンは、（図309）－bであり、1150℃に昇温させた後、温度の範囲を1145℃～1160℃に設定し、焼成した。これにより1100℃の結晶に生成された縞模様が、1150℃の針状結晶にも生成された。

3. 6 作品VI－Fe₂O₃ 2 %、MnO 1 %、CuO 2 %（結晶成長温度 微調節）

亜鉛結晶釉の基本調合に酸化鉄2 %、酸化マンガン1 %、酸化銅2 %を添加し、混合した。この釉薬を轆轤成形で作られた皿に試釉し焼成した。結晶成長温度は1100℃で4時間維持し、1150℃で2時間である。結果は（図310）、（図311）であり、結晶の成長温度1100℃で温度を微調節することにより、扇形結晶成長部分に模様が作られた。温度を微調節は1085℃～1140℃であり、（図308）の微調節より温度が高い。1100℃の結晶模様と1050℃の結晶模様は各温度による成長の模様はが少し違うが、結晶の筋が生じる模様が非常に似ている。1100℃、1050℃の結晶と1150℃の結晶模様には結晶が析出された部分から見られる結晶筋の有無が大きな差である。

（図309）と（図311）の温度微調節部分を観察すると、微調節する温度の範囲によって結晶の景色が変わることが分かる。（図309）は温度微調節部分のストライプが柔らかく感じられる。（図311）は（図309）と比較し、温度微調節による結晶のストライプが明確である。結晶が温度の微調節を用いることで、結晶に多様な表情を析出させることが出来た。結晶の成長温度を微調節する際、温度の範囲を決めることは意図的な結晶の表情を

生み出すことができるいい方法であると考える。

3. 7 作品Ⅶ－亜鉛結晶釉 複合施釉①

作品Ⅶと作品Ⅷは亜鉛結晶釉と結晶釉ではない釉薬を同じ器に施釉した。作品Ⅶは結晶釉の流動性を想定し、器の耳と内側の境界線部分に亜鉛結晶釉を少し厚めに施釉した。

亜鉛結晶釉の基本調合に酸化鉄 5 %、酸化銅 1 %、酸化ニッケル 1 %を添加し、混合した。試釉方法は器の内側に白マット釉薬を試釉し、器の耳(平たい部分)には亜鉛結晶釉(発色剤添加)を試釉する方法である。焼成方法は1150℃で5時間維持させる方法であり、その後1100℃まで30分かけてゆっくり冷却させた。

亜鉛結晶釉を施釉した部分（図313）には1150℃の針状結晶が析出され、結晶の先端部分が赤色発色で少し太くなっている。ゆっくり冷却させたことによって発生した結晶析出だと考えられる。白マットを施釉した部分は、結晶釉が流れた痕跡が残っているが、結晶は析出していない。発色から考えると、結晶釉は器の内側に沿って流れ、底の部分まで到達したとみられる。

3. 8 作品Ⅷ－亜鉛結晶釉 複合施釉②

亜鉛結晶釉と黒釉を複合試釉した結果は（図314）の通りである。亜鉛結晶釉に添加された発色剤は酸化コバルト0.3%である。試釉方法は皿の半分を黒釉で試釉し、残りの半分に亜鉛結晶釉を試釉した。結晶釉と黒釉は少し重なるように試釉し、重なった部分の発色や結晶析出の有無を観察しようとした。焼成方法は1100℃で5時間維持させる保父王である。

結晶は鮮明な青色で発色し、結晶が析出していない背景の部分まで酸化コバルトの発色が及んだ。結晶は扇形結晶で大きく成長し、結晶の筋が細かく、光沢が優れる。黒釉の部分は漆のような黒色であり、冷却酸化焼成による銀色のパール結晶が生じた。結晶と黒

釉の境界面の拡大(図315)を観察すると、青色の結晶発色が黒釉の影響を受け、一部黒くなっている。結晶は黒釉と重なる部分から成長が抑えられた。結晶析出が抑えられた亜鉛結晶釉は青色の濁りとなり皿の内側に流れていく痕跡が残っている。

結 論

本論文では、釉薬の持つ芸術性に着目した。釉薬は陶芸の装飾方法の中で、芸術性を向上させる最も良い手段である。釉薬は、過去から現在まで数多くの研究と実験を通じて発展してきた。数多くの釉薬の中で結晶釉は流動性が強く、焼成方法の調整が難しいなど、非常に扱いにくい釉薬の一つである。しかし、釉薬で表現できる芸術的価値が高いため、現在も開発が進められている。筆者は本論文の研究を通し、亜鉛結晶釉の活用性を高め、結晶の多様な芸術的表現の可能性を提示することを目標とした。

第一部では、亜鉛結晶釉に発色酸化物を添加する実験を行った。発色剤の添加により結晶発色が変化することを観察し、添加量に対する結晶の析出形態を分析した。発色剤添加と共に、結晶が成長する温度による結晶形の変化を観察した。結晶が成長させるために設定した温度は、1150℃、1100℃、1050℃である。各成長温度で5時間維持した結果、1150℃では針状結晶、1100℃では扇形結晶、1050℃ではカスミソウ、雲形結晶にそれぞれ析出された。

各発色剤の添加量に応じ、結晶部分と背景部分の発色が変化した。酸化マンガン、酸化鉄、酸化銅の発色効果は結晶と背景部分の両方に影響を及ぼした。添加量が少量であるほど、結晶核が多く析出され、5%以下添加の場合、結晶が大きく成長した。5%以上添加の場合、結晶の枠が析出されるなど、特殊な結晶の析出形態を観察することができた。酸化ニッケルは結晶発色と背景発色が異なるという結果が導出され、添加量が多くなるにつれ、釉薬自体が結晶化され、亜鉛結晶と見られる結晶は析出しなかった。発色剤を複数添加する実験では、発色剤の基本的な発色効果が互いに影響を与える事が発見できた。発色剤の添加量がそれぞれ1～2%の場合、それぞれの結晶発色が混合した発色効果であった。3%以上添加した場合、単独添加5%以上で観察することのできた特殊な結晶の形（結晶の筋、枠など）が析出されるなど、予測可能な範囲を超えた結晶の析出を観察できた。3種類の発色剤を添加した結果、添加量が多くなると、結晶の中で添加された発色

剤が相互に影響を与え、様々な色に発色した。

発色剤を添加する実験で酸化コバルトを添加すると、結晶の透明度が高くなり発色が非常に鮮明になった。しかし、酸化コバルトの添加量が多くなると、結晶核が過剰に発生し釉薬の表面が溶融されないという現象が起きた。この結果の基、酸化コバルトの添加量を1%以下に設定しテストを行った。酸化ニッケルの青発色は結晶のみで発生するのと比較し、酸化コバルトの発色は結晶と背景の両方で青に発色する。他発色剤と混合すると、互いの発色特徴を消すことのない美しい青発色を見せる。

発色剤による結晶発色の実験結果の基、結晶が成長する温度による結晶模様の析出パターンを利用し、結晶成長温度を変化させる研究を行った。温度の変化は大きく1150℃から1100℃、1050℃に温度を下降させる方法、1100℃、1050℃から1150℃に温度を上昇させる方法で実験を行った。その結果、1150℃から針状結晶が生成され、結晶が成長した先端から1100℃、1050℃の扇形結晶、雲形結晶が成長した。1100℃、1050℃から1150℃に温度を上昇させると、扇形結晶と雲形結晶の先端から針状結晶が析出した。結晶成長温度の維持時間により、結晶成長の大きさが変わり、各温度に応じた成長形態が忠実に再現されることが分かった。この現象を利用すると結晶が析出される形態や模様をより一層多様化することができると考察する。

第2部では亜鉛結晶釉薬を実際の器形に試釉し焼成した。テストピースのような平面に限らず、器のような立体でも結晶が析出することを観察しようとした。制作した実施用例（作品）は第1部から得られたテストピースの結果の基、発色剤の添加や焼成方法の実験データを総合的に用いて制作を行った。

結果、釉薬が制作した形に添って流れる過程で結晶が析出された。流動性が強いため、器の内側に釉薬が溜まり、結晶核密集によるマット化が進んだ部分もある。発色剤による発色効果や結晶成長温度による結晶の析出は、作品全般で充実に再現されている。結晶釉薬のテストピースと比較すると、釉薬の流れによりガラス質の厚さに変化が生じる事から

結晶析出にも変化があった。

亜鉛結晶釉と他の釉薬と混合使用した作品は、結晶釉が流れる現象により発色の変化があった。釉薬が重なって試釉された部分はお互いに発色の影響があり、結晶は析出しなかった。各釉薬の流動性の相違な特徴を生かし、焼成の際に混ぜ合うように試釉した事で自然な発色のコントラストやグラデーションを生み出すことができた。

亜鉛結晶釉が実際の作品などに用いると、結晶が析出するまで多くの変数が作用する。釉薬の流動性、焼成方法、釉薬の厚さ、作品の形、冷却方法などにより、結晶が析出するまで多くの過程が関わる。テストピースでは安定した結晶が析出しても、実際の使用過程で様々な変数により失敗することが多い。だが、このような問題点を制作方法として利用すると、一つの釉薬からは表現できない様々な表情の作品を生み出すことができる。

本研究を通し、亜鉛結晶が生成され成長する過程での発色や結晶形の多様化の例をテストピースとして提示した。そして、テストピースの結果の基、作品の制作を行った。陶芸産業において、本研究が亜鉛結晶釉薬の多様な可能性を高め、芸術的な表現形式として、活用できることを期待する。

注

-
- ¹ 素木洋一 1996『陶芸のための理学』平河工業社、65 p ～73 p
 - ² 素木洋一 1996『陶芸のための理学』平河工業社、34 p ～44 p
 - ³ 素木洋一 1991『釉とその顔料』技報堂出版社、92 p ～109 p
 - ⁴ 李 智娟 2011「아연결정유 의 결정성장 및 발색기구에 관한 연구 亜鉛結晶釉の結晶成長と発色に関する研究」韓国、明治大学大学院、博士学位論文
 - ⁵ 素木洋一 1991『釉とその顔料』技報堂出版社、194 p
 - ⁶ 大西政太郎 2003『陶芸の釉薬』理工学社、219 p
 - ⁷ 素木洋一 1991『釉とその顔料』技報堂出版社、541 p
 - ⁸ 大西政太郎 2003『陶芸の釉薬』理工学社、218 p ～220 p
 - ⁹ 津坂和秀 2004『釉薬基礎ノート』双葉社、34 p

引用文献

- ・ 津坂和秀 2004『釉薬基礎ノート』双葉社、34 p

参考文献

- ・ 佐藤雅彦 1978『中国陶磁史』平凡社
- ・ 金炳億 1979「天目釉에 관한 연구」韓国・弘益大學校大學院、修士学位論文
- ・ 素木洋一 1991『釉とその顔料』技報堂出版社
- ・ 채희정 1993「결정유 문양생성에 관한 연구 結晶釉生成に関する研究」효성여자대학교、修士学位論文
- ・ 이진성 1999『도자공예개론 陶磁工芸概論』반도출판사
- ・ 素木洋一 1996『陶芸のための理学』平河工業社
- ・ 大西政太郎 1997『やきものと釉薬』理工学社
- ・ Diane Creber 1997『Crytalline Glaze』Wilton Pottery』
- ・ 矢部良明 1998『日本やきもの史』美術出版社
- ・ 西田宏子・佐藤サアラ 1999『中国の陶磁』第六巻 天目、平凡社
- ・ 다니엘로드 1999『도예가를 위한 점토와 유약 陶芸家のための粘土と釉薬』翻訳이부연 외、한양대학교 출판부
- ・ 글렌 C. 넬슨 2001『도자예술 陶磁芸術』미진사
- ・ 金銀熙 2001「아연결정유에 관한 연구 亜鉛結晶釉に関する研究」韓国・明知大学大学院、修士学位論文
- ・ 津坂和秀 2003『やきものをつくる釉薬応用ノート』株式会社双葉社
- ・ 박광성 2003『유약실습 釉薬実習』요업기술원,
- ・ Neal French 2003『The Potter's Encyclopedia of Color, Form and Decoration』Quarto Inc.
- ・ 大西政太郎 2003『陶芸の釉薬』理工学社
- ・ 津坂和秀 2004『釉薬基礎ノート』双葉社
- ・ 황성연 2004「금 결정유에 관한 연구 金結晶釉に関する研究」한양여자대학교、修士学位論文

- 하태훈 2007 「아연결정유를 이용한 도자 연구 亜鉛結晶釉を用いた陶磁器研究」 慶熙大學大學院、修士學位論文
- 이복례 2008 「고화도 Frit를 사용한 아연결정유 연구 高火度Fritを用いた亜鉛結晶釉研究」 韓國・明知大學校、修士學位論文
- 이규선 2008 「산화니켈(NiO)과 산화망간(MnO₂)을 이용한 색유약 발색연구 酸化ニッケル(NiO)と酸化マンガン(MnO₂)を利用した発色研究」 韓國・明知大學大學院、博士學位論文
- 앤서니 퀸 2009 『도자 디자인 스쿨 陶磁デザインスクール』 미진사
- 鄭 鍾 2010 「천목다완 소지 및 유약연구 天目茶碗の素地と釉薬研究」 韓國・明知大學大學院、博士學位論文
- 李 智娟 2011 「아연결정유의 결정성장 및 발색기구에 관한 연구 亜鉛結晶釉の結晶成長と発色に関する研究」 韓國、明知大學大學院、博士學位論文
- 손숙희 2011 「도판 위의 색유약 연구 タイルの色釉薬研究」 韓國・明知大學校、修士學位論文
- 横山直範・田口肇 2013 『신기술 유약배우기 新技術釉薬学び』 翻訳김재광, 슬과학
- 이병하 2014 『나만의 유약 만들기 - 종합편 自分の釉薬作り-総合編』 도서출판 예경

資料a. 表

表 1 亜鉛結晶釉調合比 (%)

長石	53.0
石灰石	11.5
亜鉛華	24.2
珪石	11.3

表 2-1 2種類発色剤添加比 Fe_2O_3 、CuO (%)

	Fe_2O_3	CuO
①	1	1
②	1	2
③	2	1
④	2	2

表 2-2 2種類発色剤添加比 Fe_2O_3 、MnO (%)

	Fe_2O_3	MnO
①	1	1
②	1	2
③	2	1
④	2	2

表 2-3 2種類発色剤添加比 Fe_2O_3 、 NiO_2 (%)

	Fe_2O_3	NiO_2
①	1	1
②	1	2
③	2	1
④	2	2

表 2-4 2種類発色剤添加比 CuO、MnO (%)

	CuO	MnO
①	1	1
②	1	2
③	2	1
④	2	2

表 2-5 2種類発色剤添加 CuO、 NiO_2 (%)

	CuO	NiO_2
①	1	1
②	1	2
③	2	1
④	2	2

表 2-6 2種類発色剤添加比 MnO、 NiO_2 (%)

	MnO	NiO_2
①	1	1
②	1	2
③	2	1
④	2	2

表 3－1 3 種類発色剤添加 Fe₂O₃、MnO、CuO (%)

Fe ₂ O ₃	MnO	CuO
1	1	1
1	1	2
1	2	1
1	2	2
2	1	1
2	1	2
2	2	1
2	2	2
4	2	1
2	3	1
1	2	3
1	2	4

表 3－2 3 種類発色剤添加比 Fe₂O₃、CuO、NiO₂ (%)

Fe ₂ O ₃	CuO	NiO ₂
1	1	1
1	1	2
1	2	1
1	2	2
2	1	1
2	1	2
2	2	1
2	2	2
1	2	3
1	4	3
2	1	3
3	1	2
4	1	2
4	2	1
5	1	1

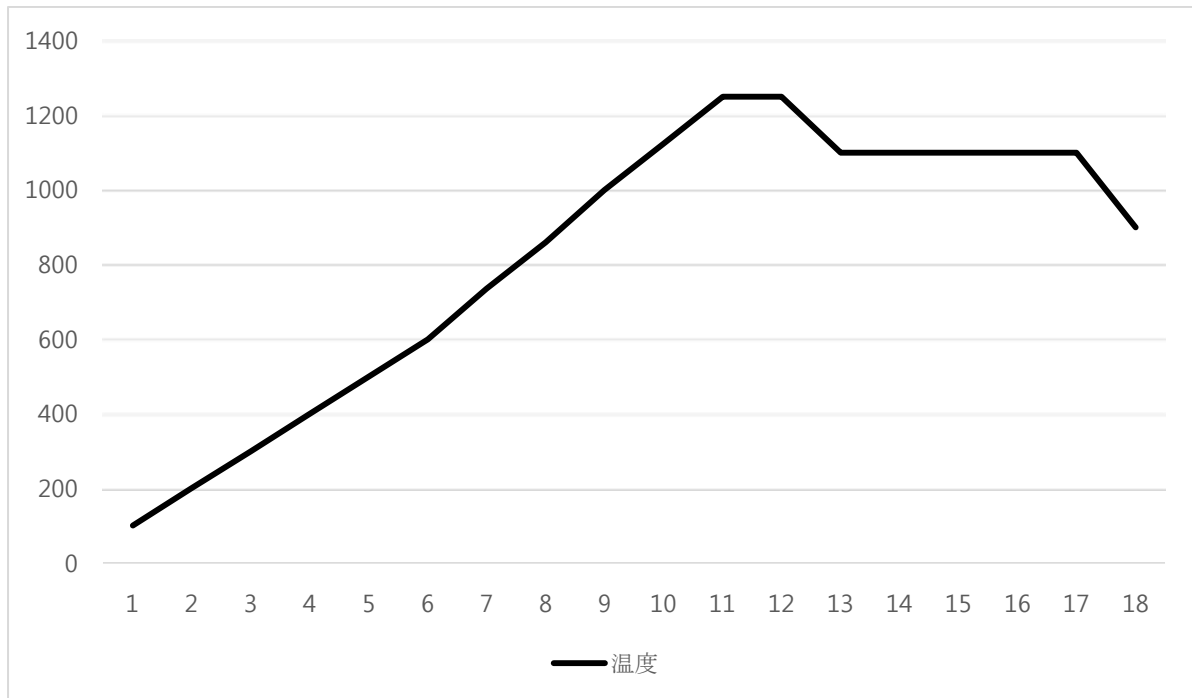
表 3－3 3 種類発色剤添加比 Fe₂O₃、NiO₂、MnO (%)

Fe ₂ O ₃	NiO ₂	MnO
1	1	1
1	1	2
1	2	1
1	2	2
2	1	1
2	1	2
2	2	1
2	2	2

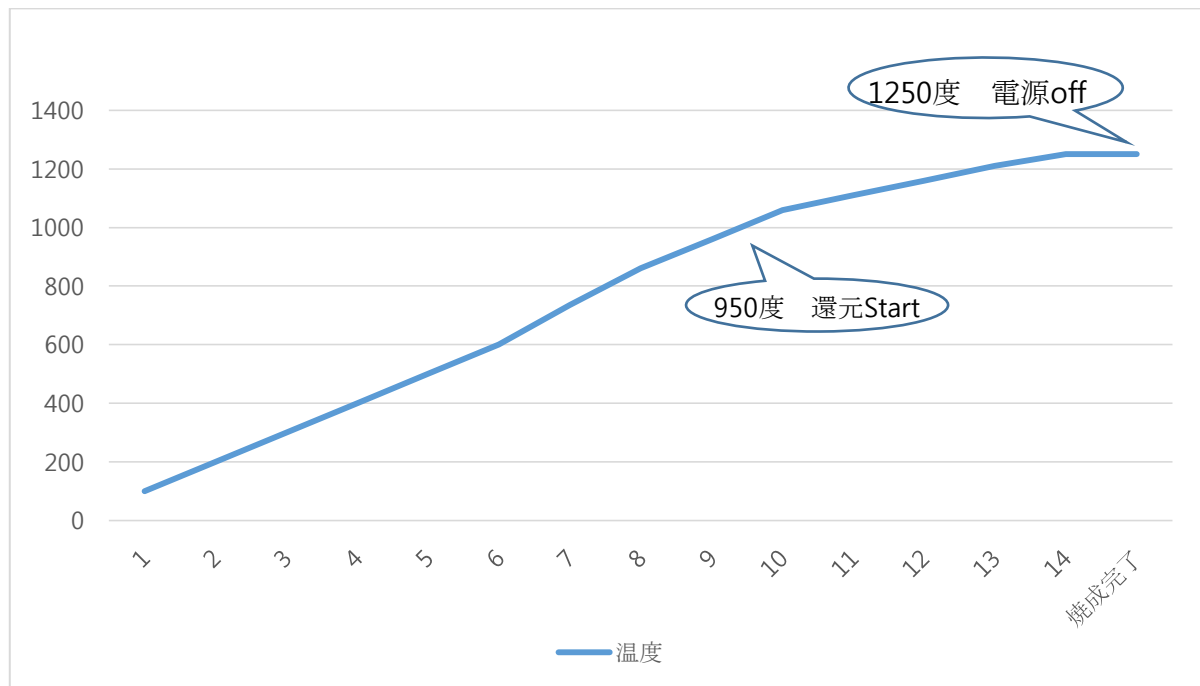
表 3－4 3 種類発色剤添加比 MnO、NiO₂、CuO (%)

MnO	NiO ₂	CuO
1	1	1
1	1	2
1	2	1
1	2	2
2	1	1
2	1	2
2	2	1
2	2	2
4	1	2

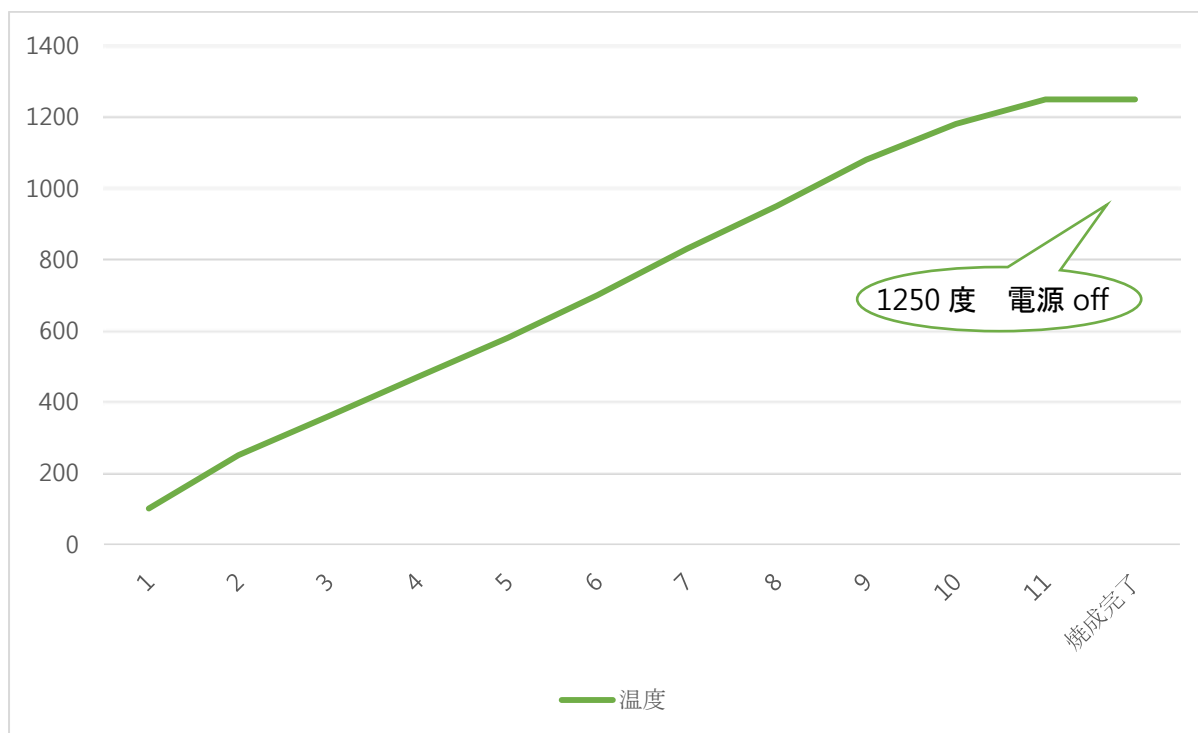
資料b. 焼成グラフ



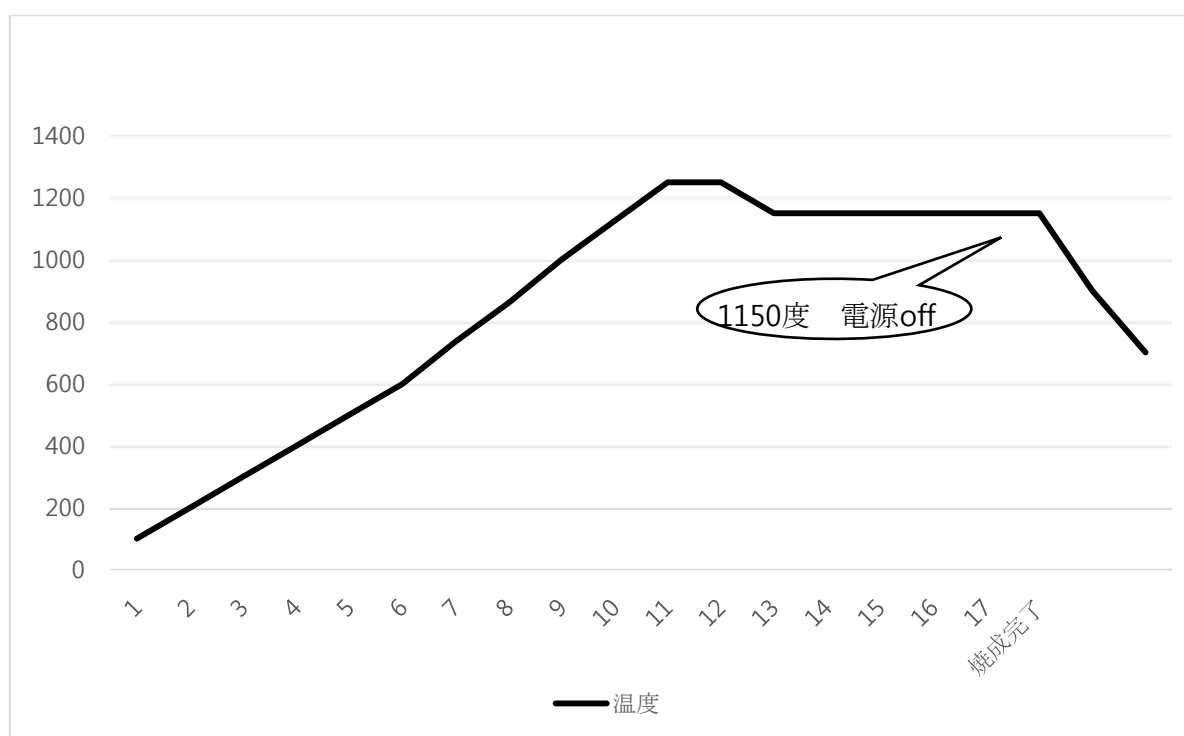
(グラフ 1) 基本亜鉛結晶釉薬 冷却酸化焼成



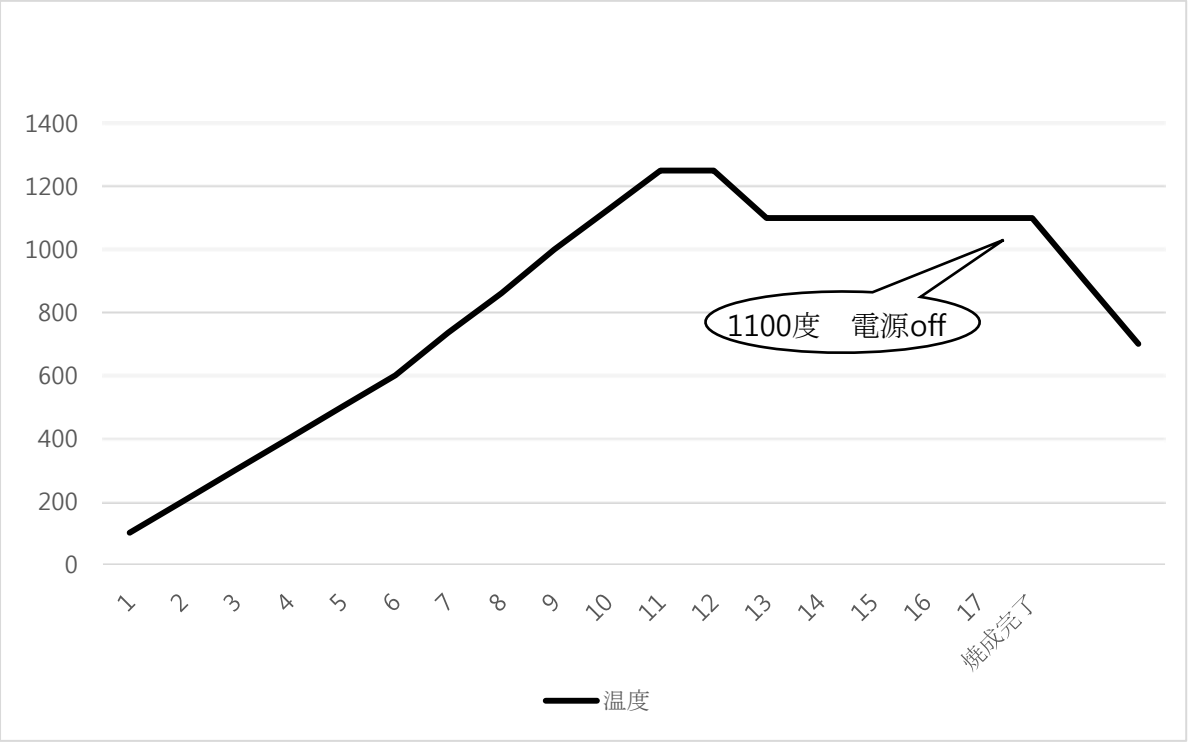
(グラフ 2) 還元焼成



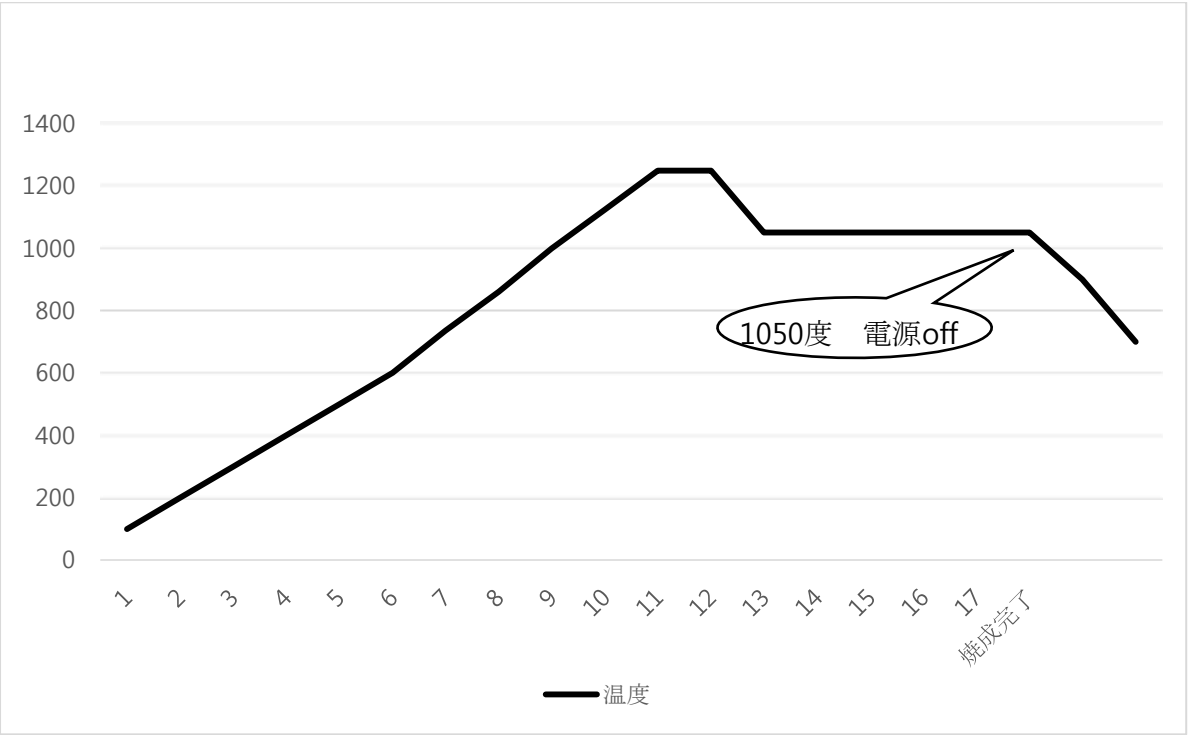
(グラフ3) 酸化焼成



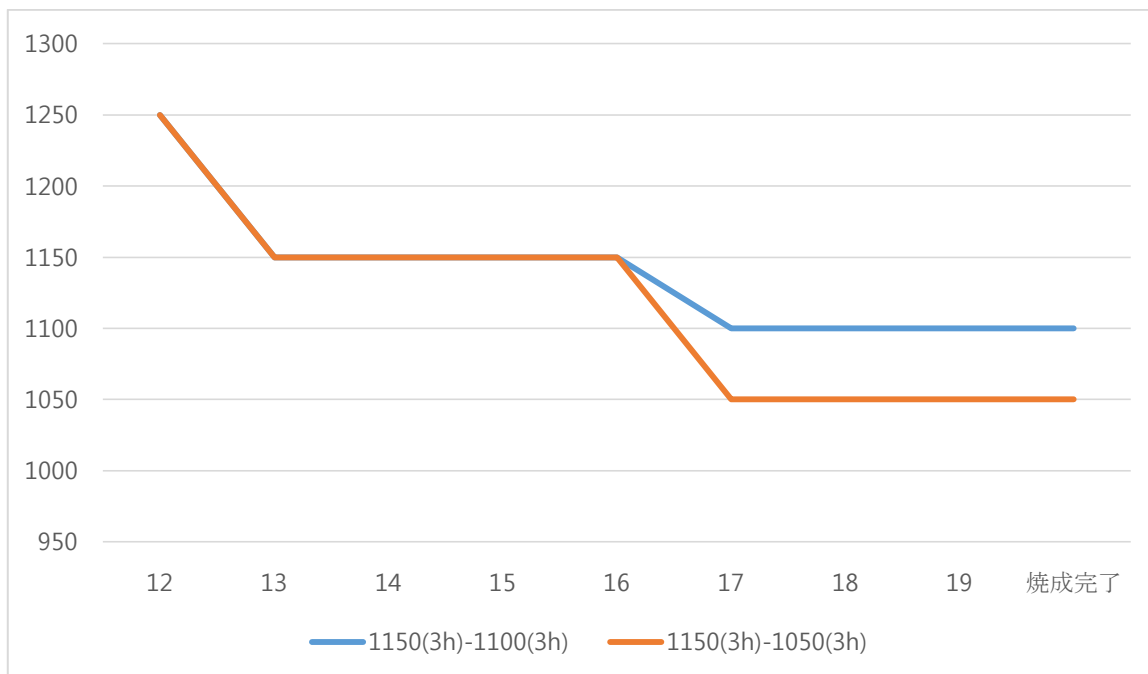
(グラフ4) 冷却酸化焼成 1150°C - 5h



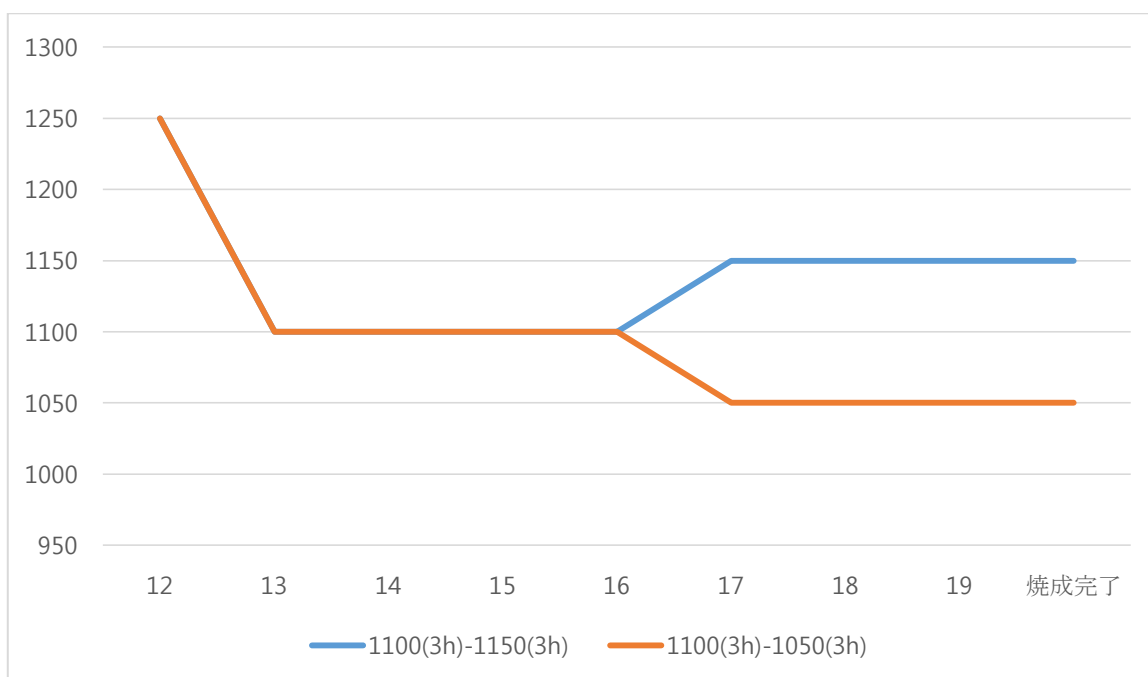
(グラフ5) 冷却酸化焼成 1100°C - 5h



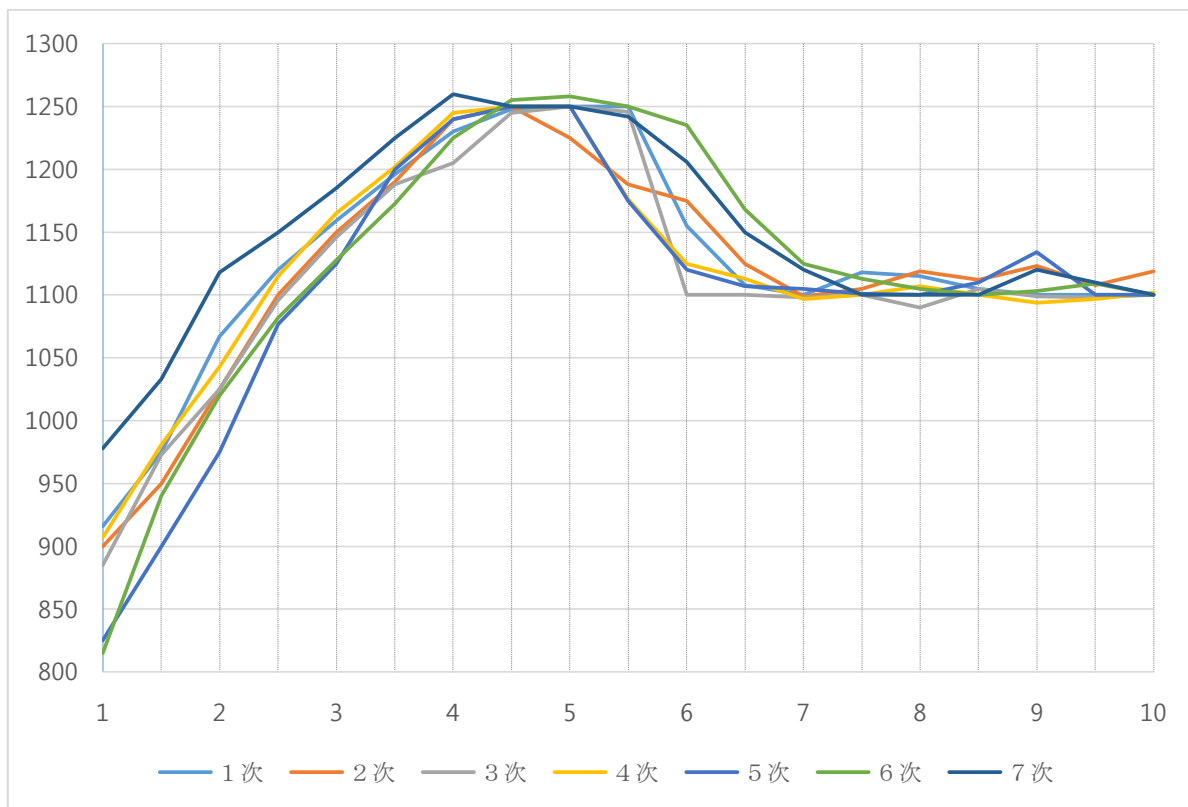
(グラフ6) 冷却酸化焼成 1050°C - 5h



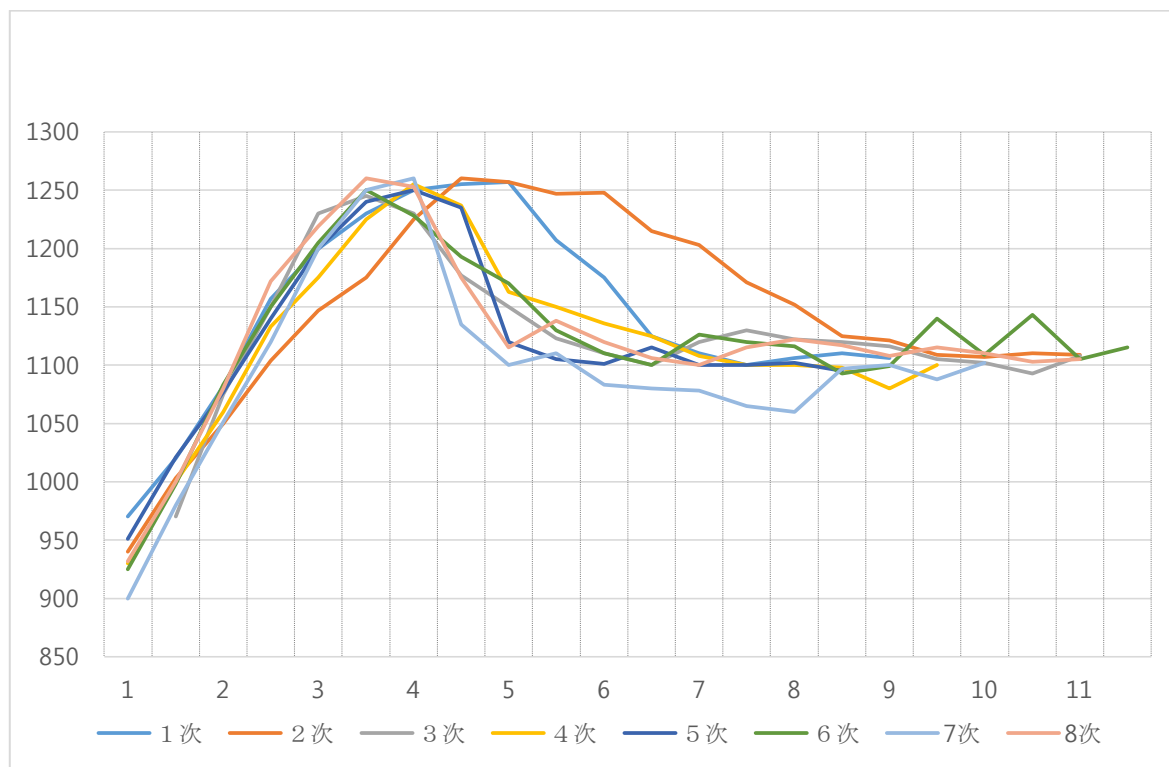
(グラフ 7) 結晶成長温度による結晶析出変化①



(グラフ 8) 結晶成長温度による結晶析出変化②



(グラフ9) 焼成累積データ(2013～2014年)



(グラフ10) 焼成累積データ (2015年)



(図 1) 1200℃で焼成した煅焼亜鉛



(図 2) 播潰機



(図 3) 釉薬テストのため 100gづつ配合



(図 4) 配合した釉薬を乳鉢に入れ混合



(図 5) テストピース施釉



(図 6) 5kw電気窯



(図 7) 亜鉛結晶 基本調合 Test



(図 8) 亜鉛結晶釉 還元焼成 (1250度)



(図 9) 亜鉛結晶釉 酸化焼成 (1250度)



(図10) 亜鉛結晶釉 1150℃ (5時間)



(図11) 亜鉛結晶釉 1100℃ (5時間)



(図12) 亜鉛結晶釉 酸化焼成後 冷却酸化焼成



(図13) MnO 0.5% (1150°C—5時間)



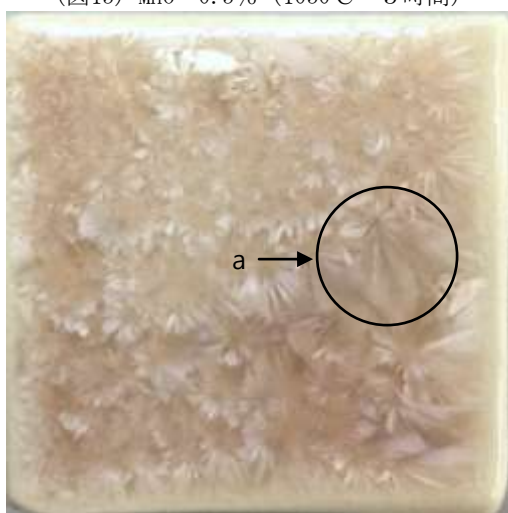
(図14) MnO 0.5% (1100°C—5時間)



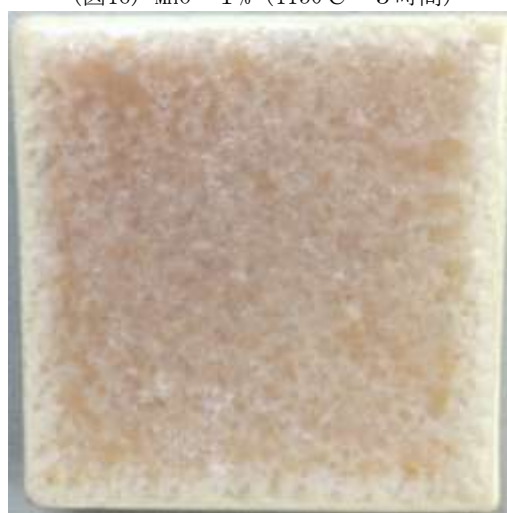
(図15) MnO 0.5% (1050°C—5時間)



(図16) MnO 1% (1150°C—5時間)



(図17) MnO 1% (1100°C—5時間)



(図18) MnO 1% (1050°C—5時間)



(図19) MnO 2% (1150°C—5 時間)



(図20) MnO 2% (1100°C—5 時間)



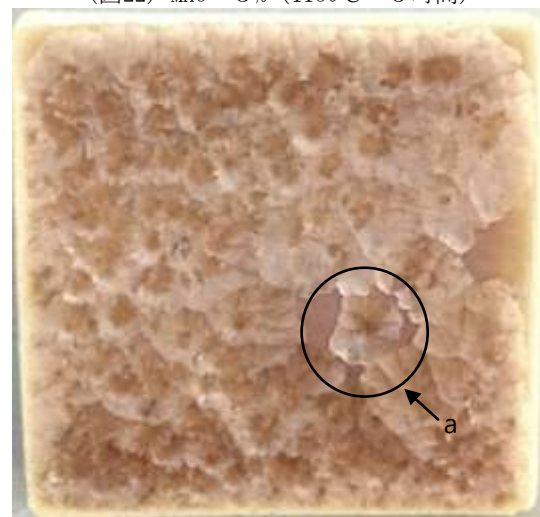
(図21) MnO 2% (1050°C—5 時間)



(図22) MnO 3% (1150°C—5 時間)



(図23) MnO 3% (1100°C—5 時間)



(図24) MnO 3% (1050°C—5 時間)



(図25) MnO 4% (1150℃—5時間)



(図26) MnO 4% (1100℃—5時間)



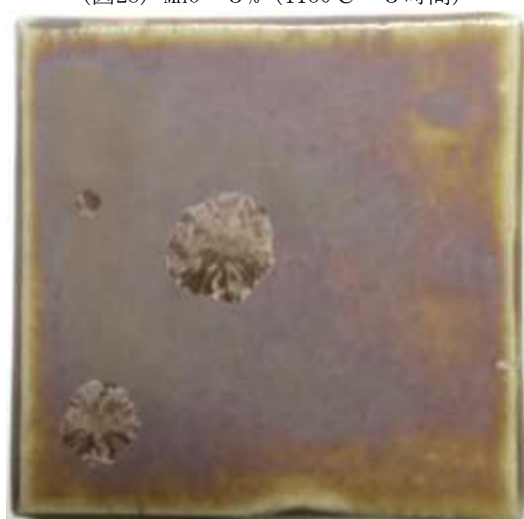
(図27) MnO 4% (1050℃—5時間)



(図28) MnO 5% (1150℃—5時間)



(図29) MnO 5% (1100℃—5時間)



(図30) MnO 5% (1050℃—5時間)



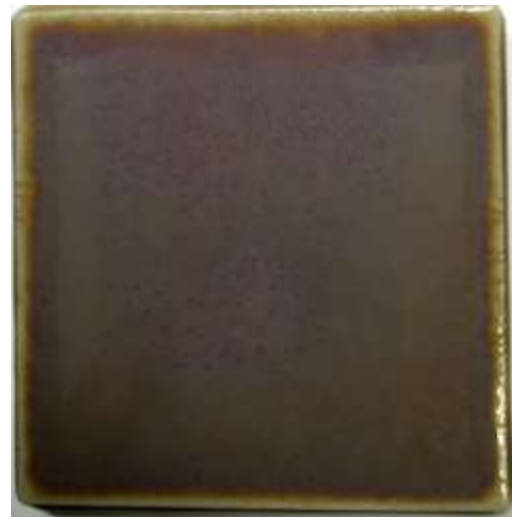
(図31) MnO 6% (1150°C—5時間)



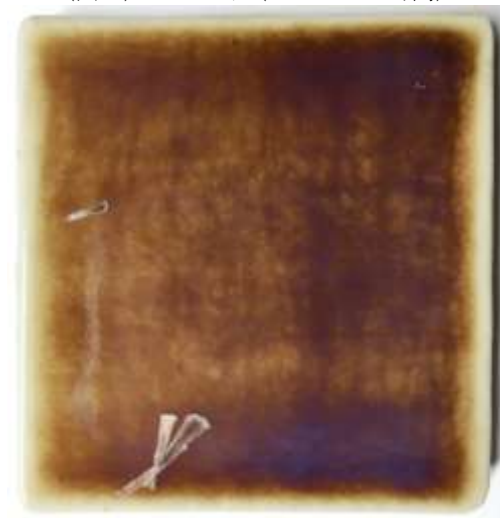
(図32) MnO 6% (1100°C—5時間)



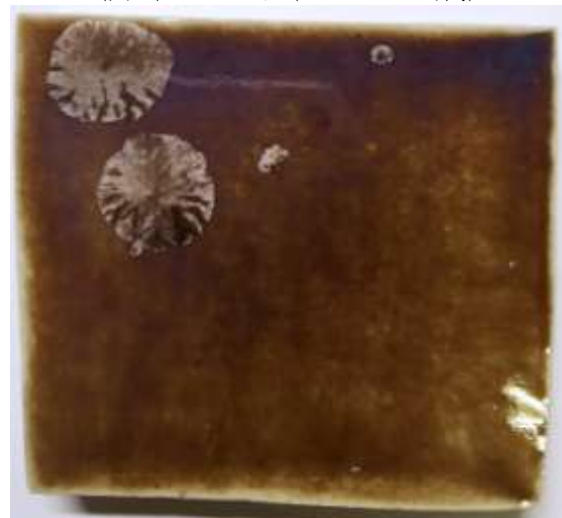
(図33) MnO 6% (1050°C—5時間)



(図34) MnO 7% (1150°C—5時間)



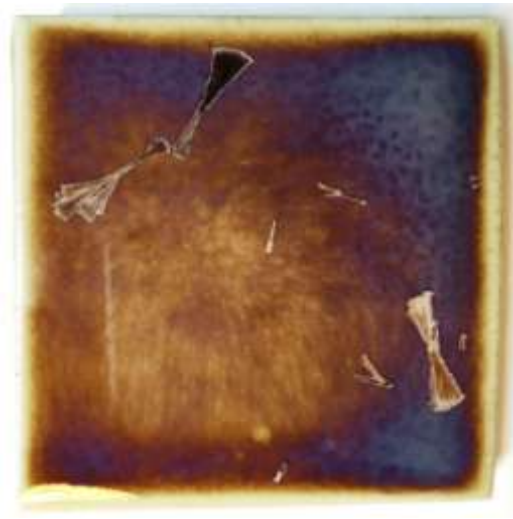
(図35) MnO 7% (1100°C—5時間)



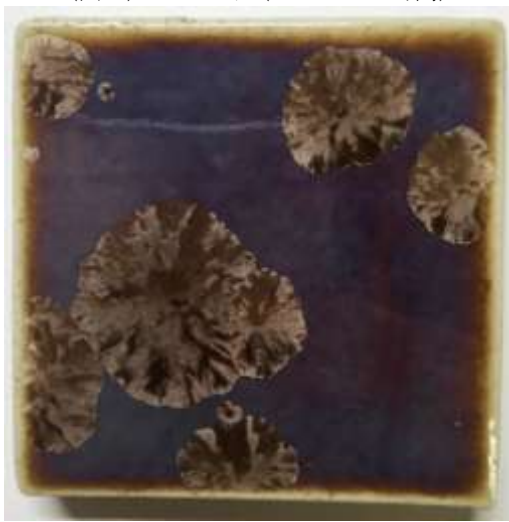
(図36) MnO 7% (1050°C—5時間)



(図37) MnO 8% (1150°C—5時間)



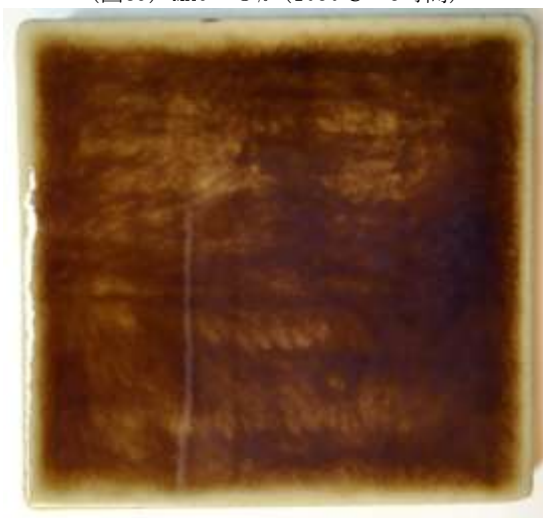
(図38) MnO 8% (1100°C—5時間)



(図39) MnO 8% (1050°C—5時間)



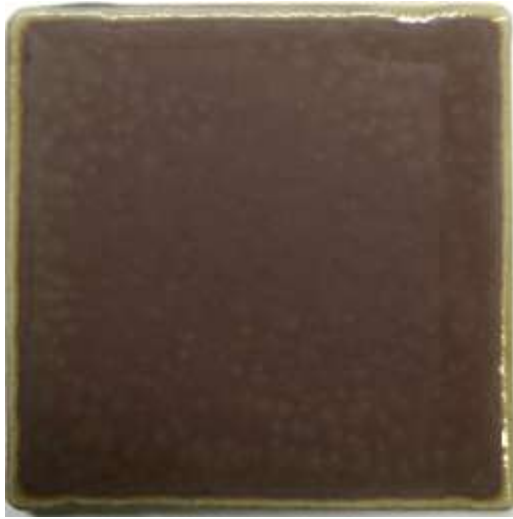
(図40) MnO 9% (1150°C—5時間)



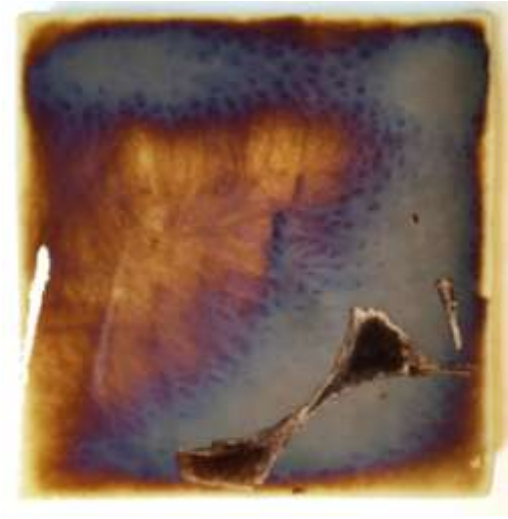
(図41) MnO 9% (1100°C—5時間)



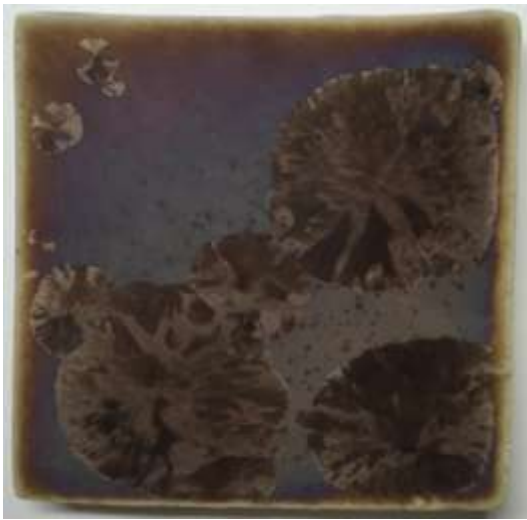
(図42) MnO 9% (1050°C—5時間)



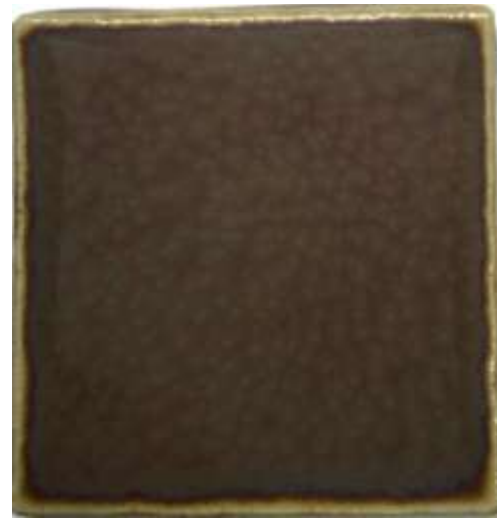
(図43) MnO 10% (1150°C—5 時間)



(図44) MnO 10% (1100°C—5 時間)



(図45) MnO 10% (1050°C—5 時間)



(図46) MnO 15% (1150°C—5 時間)



(図47) MnO 15% (1100°C—5 時間)



(図48) MnO 15% (1050°C—5 時間)



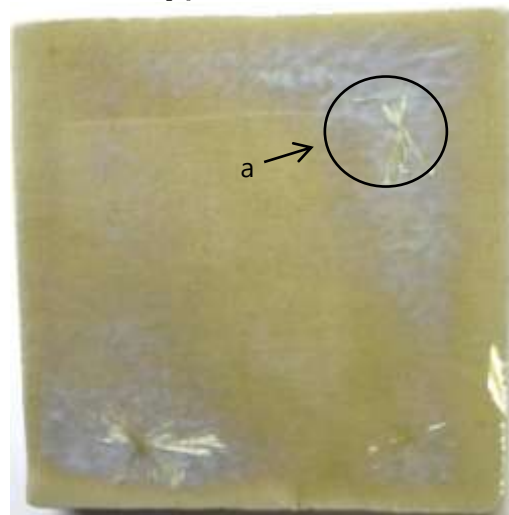
(図49) Fe_2O_3 0.5% (1150°C—5時間)



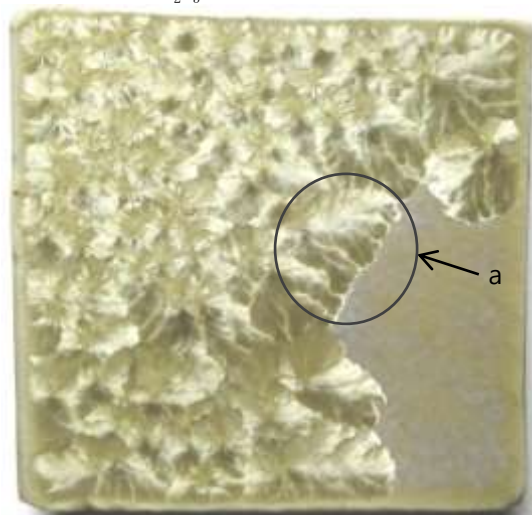
(図50) Fe_2O_3 0.5% (1100°C—5時間)



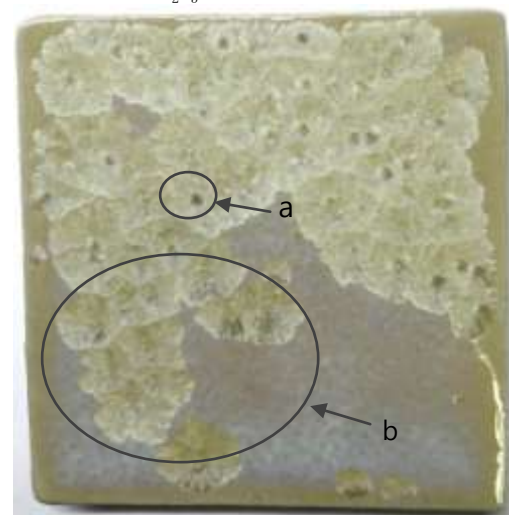
(図51) Fe_2O_3 0.5% (1050°C—5時間)



(図52) Fe_2O_3 1% (1150°C—5時間)



(図53) Fe_2O_3 1% (1100°C—5時間)



(図54) Fe_2O_3 1% (1050°C—5時間)



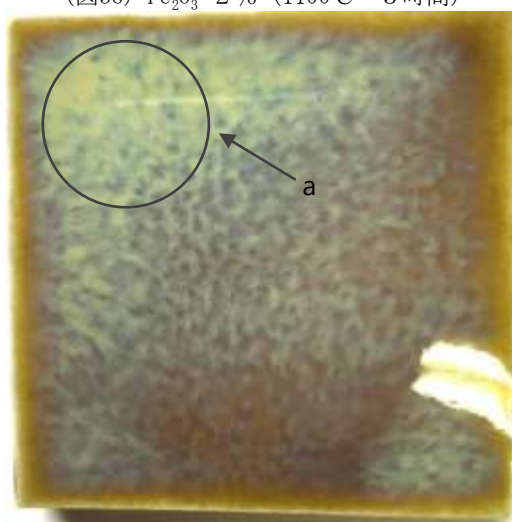
(図55) Fe_2O_3 2 % (1150°C—5 時間)



(図56) Fe_2O_3 2 % (1100°C—5 時間)



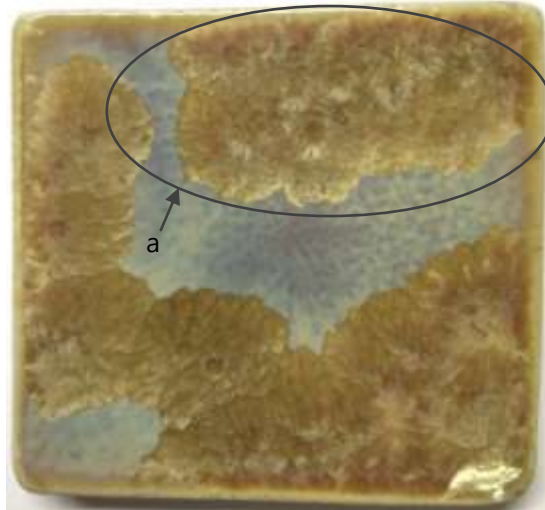
(図57) Fe_2O_3 2 % (1050°C—5 時間)



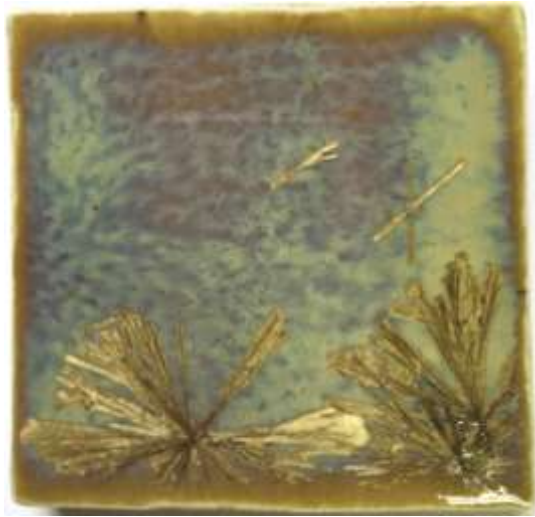
(図58) Fe_2O_3 3 % (1150°C—5 時間)



(図59) Fe_2O_3 3 % (1100°C—5 時間)



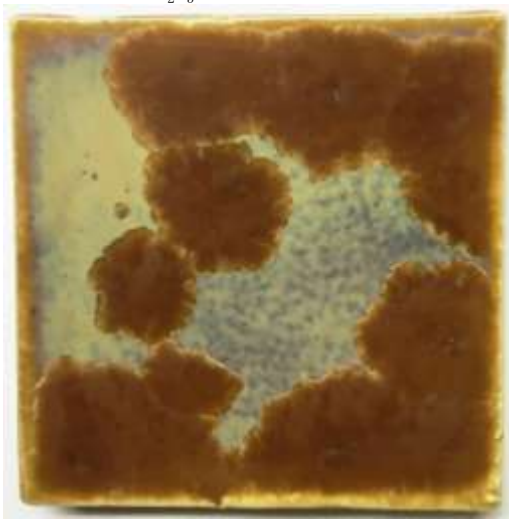
(図60) Fe_2O_3 3 % (1050°C—5 時間)



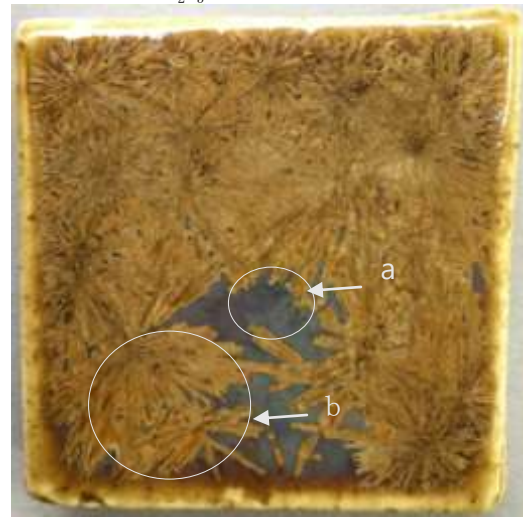
(図61) Fe_2O_3 4 % (1150°C—5 時間)



(図62) Fe_2O_3 4 % (1100°C—5 時間)



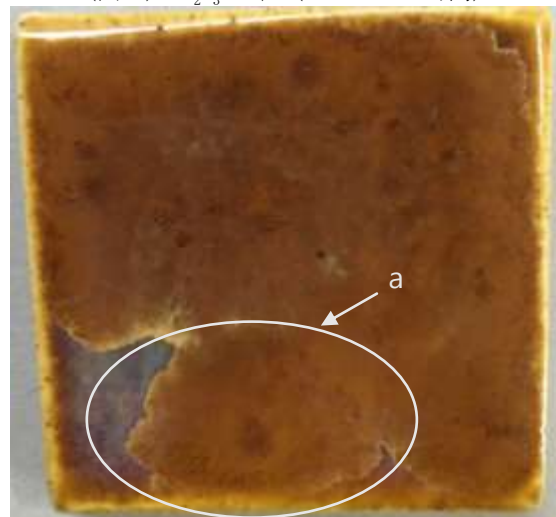
(図63) Fe_2O_3 4 % (1050°C—5 時間)



(図64) Fe_2O_3 5 % (1150°C—5 時間)



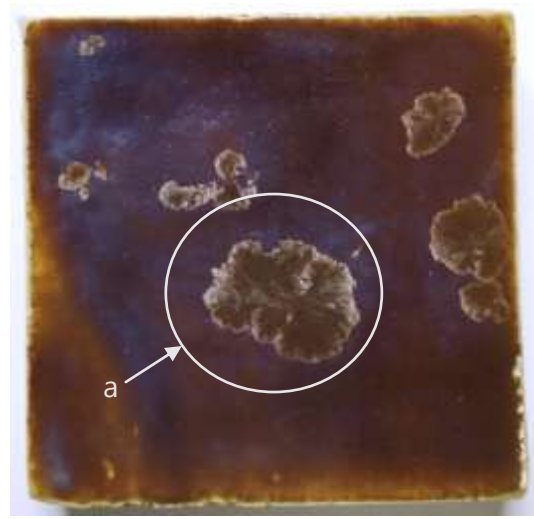
(図65) Fe_2O_3 5 % (1100°C—5 時間)



(図66) Fe_2O_3 5 % (1050°C—5 時間)



(図67) Fe_2O_3 6 % (1150℃—5 時間)



(図68) Fe_2O_3 6 % (1100℃—5 時間)



(図69) Fe_2O_3 6 % (1050℃—5 時間)



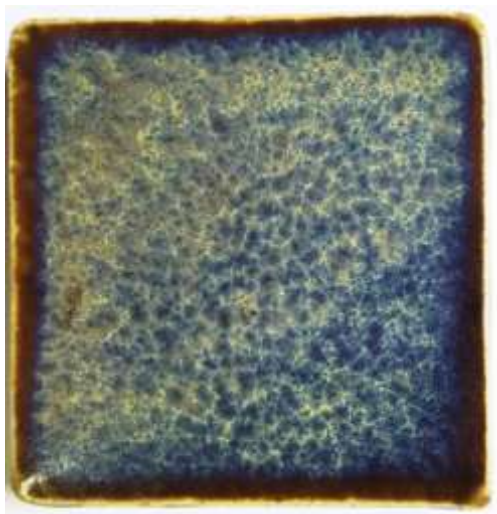
(図70) Fe_2O_3 7 % (1150℃—5 時間)



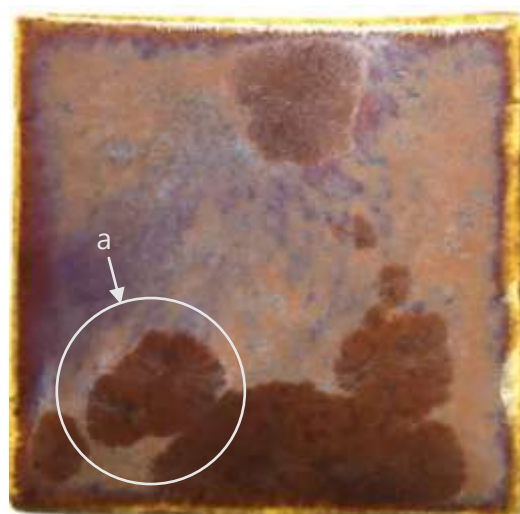
(図71) Fe_2O_3 7 % (1100℃—5 時間)



(図72) Fe_2O_3 7 % (1050℃—5 時間)



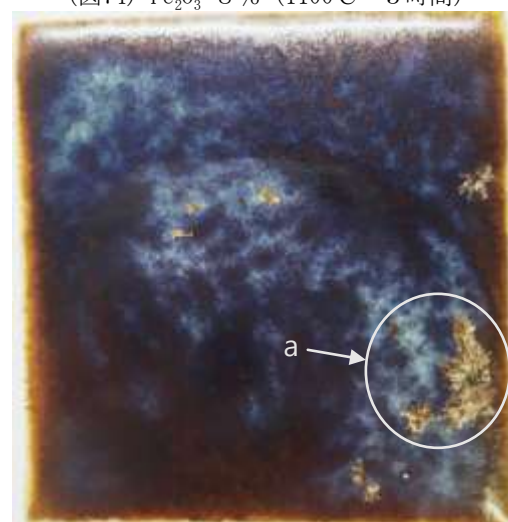
(図73) Fe_2O_3 8 % (1150°C—5 時間)



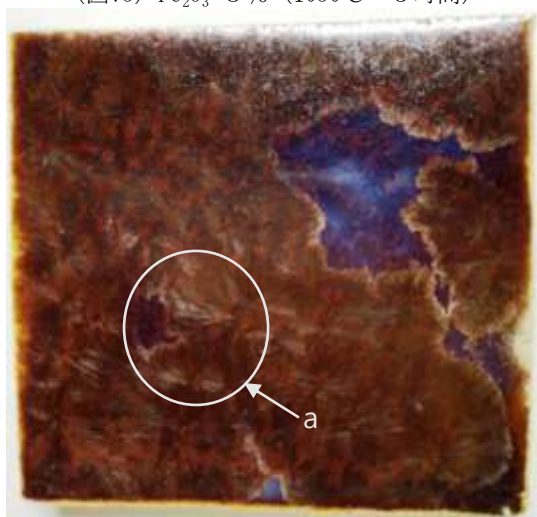
(図74) Fe_2O_3 8 % (1100°C—5 時間)



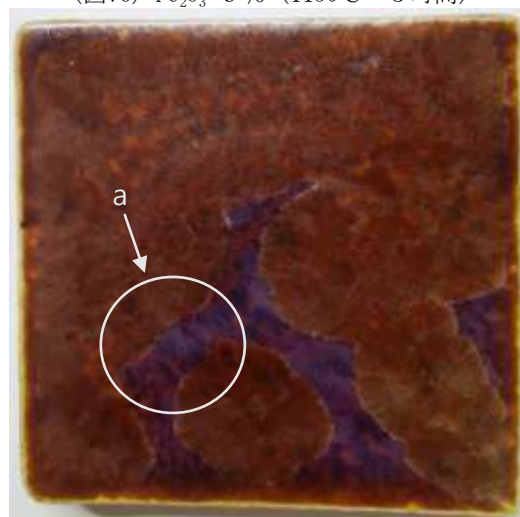
(図75) Fe_2O_3 8 % (1050°C—5 時間)



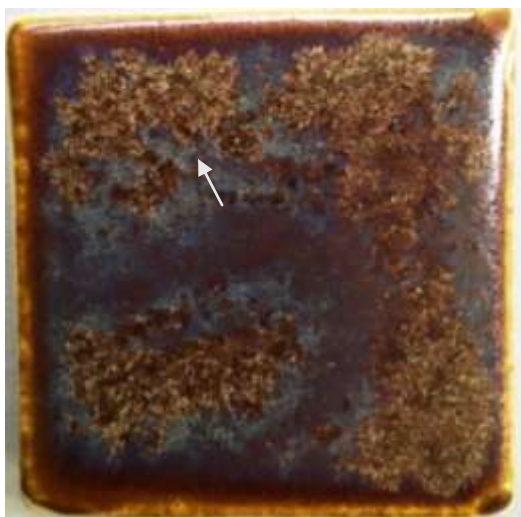
(図76) Fe_2O_3 9 % (1150°C—5 時間)



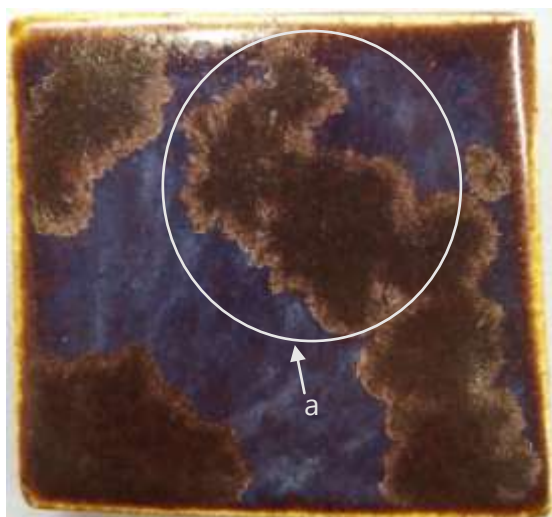
(図77) Fe_2O_3 9 % (1100°C—5 時間)



(図78) Fe_2O_3 9 % (1050°C—5 時間)



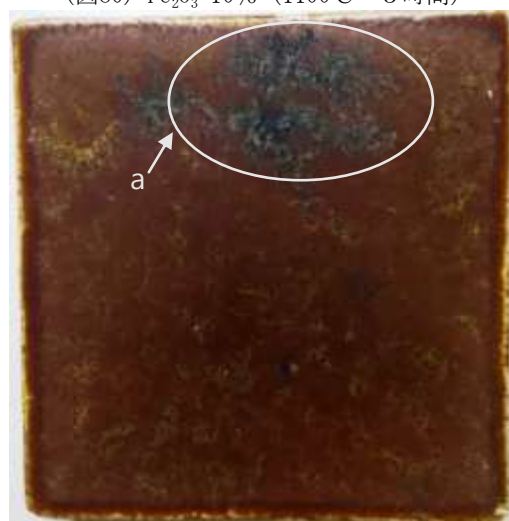
(図79) Fe_2O_3 10% (1150°C—5 時間)



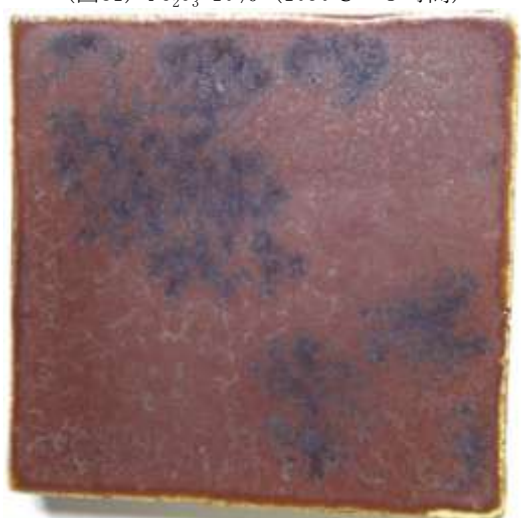
(図80) Fe_2O_3 10% (1100°C—5 時間)



(図81) Fe_2O_3 10% (1050°C—5 時間)



(図82) Fe_2O_3 15% (1150°C—5 時間)



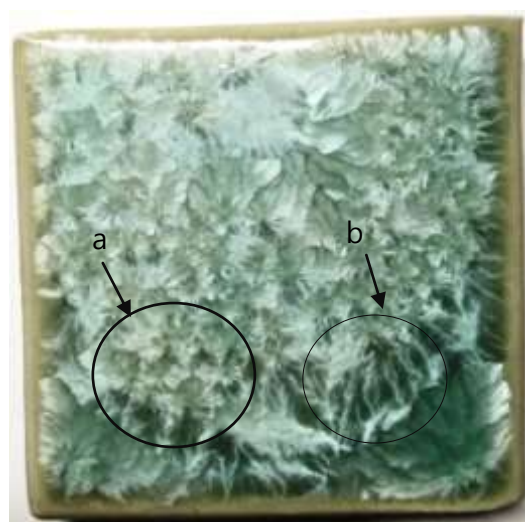
(図83) Fe_2O_3 15% (1100°C—5 時間)



(図84) Fe_2O_3 15% (1050°C—5 時間)



(図85) CuO 0.5% (1150℃—5時間)



(図86) CuO 0.5% (1100℃—5時間)



(図87) CuO 0.5% (1050℃—5時間)



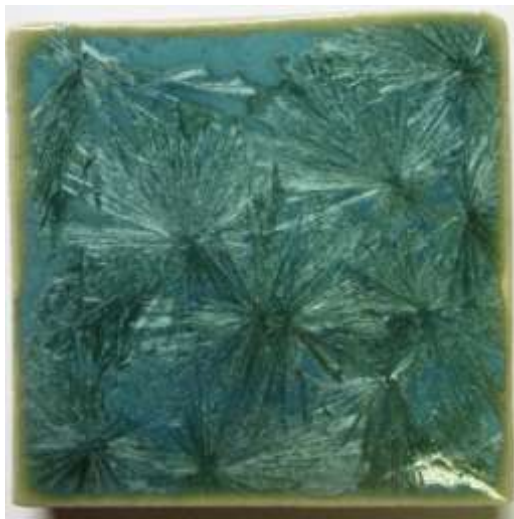
(図88) CuO 1% (1150℃—5時間)



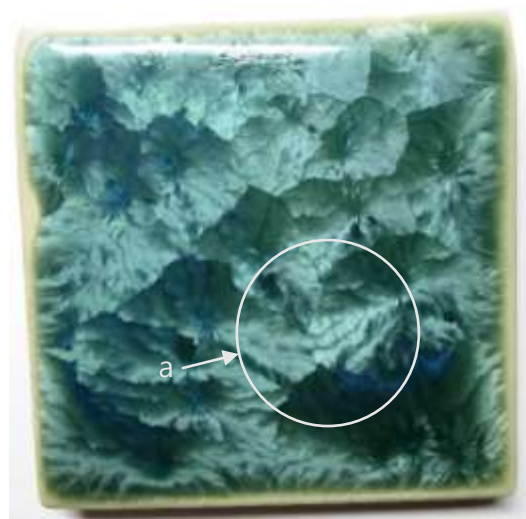
(図89) CuO 1% (1100℃—5時間)



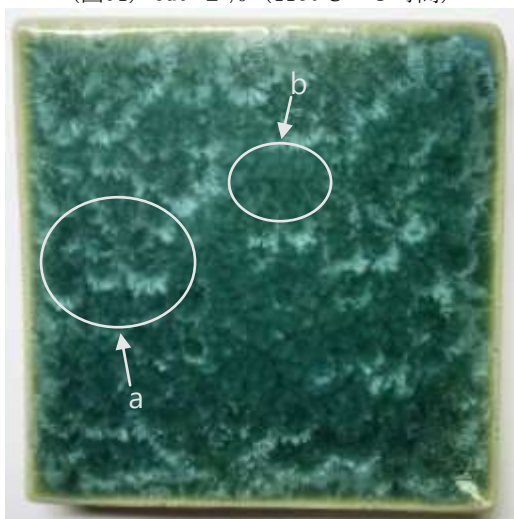
(図90) CuO 1% (1050℃—5時間)



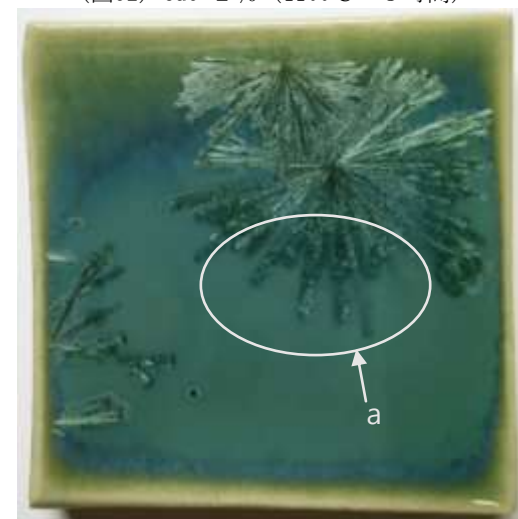
(図91) CuO 2 % (1150℃—5 時間)



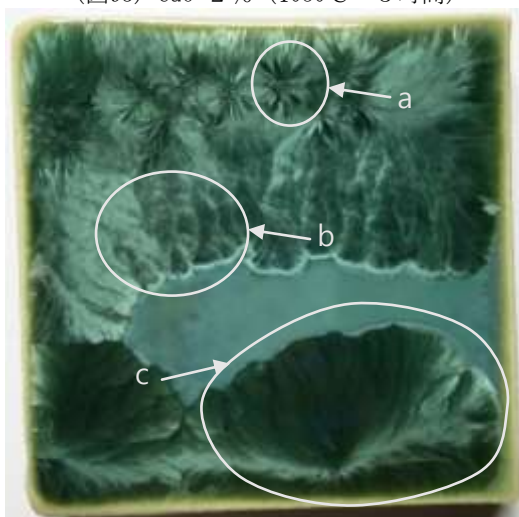
(図92) CuO 2 % (1100℃—5 時間)



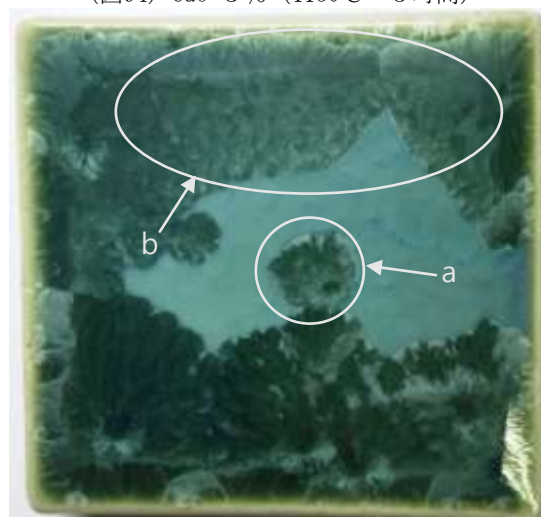
(図93) CuO 2 % (1050℃—5 時間)



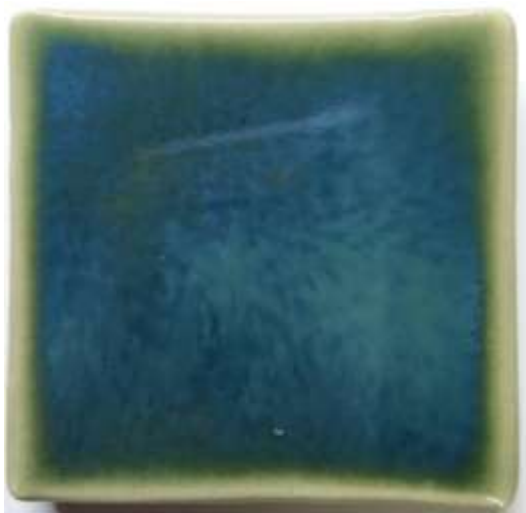
(図94) CuO 3 % (1150℃—5 時間)



(図95) CuO 3 % (1100℃—5 時間)



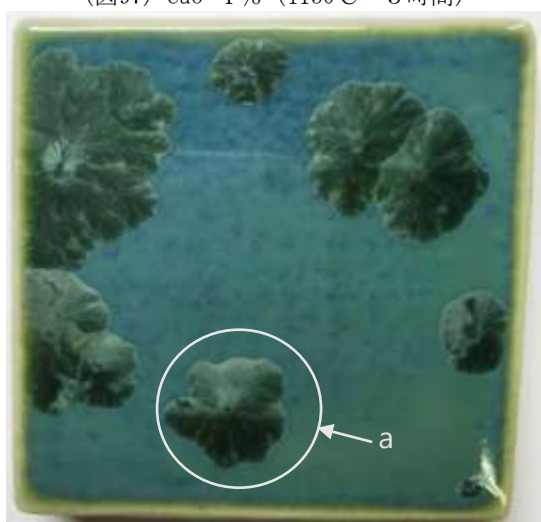
(図96) CuO 3 % (1050℃—5 時間)



(図97) CuO 4 % (1150°C—5 時間)



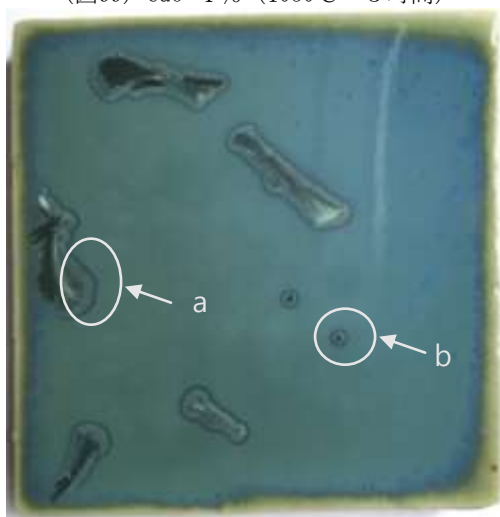
(図98) CuO 4 % (1100°C—5 時間)



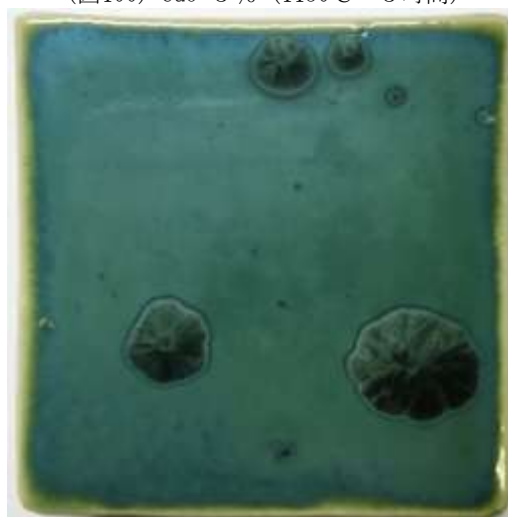
(図99) CuO 4 % (1050°C—5 時間)



(図100) CuO 5 % (1150°C—5 時間)



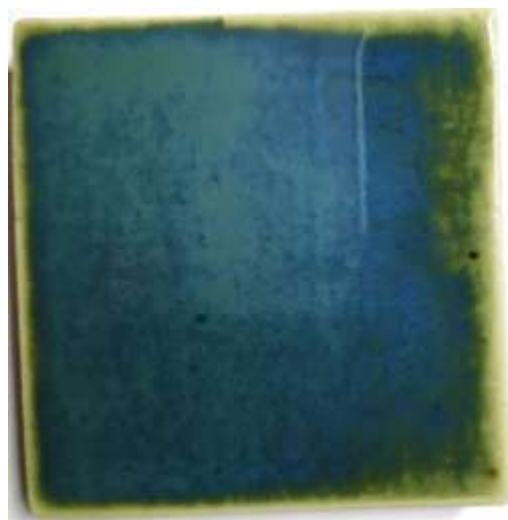
(図101) CuO 5 % (1100°C—5 時間)



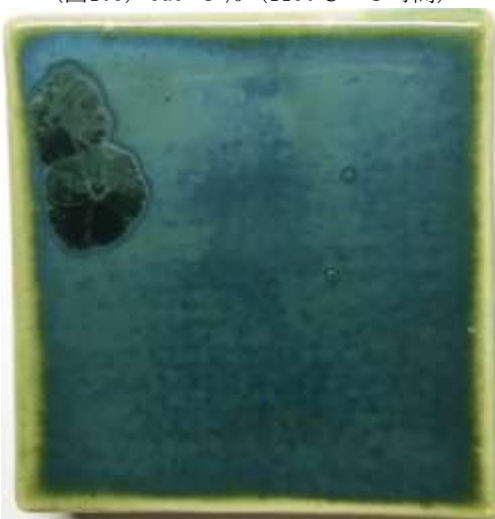
(図102) CuO 5 % (1050°C—5 時間)



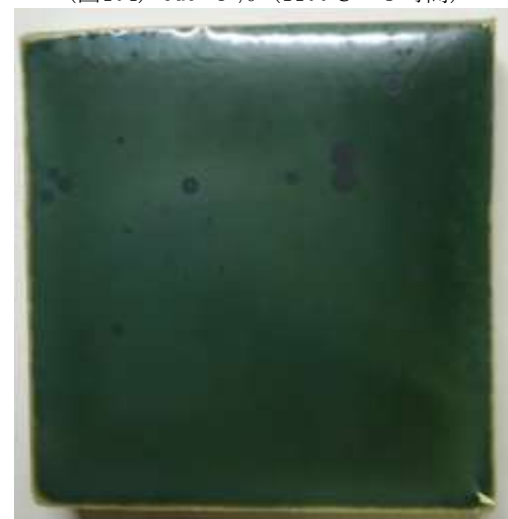
(図103) CuO 6 % (1150°C—5 時間)



(図104) CuO 6 % (1100°C—5 時間)



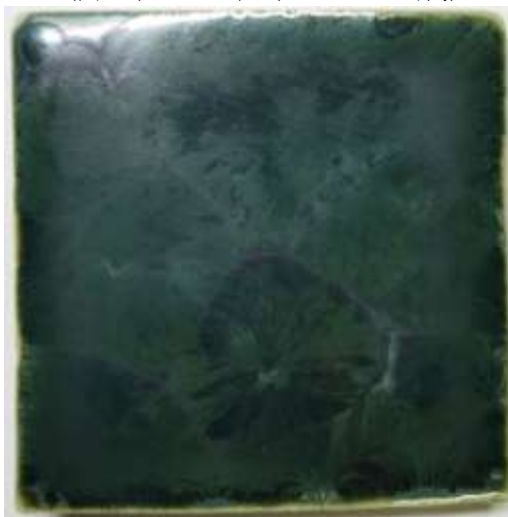
(図105) CuO 6 % (1050°C—5 時間)



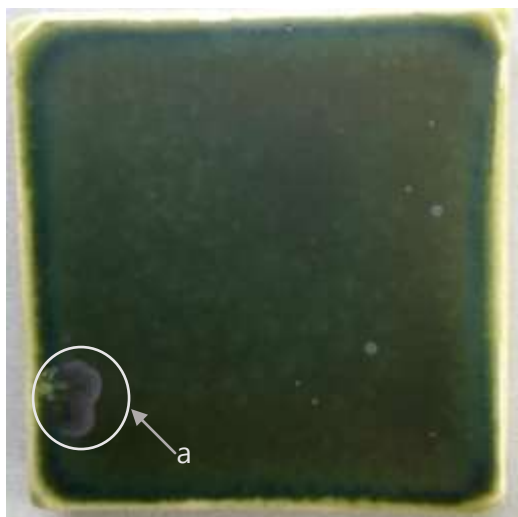
(図106) CuO 7 % (1150°C—5 時間)



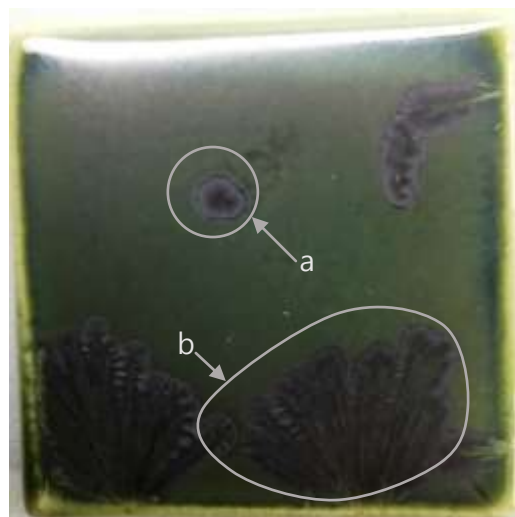
(図107) CuO 7 % (1100°C—5 時間)



(図108) CuO 7 % (1050°C—5 時間)



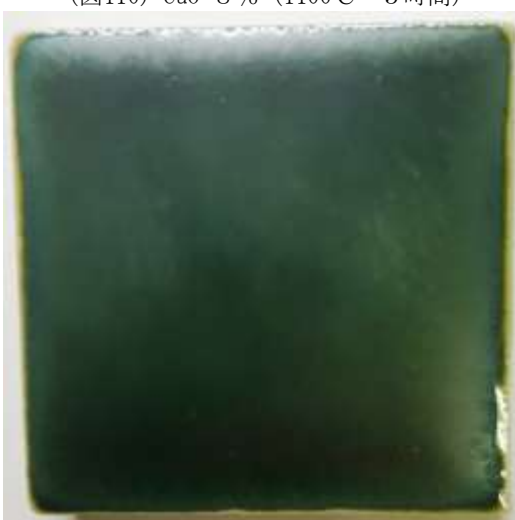
(図109) CuO 8 % (1150℃—5 時間)



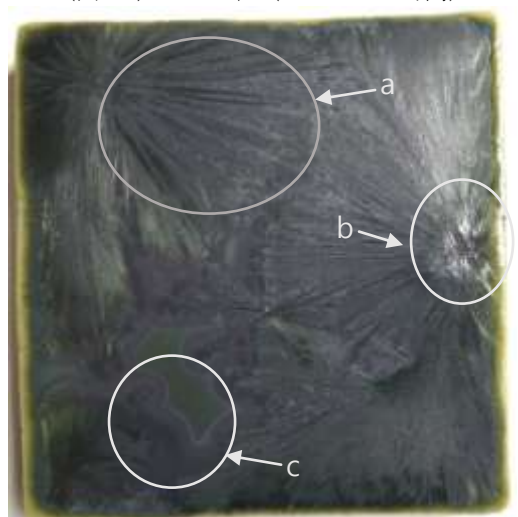
(図110) CuO 8 % (1100℃—5 時間)



(図111) CuO 8 % (1050℃—5 時間)



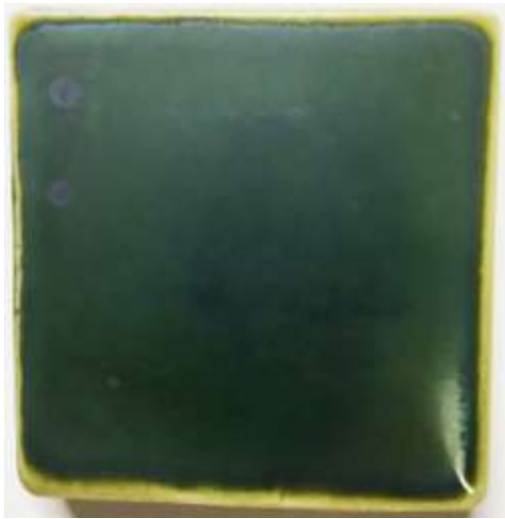
(図112) CuO 9 % (1150℃—5 時間)



(図113) CuO 9 % (1100℃—5 時間)



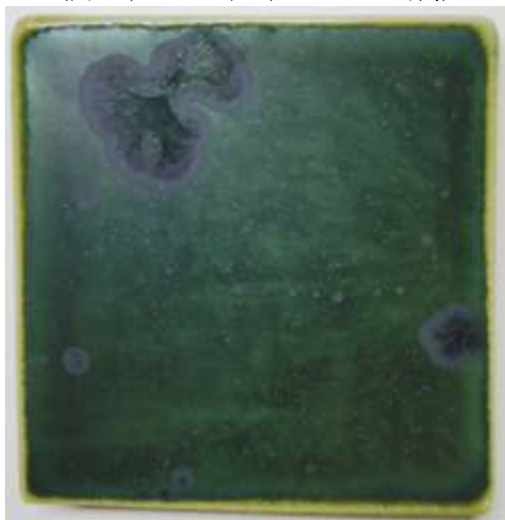
(図114) CuO 9 % (1050℃—5 時間)



(図115) CuO 10% (1150℃—5 時間)



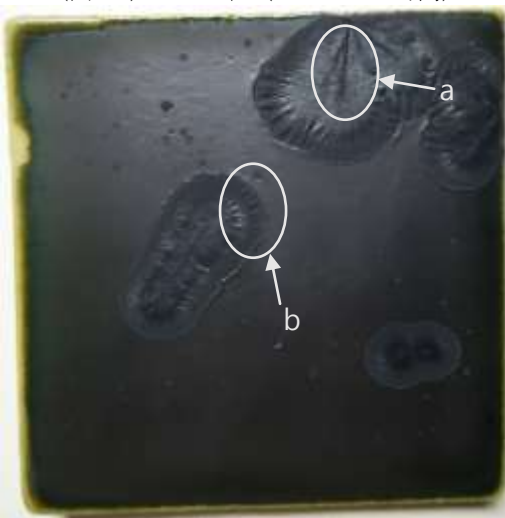
(図116) CuO 10% (1100℃—5 時間)



(図117) CuO 10% (1050℃—5 時間)



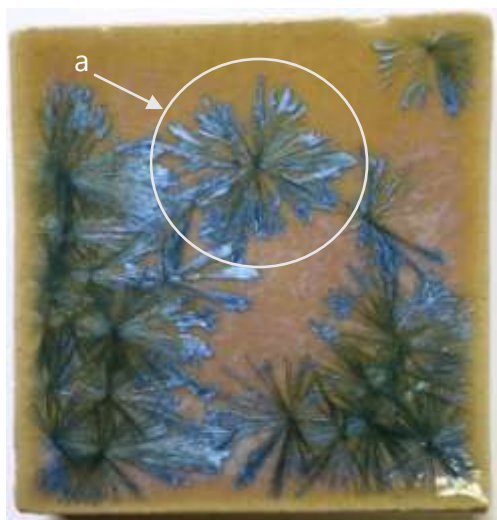
(図118) CuO 15% (1150℃—5 時間)



(図119) CuO 15% (1100℃—5 時間)



(図120) CuO 15% (1050℃—5 時間)



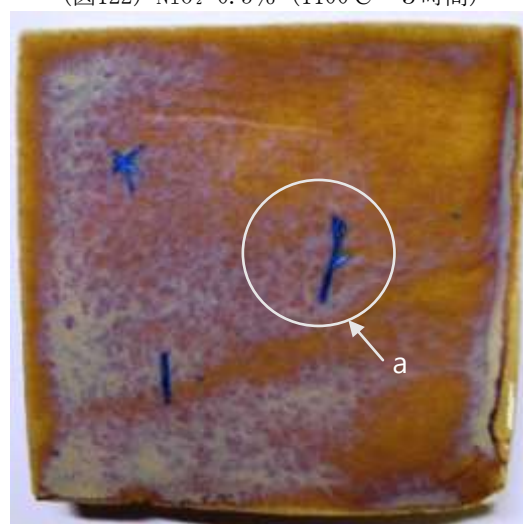
(図121) NiO_2 0.5% (1150°C—5時間)



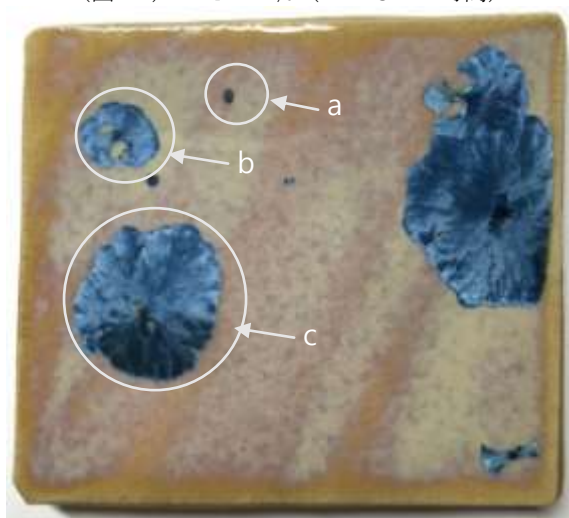
(図122) NiO_2 0.5% (1100°C—5時間)



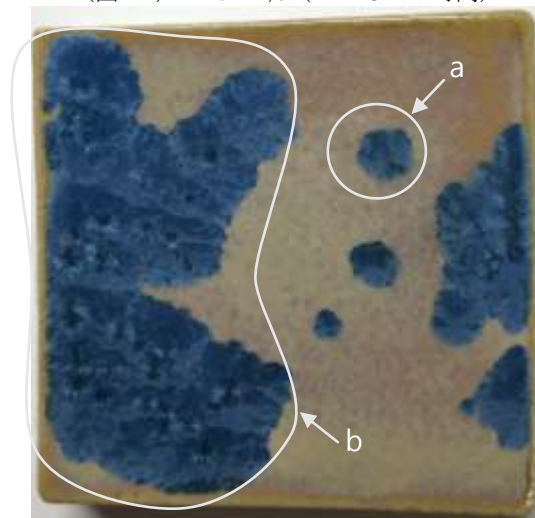
(図123) NiO_2 0.5% (1050°C—5時間)



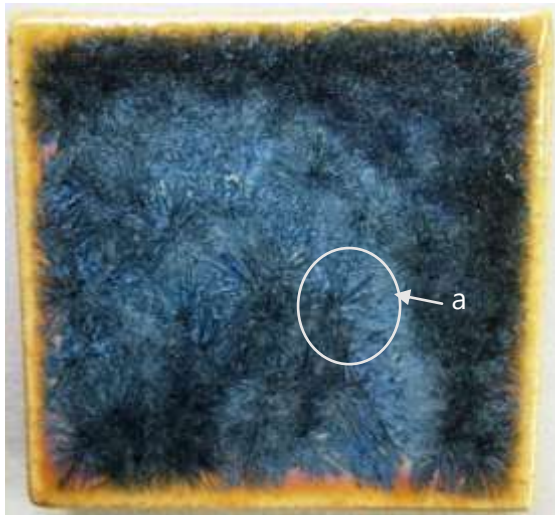
(図124) NiO_2 1% (1150°C—5時間)



(図125) NiO_2 1% (1100°C—5時間)



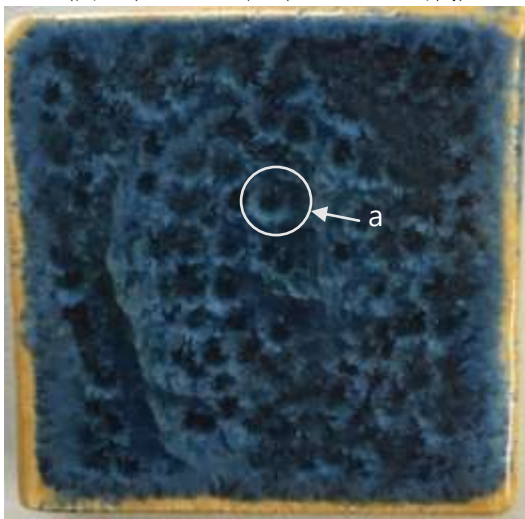
(図126) NiO_2 1% (1050°C—5時間)



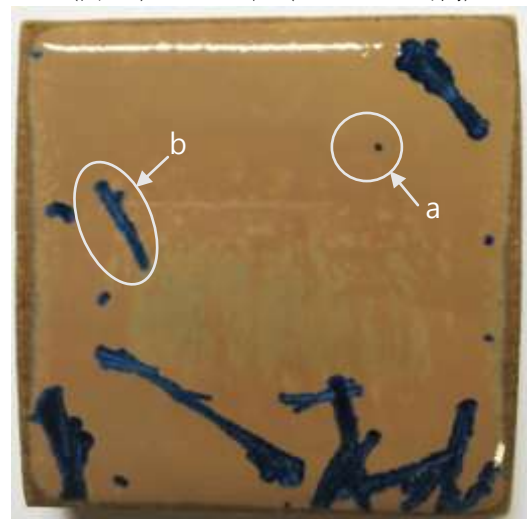
(図127) NiO_2 2% (1150°C—5時間)



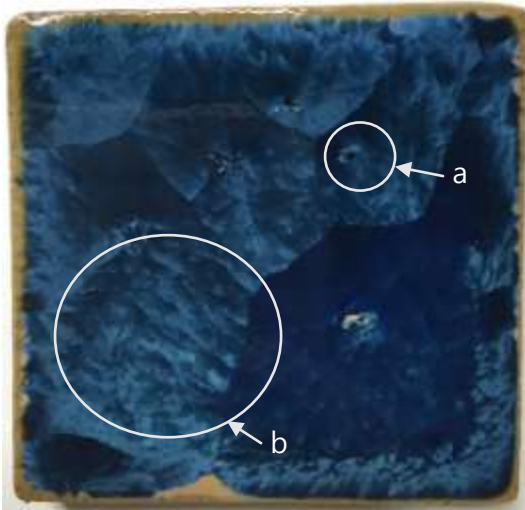
(図128) NiO_2 2% (1100°C—5時間)



(図129) NiO_2 2% (1050°C—5時間)



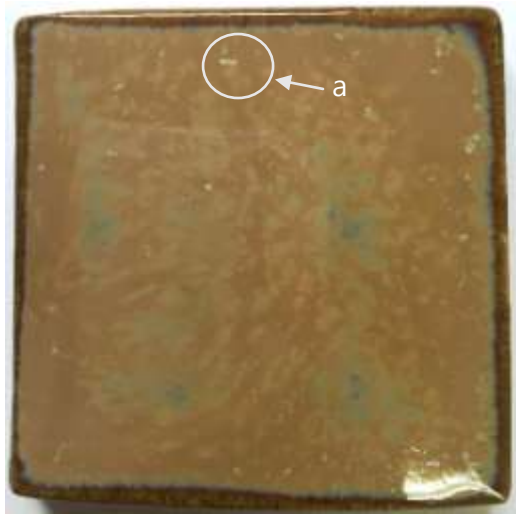
(図130) NiO_2 3% (1150°C—5時間)



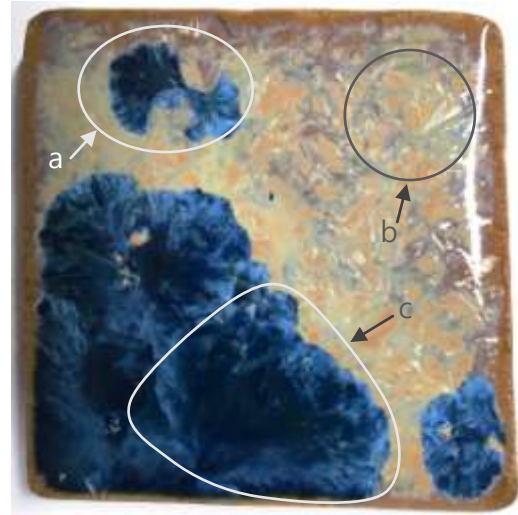
(図131) NiO_2 3% (1100°C—5時間)



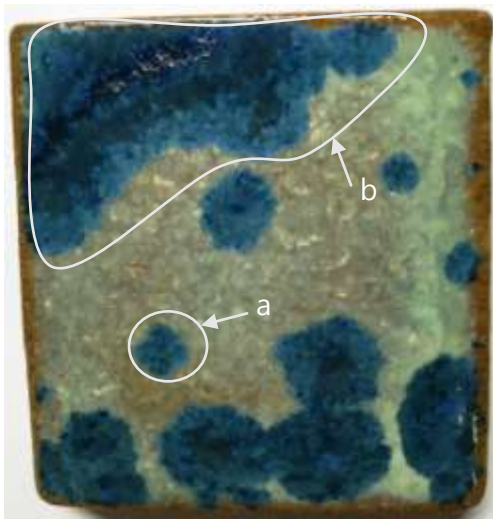
(図132) NiO_2 3% (1050°C—5時間)



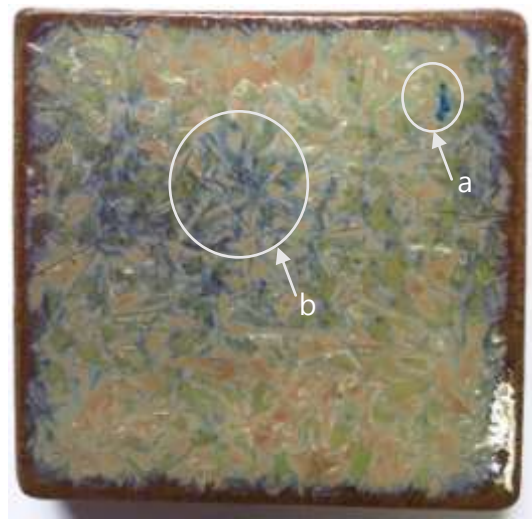
(図133) NiO_2 4% (1150°C—5時間)



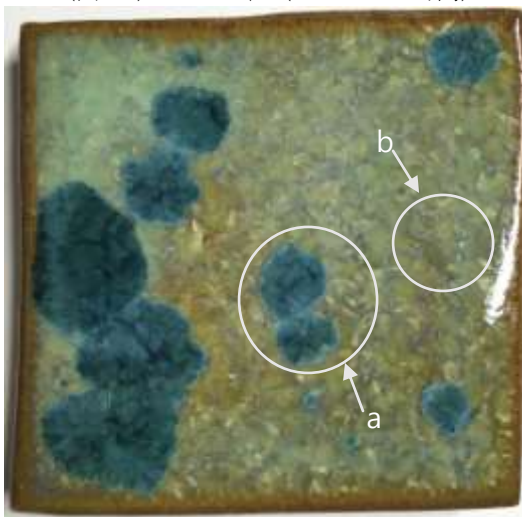
(図134) NiO_2 4% (1100°C—5時間)



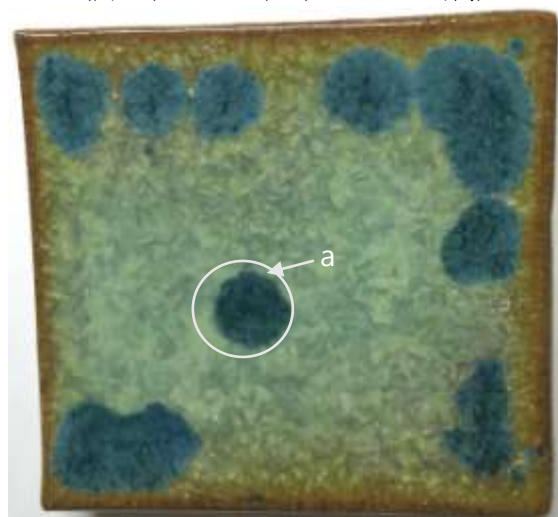
(図135) NiO_2 4% (1050°C—5時間)



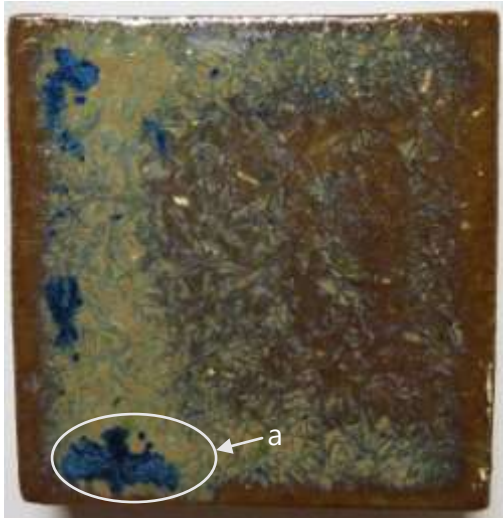
(図136) NiO_2 5% (1150°C—5時間)



(図137) NiO_2 5% (1100°C—5時間)



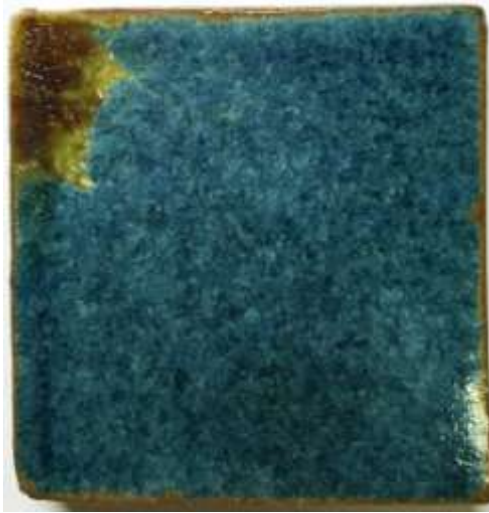
(図138) NiO_2 5% (1050°C—5時間)



(図139) NiO_2 6 % (1150°C—5 時間)



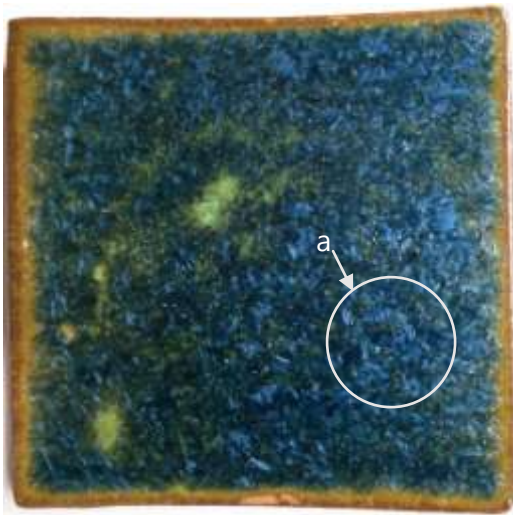
(図140) NiO_2 6 % (1100°C—5 時間)



(図141) NiO_2 6 % (1050°C—5 時間)



(図142) NiO_2 7 % (1150°C—5 時間)



(図143) NiO_2 7 % (1100°C—5 時間)



(図144) NiO_2 7 % (1050°C—5 時間)



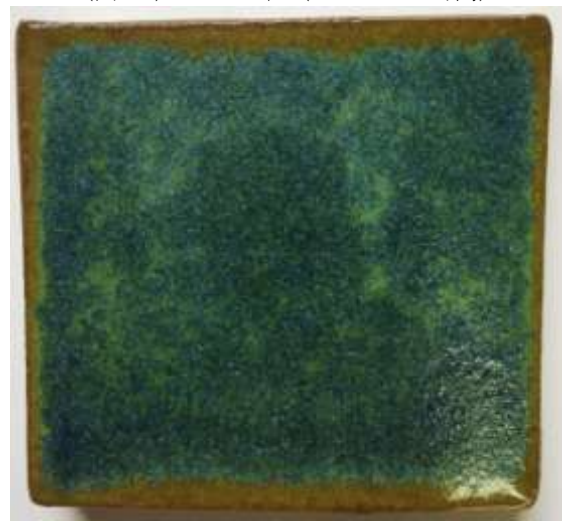
(図145) NiO_2 8 % (1150℃—5 時間)



(図146) NiO_2 8 % (1100℃—5 時間)



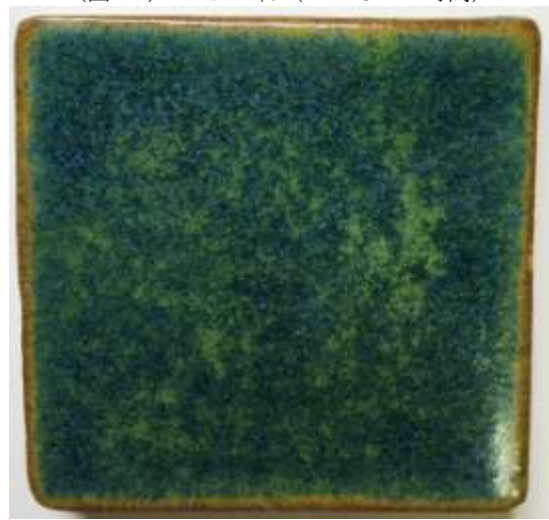
(図147) NiO_2 8 % (1050℃—5 時間)



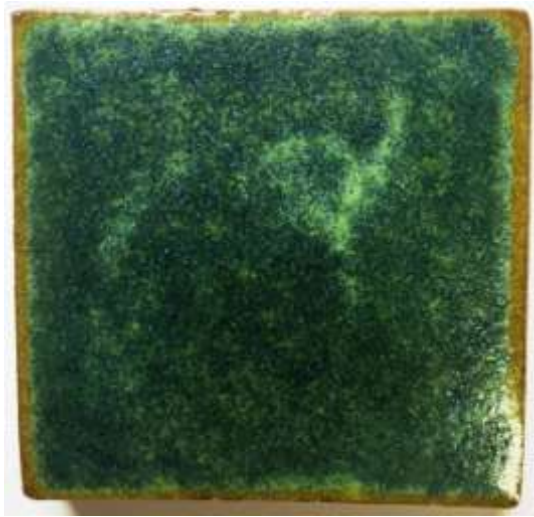
(図148) NiO_2 9 % (1150℃—5 時間)



(図149) NiO_2 9 % (1100℃—5 時間)



(図150) NiO_2 9 % (1050℃—5 時間)



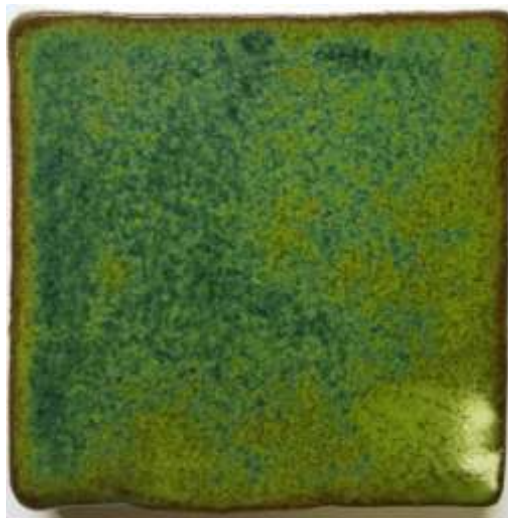
(図151) NiO_2 10% (1150℃—5時間)



(図152) NiO_2 10% (1100℃—5時間)



(図153) NiO_2 10% (1050℃—5時間)



(図154) NiO_2 15% (1150℃—5時間)



(図155) NiO_2 15% (1100℃—5時間)



(図156) NiO_2 15% (1050℃—5時間)



(図157) Fe_2O_3 1%、 CuO 1%(1100°C—5時間)



(図158) Fe_2O_3 1%、 CuO 2%(1100°C—5時間)



(図159) Fe_2O_3 2%、 CuO 1%(1100°C—5時間)



(図160) Fe_2O_3 2%、 CuO 2%(1100°C—5時間)



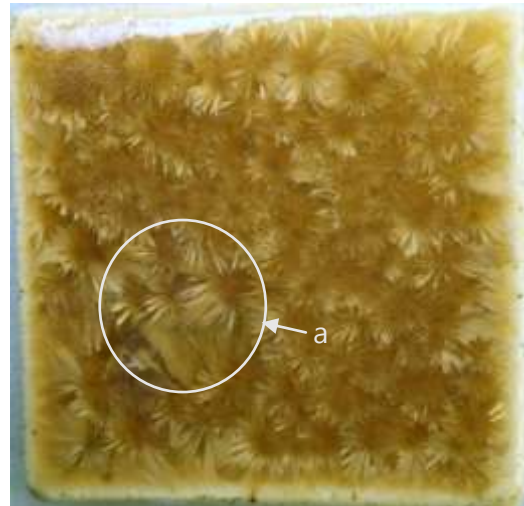
(図161) Fe_2O_3 1%、 MnO 1%(1100°C—5時間)



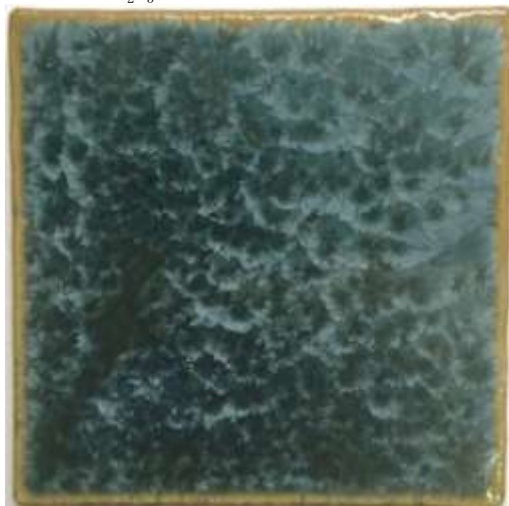
(図162) Fe_2O_3 1%、 MnO 2%(1100°C—5時間)



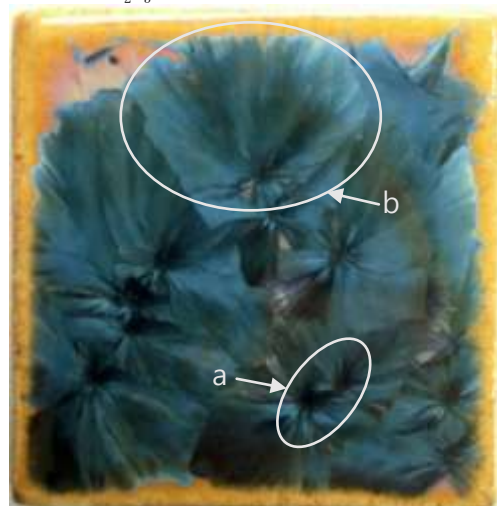
(図163) Fe_2O_3 2%、 MnO 1%(1100°C—5時間)



(図164) Fe_2O_3 2%、 MnO 2%(1100°C—5時間)



(図165) Fe_2O_3 1%、 NiO_2 1%(1100°C—5時間)



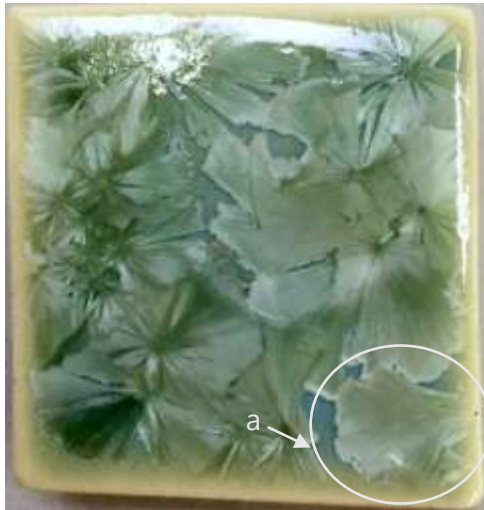
(図166) Fe_2O_3 1%、 NiO_2 2%(1100°C—5時間)



(図167) Fe_2O_3 2%、 NiO_2 1%(1100°C—5時間)



(図168) Fe_2O_3 2%、 NiO_2 2%(1100°C—5時間)



(図169) CuO 1%、MnO 1% (1100°C—5時間)



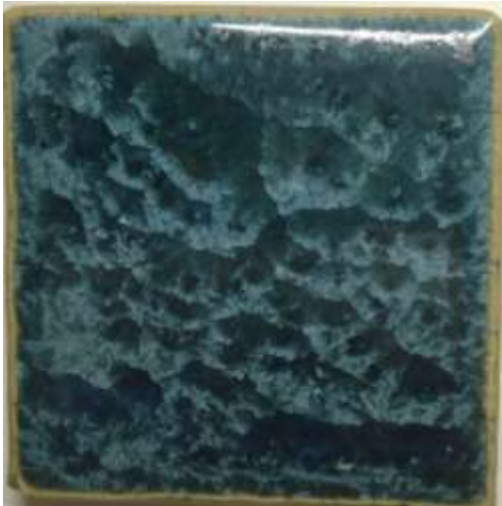
(図170) CuO 1%、MnO 2% (1100°C—5時間)



(図171) CuO 2%、MnO 1% (1100°C—5時間)



(図172) CuO 2%、MnO 2% (1100°C—5時間)



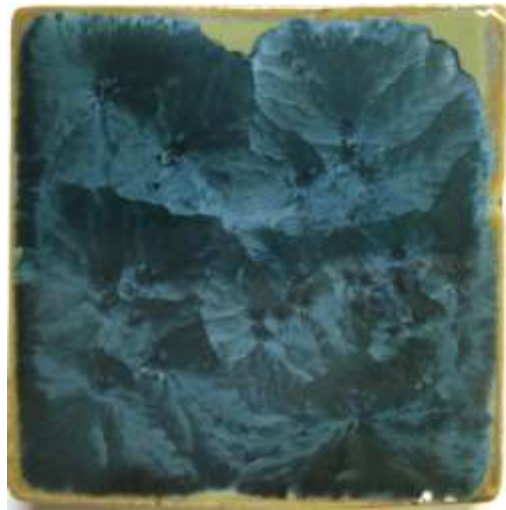
(図173) CuO 1%、NiO₂ 1% (1100°C—5時間)



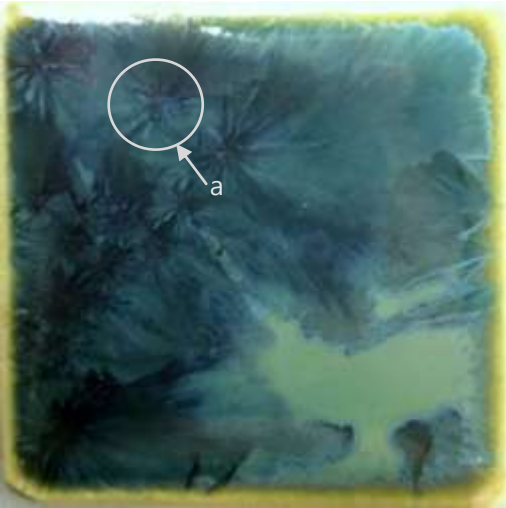
(図174) CuO 1%、NiO₂ 2% (1100°C—5時間)



(図175) CuO 2%、NiO₂ 1% (1100°C—5時間)



(図176) CuO 2%、NiO₂ 2% (1100°C—5時間)



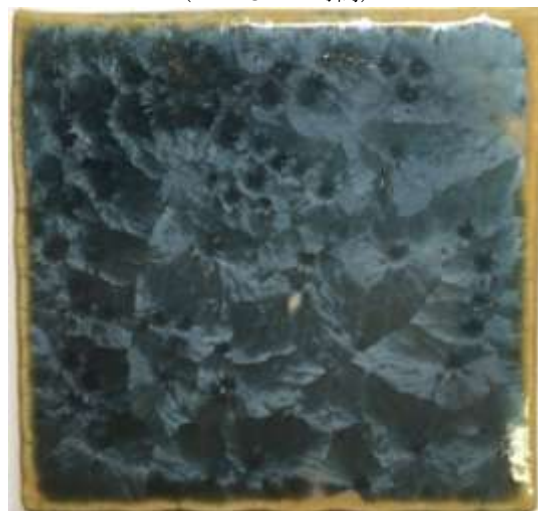
(図177) CuO 3%、NiO₂ 1%
(1100°C—5時間)



(図178) MnO 1%、NiO₂ 1%
(1100°C—5時間)



(図179) MnO 1%、NiO₂ 2%
(1100°C—5時間)



(図180) MnO 2%、NiO₂ 1%
(1100°C—5時間)



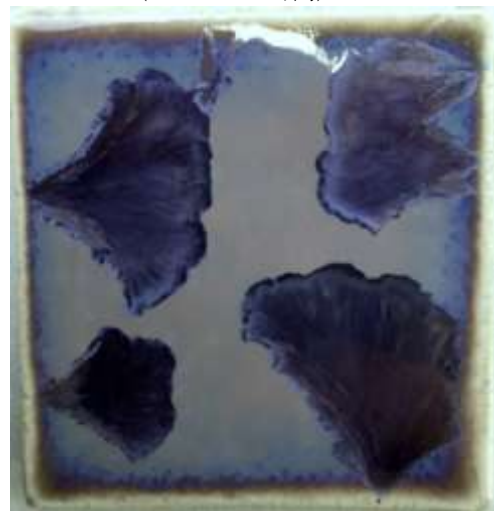
(図181) MnO 2%, NiO_2 2%
(1100°C—5時間)



(図182) MnO 2%, Co_3O_4 0.3%
(1100°C—5時間)



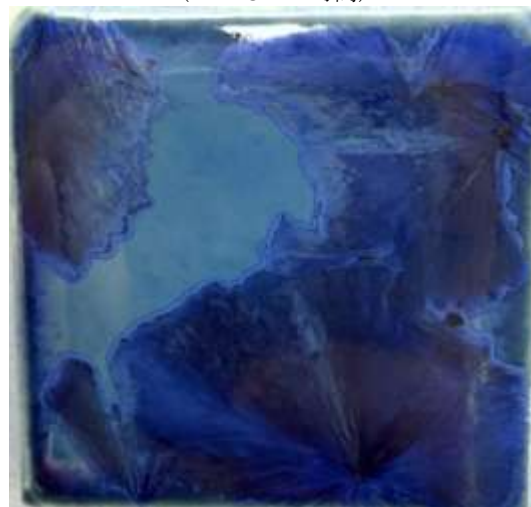
(図183) MnO 3%, Co_3O_4 1%
(1100°C—5時間)



(図184) MnO 10%, Co_3O_4 0.5%
(1100°C—5時間)



(図185) NiO_2 1%, Co_3O_4 0.3%
(1100°C—5時間)



(図186) CuO 3%, Co_3O_4 1%
(1100°C—5時間)



(図187) Fe_2O_3 1%、 MnO 1%、 CuO 1%
(1100°C—5時間)



(図188) Fe_2O_3 1%、 MnO 1%、 CuO 2%
(1100°C—5時間)



(図189) Fe_2O_3 1%、 MnO 2%、 CuO 1%
(1100°C—5時間)



(図190) Fe_2O_3 1%、 MnO 2%、 CuO 2%
(1100°C—5時間)



(図191) Fe_2O_3 2%、 MnO 1%、 CuO 1%
(1100°C—5時間)



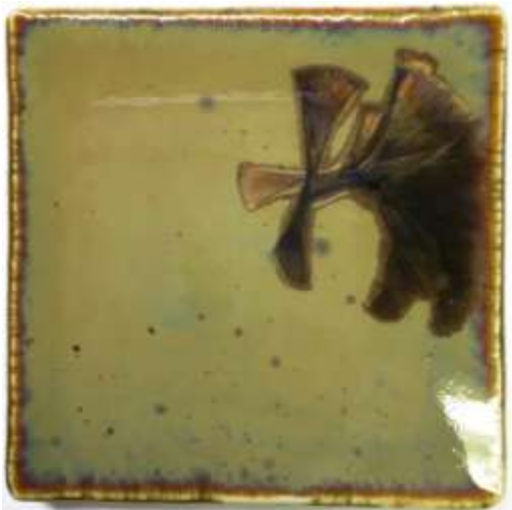
(図192) Fe_2O_3 2%、 MnO 1%、 CuO 2%
(1100°C—5時間)



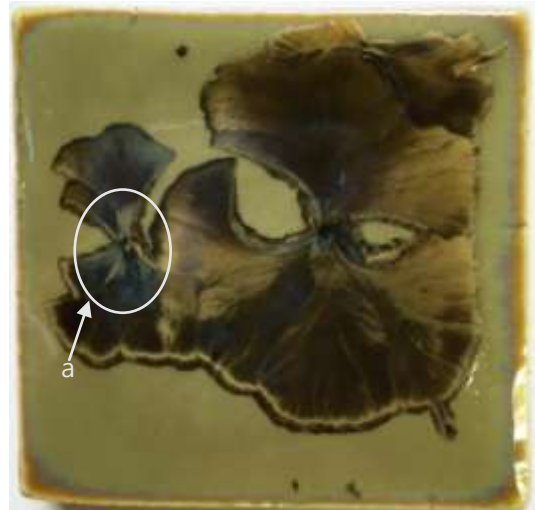
(図193) Fe_2O_3 2%、 MnO 2%、 CuO 1%
(1100°C—5時間)



(図194) Fe_2O_3 2%、 MnO 2%、 CuO 2%
(1100°C—5時間)



(図 195) Fe_2O_3 4%、 MnO 2%、 CuO 1%
(1100°C—5時間)



(図196) Fe_2O_3 2%、 MnO 3%、 CuO 1%
(1100°C—5時間)



(図 197) Fe_2O_3 1%、 MnO 2%、 CuO 3%
(1100°C—5時間)



(図198) Fe_2O_3 1%、 MnO 2%、 CuO 4%
(1100°C—5時間)



(図199) Fe_2O_3 1%、 CuO 1%、 NiO_2 1%
(1100°C—5時間)



(図200) Fe_2O_3 1%、 CuO 1%、 NiO_2 2%
(1100°C—5時間)



(図201) Fe_2O_3 1%、 CuO 2%、 NiO_2 1%
(1100°C—5時間)



(図202) Fe_2O_3 1%、 CuO 2%、 NiO_2 2%
(1100°C—5時間)



(図203) Fe_2O_3 2%、 CuO 1%、 NiO_2 1%
(1100°C—5時間)



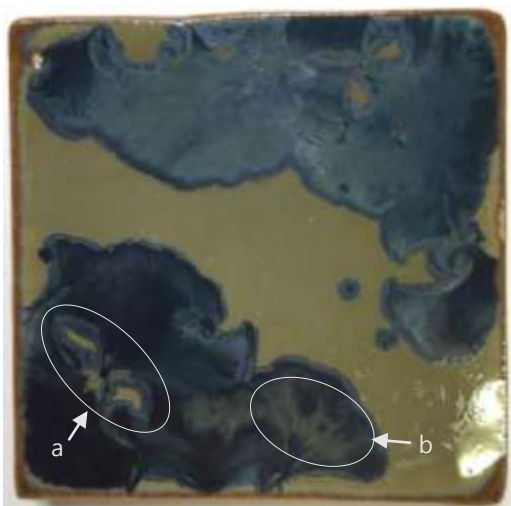
(図204) Fe_2O_3 2%、 CuO 1%、 NiO_2 2%
(1100°C—5時間)



(図205) Fe_2O_3 2%、 CuO 2%、 NiO_2 1%
(1100°C—5時間)



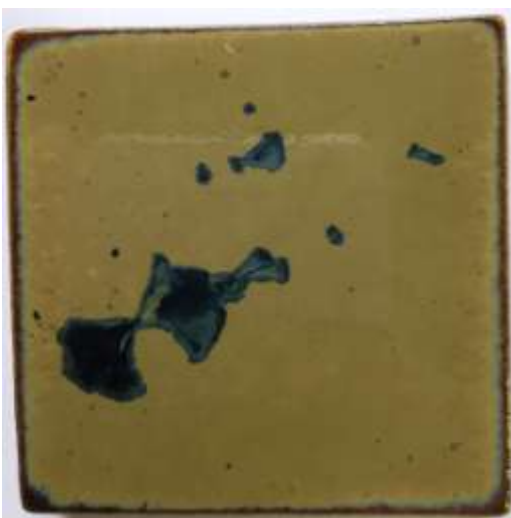
(図206) Fe_2O_3 2%、 CuO 2%、 NiO_2 2%
(1100°C—5時間)



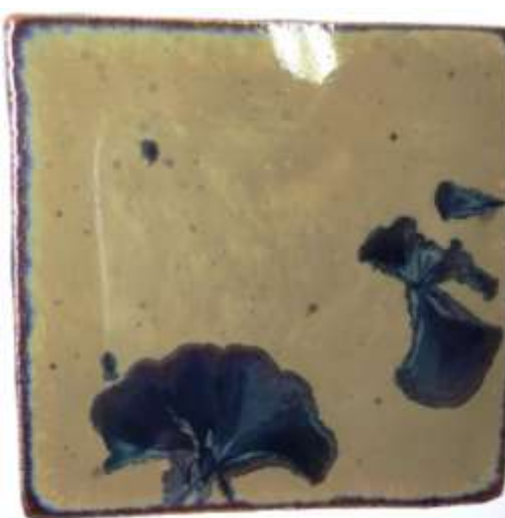
(図 207) Fe_2O_3 1%、 CuO 2%、 NiO_2 3%
(11)



(図 208) Fe_2O_3 1%、 CuO 4%、 NiO_2 3%
(1100°C—5時間)



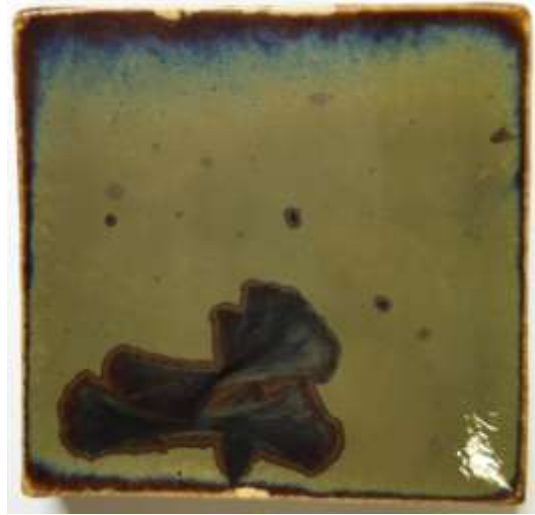
(図 209) Fe_2O_3 2%、 CuO 1%、 NiO_2 3%
(1100°C—5時間)



(図 210) Fe_2O_3 3%、 CuO 1%、 NiO_2 2%
(1100°C—5時間)



(図 211) Fe_2O_3 4 %、 CuO 1 %、 NiO_2 2 %
(1100°C—5 時間)



(図 212) Fe_2O_3 4 %、 CuO 2 %、 NiO_2 1 %
(1100°C—5 時間)



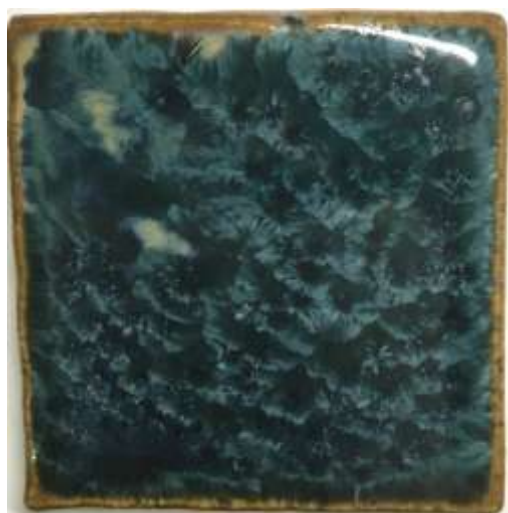
(図 213) Fe_2O_3 5 %、 CuO 1 %、 NiO_2 1 %
(1100°C—5 時間)



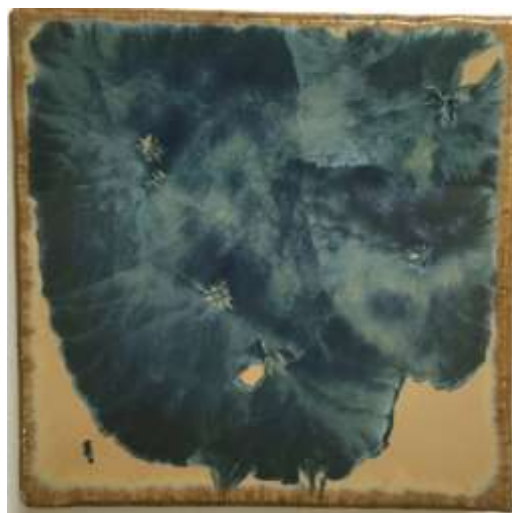
(図214) Fe_2O_3 1 %、 NiO_2 1 %、 MnO 1 %
(1100°C—5 時間)



(図215) Fe_2O_3 1 %、 NiO_2 1 %、 MnO 2 %
(1100°C—5 時間)



(図216) Fe_2O_3 1%、 NiO_2 2%、 MnO 1%
(1100°C—5時間)



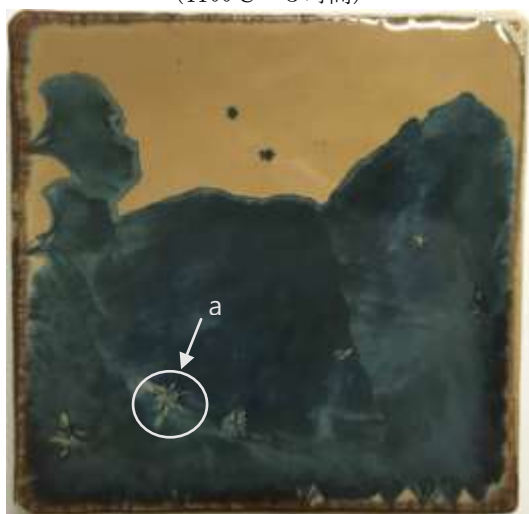
(図217) Fe_2O_3 1%、 NiO_2 2%、 MnO 2%
(1100°C—5時間)



(図218) Fe_2O_3 2%、 NiO_2 1%、 MnO 1%
(1100°C—5時間)



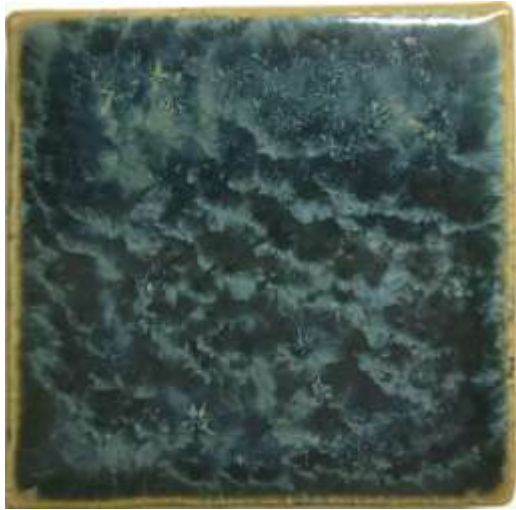
(図219) Fe_2O_3 2%、 NiO_2 1%、 MnO 2%
(1100°C—5時間)



(図220) Fe_2O_3 2%、 NiO_2 2%、 MnO 1%
(1100°C—5時間)



(図221) Fe_2O_3 2%、 NiO_2 2%、 MnO 2%
(1100°C—5時間)



(図222) MnO 1%, NiO₂ 1%, CuO 1%
(1100°C—5時間)



(図223) MnO 1%, NiO₂ 1%, CuO 2%
(1100°C—5時間)



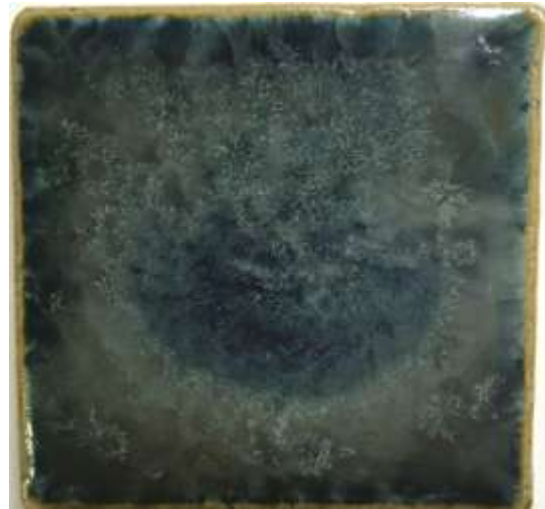
(図224) MnO 1%, NiO₂ 2%, CuO 1%
(1100°C—5時間)



(図225) MnO 1%, NiO₂ 2%, CuO 2%
(1100°C—5時間)



(図226) MnO 2%, NiO₂ 1%, CuO 1%
(1100°C—5時間)



(図227) MnO 2%, NiO₂ 1%, CuO 2%
(1100°C—5時間)



(図228) MnO 2%, NiO₂ 2%, CuO 1%
(1100°C—5時間)



(図229) MnO 2%, NiO₂ 2%, CuO 2%
(1100°C—5時間)



(図 230) MnO 4%, NiO₂ 1%, CuO 2%
(1100°C—5時間)



(図 231) Fe₂O₃ 0.5%, MnO 1%, Co₃O₄ 0.3%
(1100°C—5時間)



(図 232) Fe₂O₃ 1%, MnO 2%, Co₃O₄ 0.3%
(1100°C—5時間)



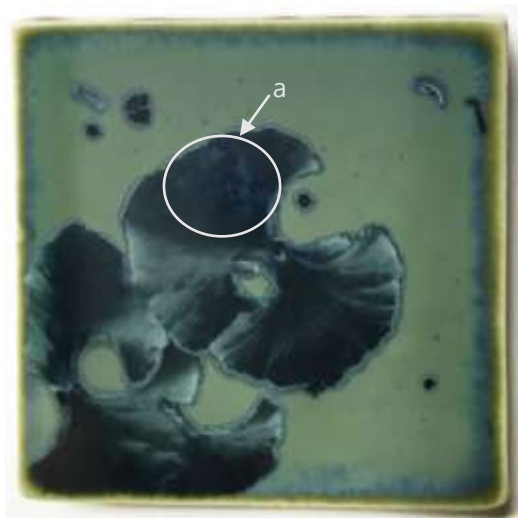
(図 233) Fe_2O_3 3%, MnO 1%, Co_3O_4 0.1%
(1100°C—5 時間)



(図 234) Fe_2O_3 1%, CuO 2%, Co_3O_4 0.1%
(1100°C—5 時間)



(図 235) Fe_2O_3 4%, CuO 1%, Co_3O_4 0.6%
(1100°C—5 時間)



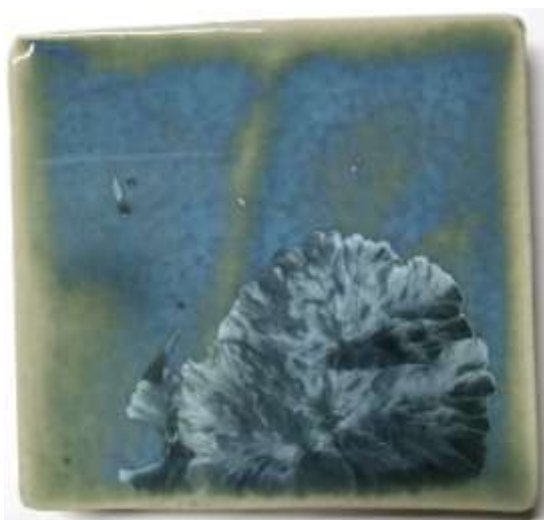
(図 236) Fe_2O_3 1%, CuO 3%, Co_3O_4 0.3%
(1100°C—5 時間)



(図 237) MnO 3%, NiO_2 1%, Co_3O_4 0.2%
(1100°C—5 時間)



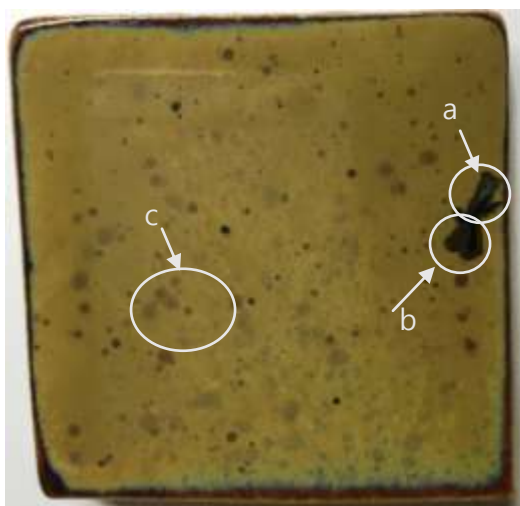
(図 238) MnO 0.5%, CuO 1%, Co_3O_4 0.3%
(1100°C—5 時間)



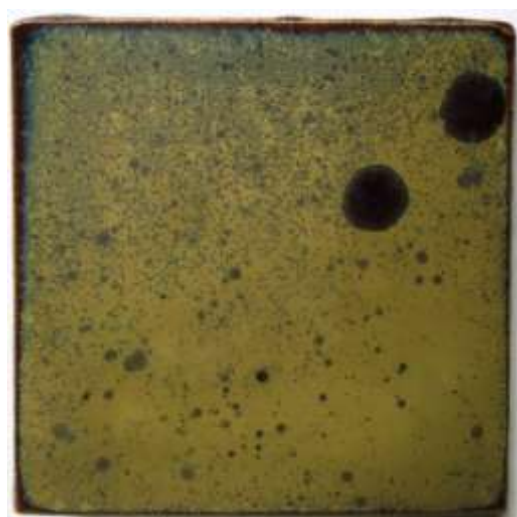
(図 239) MnO 1%, CuO 2%, Co₃O₄ 0.1%
(1100°C—5 時間)



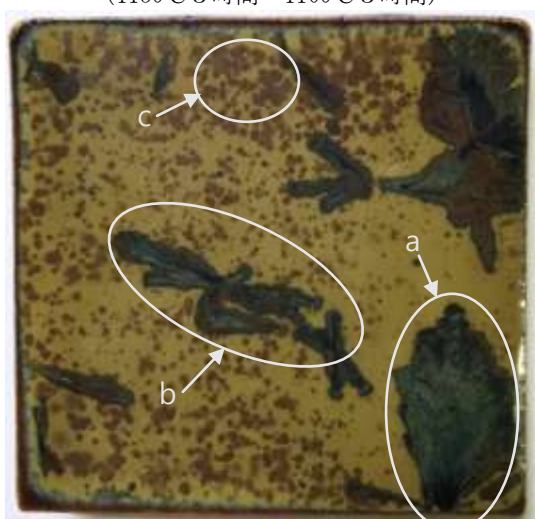
(図 240) MnO 3%, CuO 2%, Co₃O₄ 0.1%
(1100°C—5 時間)



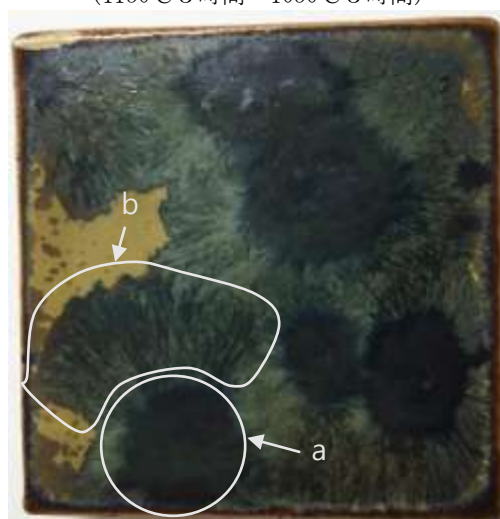
(図241) Fe_2O_3 3%, CuO 1%, NiO_2 2%
(1150°C 3時間—1100°C 3時間)



(図242) Fe_2O_3 3%, CuO 1%, NiO_2 2%
(1150°C 3時間—1050°C 3時間)



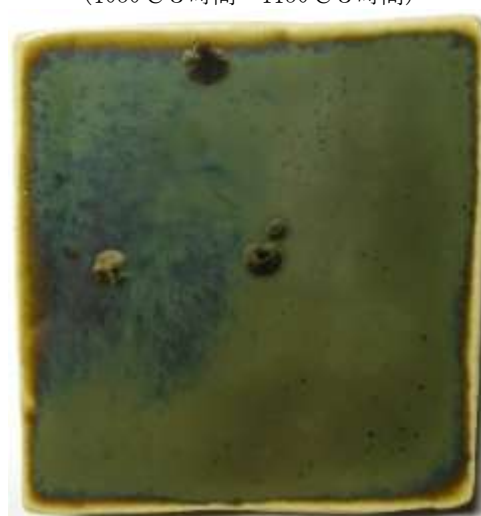
(図243) Fe_2O_3 3%, CuO 1%, NiO_2 2%
(1100°C 3時間—1150°C 3時間)



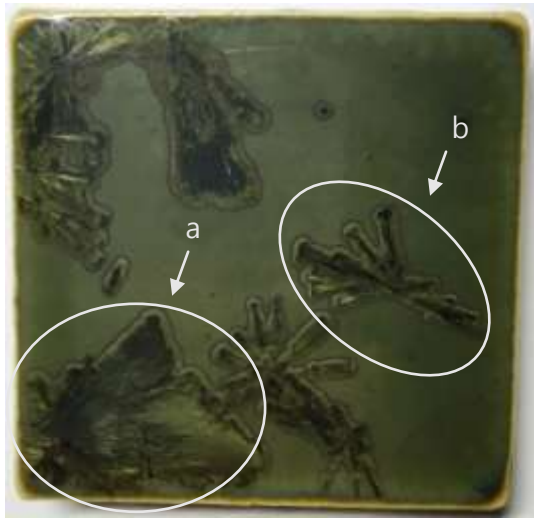
(図244) Fe_2O_3 3%, CuO 1%, NiO_2 2%
(1050°C 3時間—1150°C 3時間)



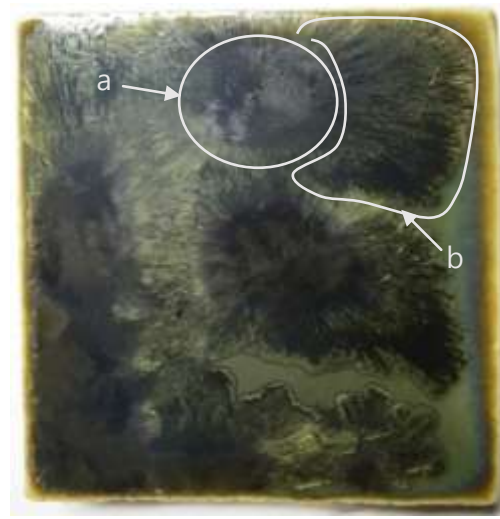
(図245) Fe_2O_3 2%, MnO 1%, CuO 3%
(1150°C 3時間—1100°C 3時間)



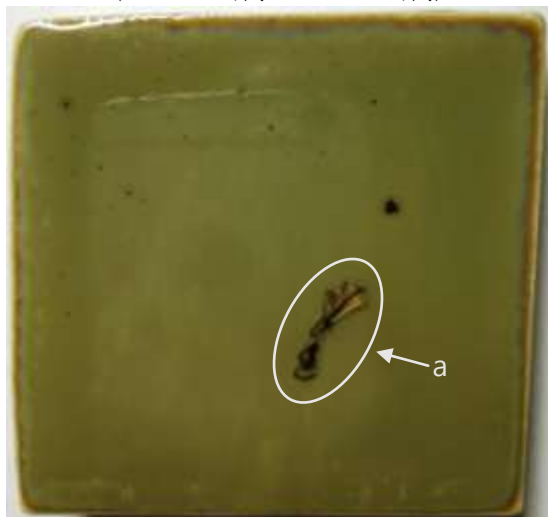
(図246) Fe_2O_3 2%, MnO 1%, CuO 3%
(1150°C 3時間—1050°C 3時間)



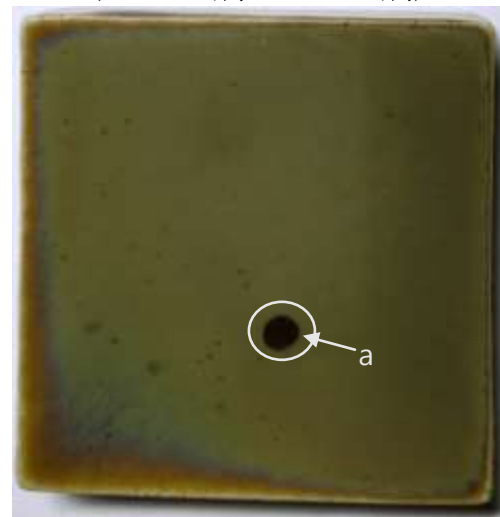
(図247) Fe_2O_3 2 %、 MnO 1 %、 CuO 3 %
(1100°C 3 時間—1150°C 3 時間)



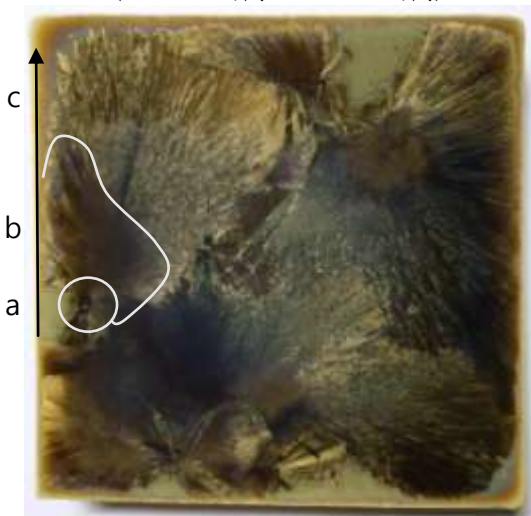
(図248) Fe_2O_3 2 %、 MnO 1 %、 CuO 3 %
(1050°C 3 時間—1150°C 3 時間)



(図249) Fe_2O_3 2 %、 MnO 3 %、 CuO 1 %
(1150°C 3 時間—1100°C 3 時間)



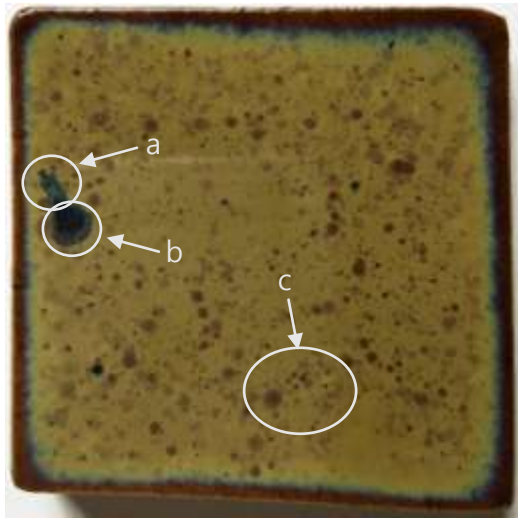
(図250) Fe_2O_3 2 %、 MnO 3 %、 CuO 1 %
(1150°C 3 時間—1050°C 3 時間)



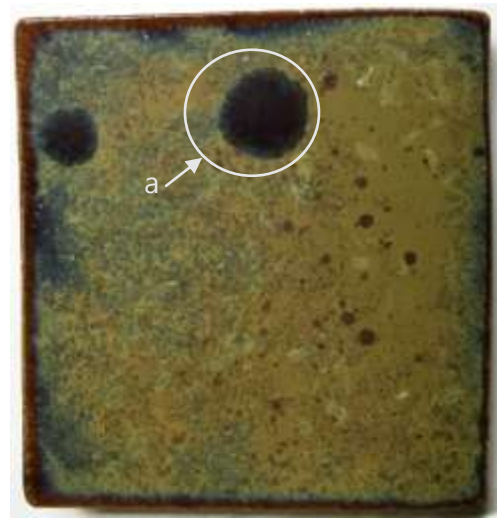
(図251) Fe_2O_3 2 %、 MnO 3 %、 CuO 1 %
(1100°C 3 時間—1150°C 3 時間)



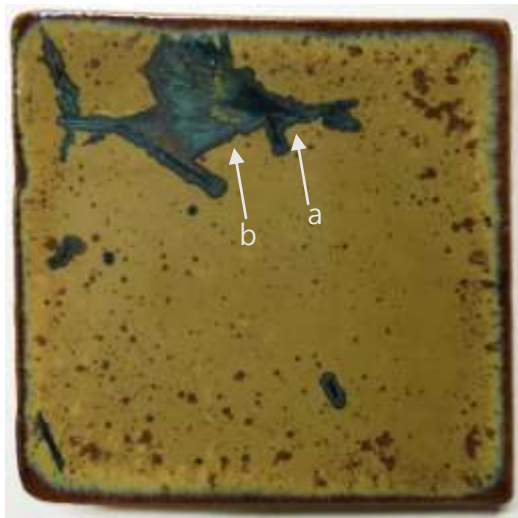
(図252) Fe_2O_3 2 %、 MnO 3 %、 CuO 1 %
(1050°C 3 時間—1150°C 3 時間)



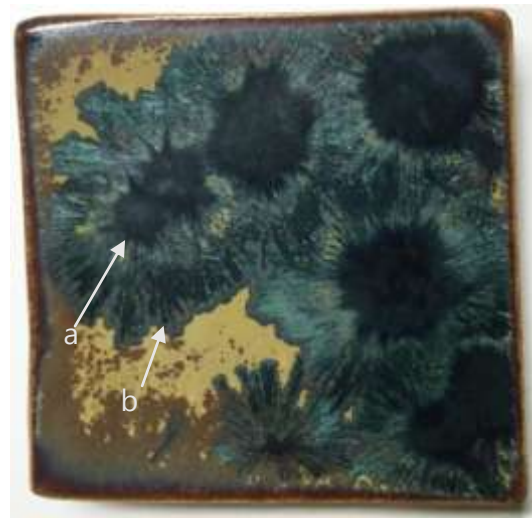
(図253) Fe_2O_3 2 %、 CuO 1 %、 NiO_2 3 %
(1150°C 3 時間—1100°C 3 時間)



(図254) Fe_2O_3 2 %、 CuO 1 %、 NiO_2 3 %
(1150°C 3 時間—1050°C 3 時間)



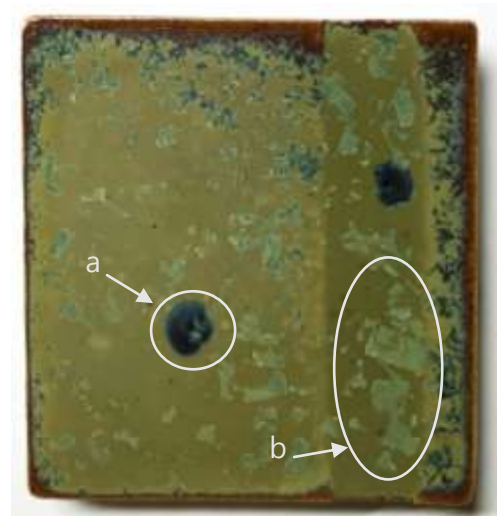
(図255) Fe_2O_3 2 %、 CuO 1 %、 NiO_2 3 %
(1100°C 3 時間—1150°C 3 時間)



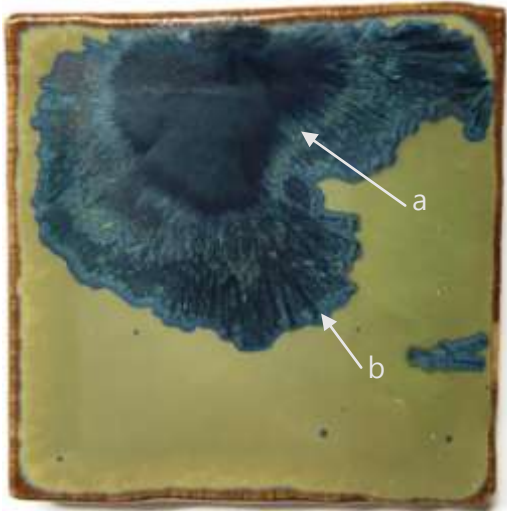
(図256) Fe_2O_3 2 %、 CuO 1 %、 NiO_2 3 %
(1050°C 3 時間—1150°C 3 時間)



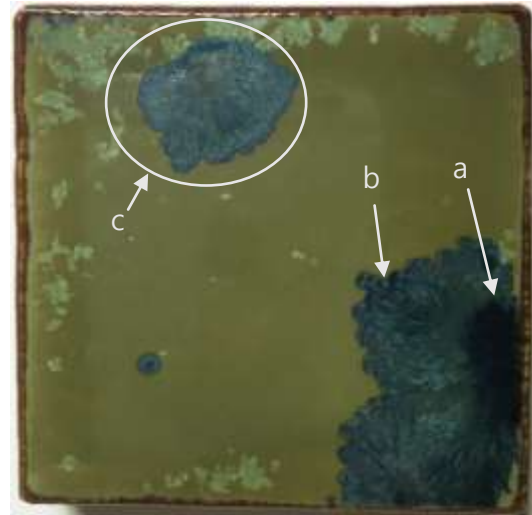
(図257) Fe_2O_3 1 %、 CuO 2 %、 NiO_2 3 %
(1150°C 3 時間—1100°C 3 時間)



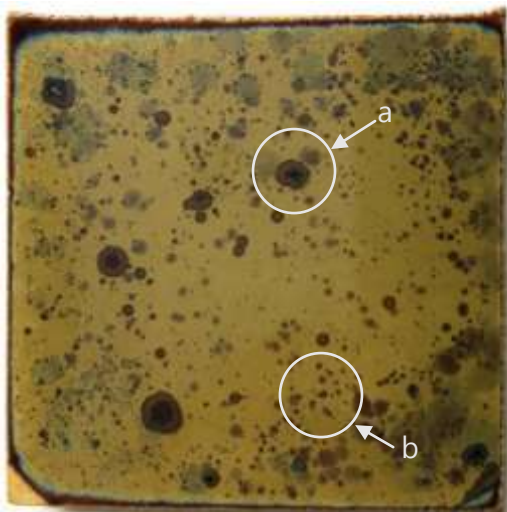
(図258) Fe_2O_3 1 %、 CuO 2 %、 NiO_2 3 %
(1150°C 3 時間—1050°C 3 時間)



(図259) Fe_2O_3 1%, CuO 2%, NiO_2 3%
(1100°C 3時間—1150°C 3時間)



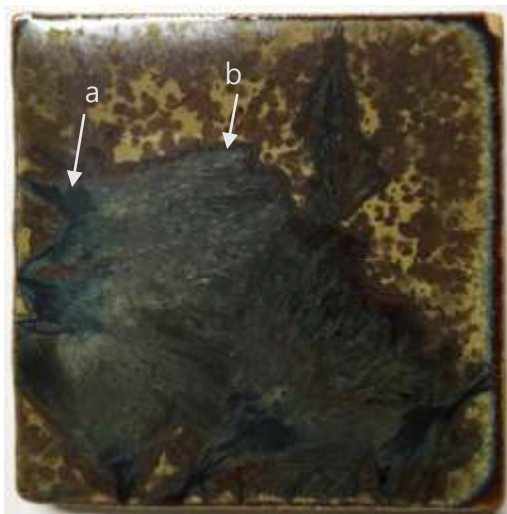
(図260) Fe_2O_3 1%, CuO 2%, NiO_2 3%
(1050°C 3時間—1150°C 3時間)



(図261) Fe_2O_3 4%, CuO 1%, NiO_2 2%
(1150°C 3時間—1100°C 3時間)



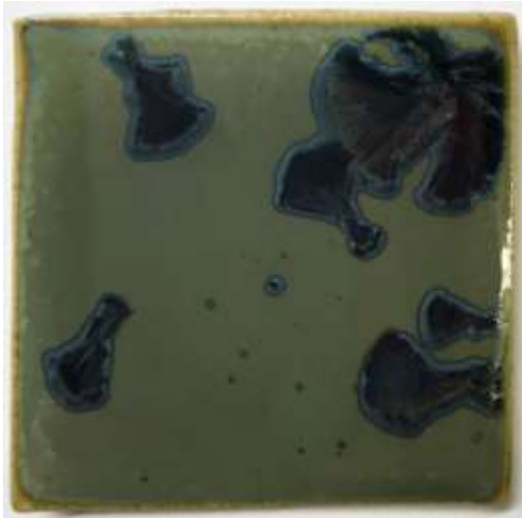
(図262) Fe_2O_3 4%, CuO 1%, NiO_2 2%
(1150°C 3時間—1050°C 3時間)



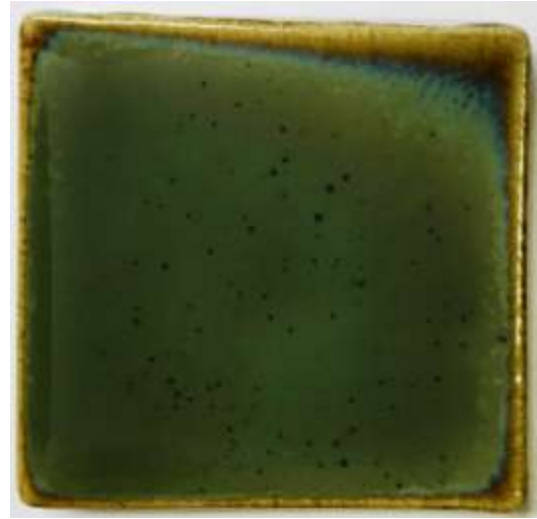
(図263) Fe_2O_3 4%, CuO 1%, NiO_2 2%
(1100°C 3時間—1150°C 3時間)



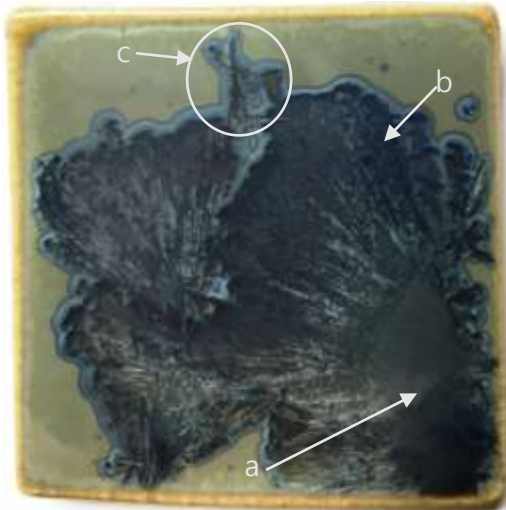
(図264) Fe_2O_3 4%, CuO 1%, NiO_2 2%
(1050°C 3時間—1150°C 3時間)



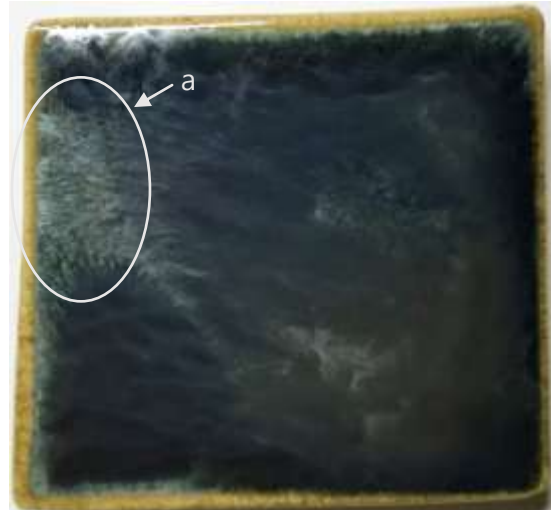
(図265) MnO 4 %、CuO 2 %、NiO₂ 1 %
(1150℃ 3 時間－1100℃ 3 時間)



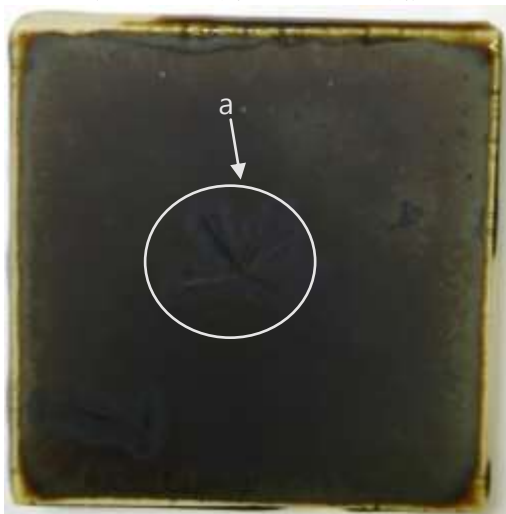
(図266) MnO 4 %、CuO 2 %、NiO₂ 1 %
(1150℃ 3 時間－1050℃ 3 時間)



(図267) MnO 4 %、CuO 2 %、NiO₂ 1 %
(1100℃ 3 時間－1150℃ 3 時間)



(図268) MnO 4 %、CuO 2 %、NiO₂ 1 %
(1050℃ 3 時間－1150℃ 3 時間)



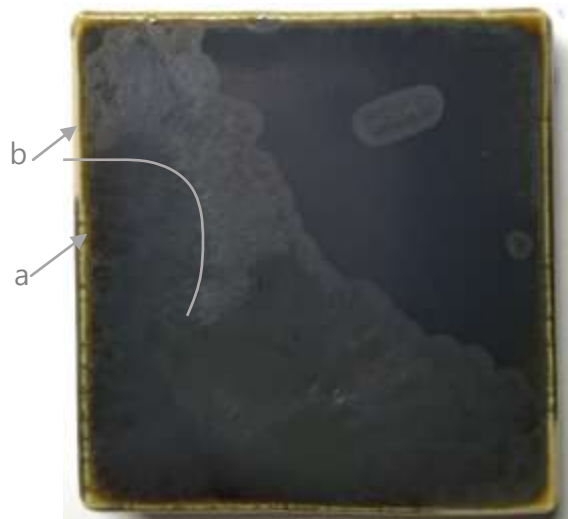
(図269) Fe₂O₃ 3 %、MnO 1 %、CuO 5 %
(1150℃ 3 時間－1100℃ 3 時間)



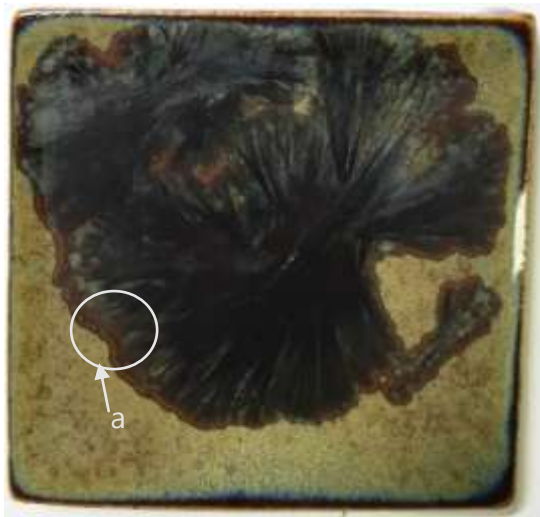
(図270) Fe₂O₃ 3 %、MnO 1 %、CuO 5 %
(1150℃ 3 時間－1050℃ 3 時間)



(図271) Fe_2O_3 3%, MnO 1%, CuO 5%
(1100°C 3時間 - 1150°C 3時間)



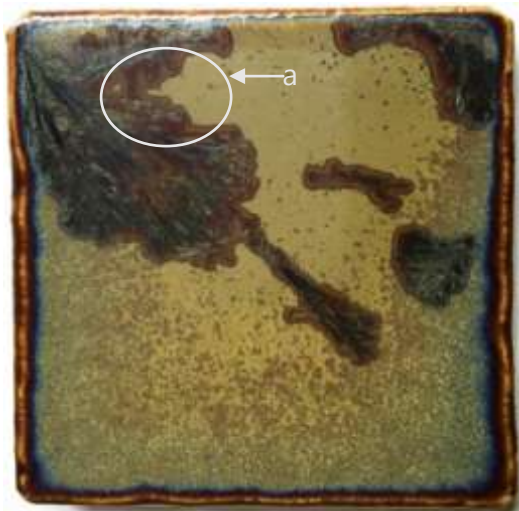
(図272) Fe_2O_3 3%, MnO 1%, CuO 5%
(1050°C 3時間 - 1150°C 3時間)



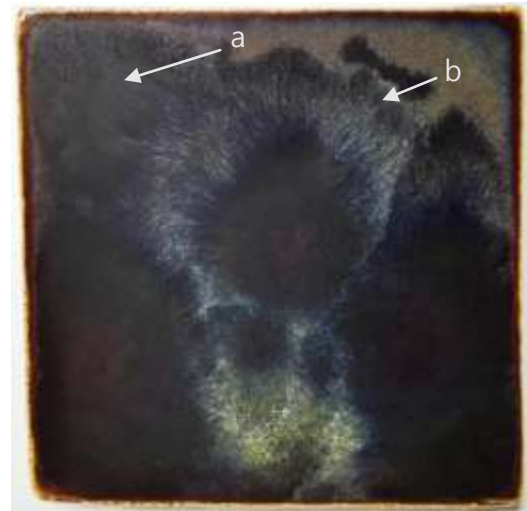
(図273) Fe_2O_3 5%, CuO 1%, NiO_2 1%
(1150°C 3時間 - 1100°C 3時間)



(図274) Fe_2O_3 5%, CuO 1%, NiO_2 1%
(1150°C 3時間 - 1050°C 3時間)



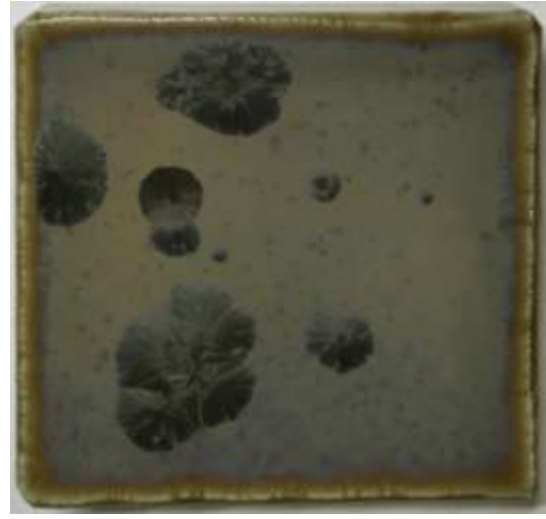
(図275) Fe_2O_3 5%, CuO 1%, NiO_2 1%
(1100°C 3時間 - 1150°C 3時間)



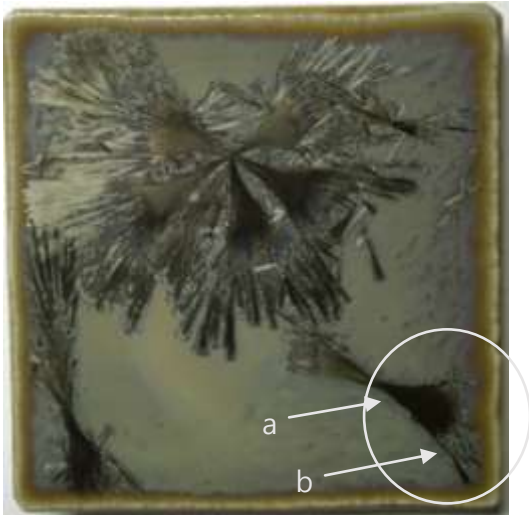
(図276) Fe_2O_3 5%, CuO 1%, NiO_2 1%
(1050°C 3時間 - 1150°C 3時間)



(図277) Fe_2O_3 2%, MnO 3%, Co_3O_4 0.1%
(1150°C 3時間—1100°C 3時間)



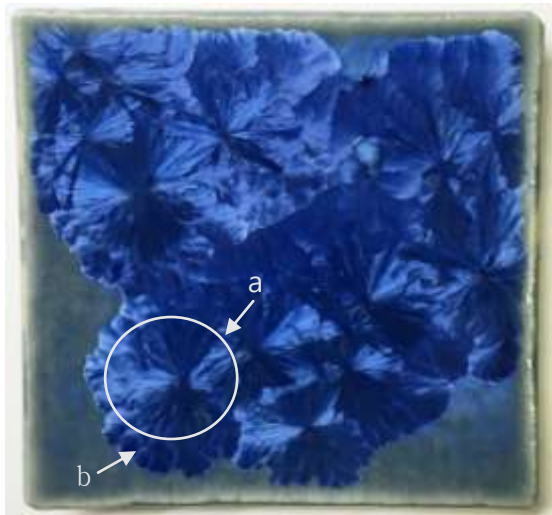
(図278) Fe_2O_3 2%, MnO 3%, Co_3O_4 0.1%
(1150°C 3時間—1050°C 3時間)



(図279) Fe_2O_3 2%, MnO 3%, Co_3O_4 0.1%
(1100°C 3時間—1150°C 3時間)



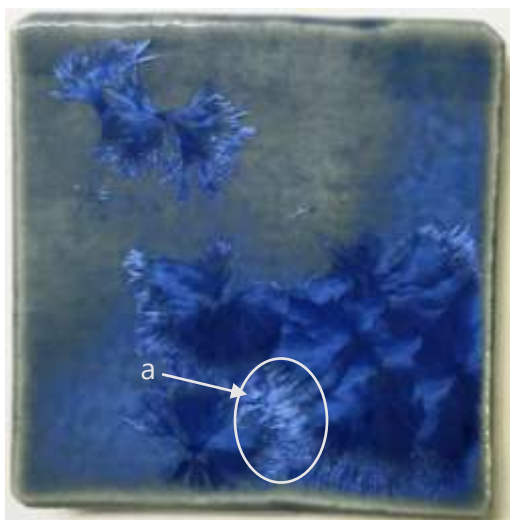
(図280) Fe_2O_3 2%, MnO 3%, Co_3O_4 0.1%
(1050°C 3時間—1150°C 3時間)



(図281) MnO 0.5%, CuO 1%, Co_3O_4 0.3%
(1150°C 3時間—1100°C 3時間)



(図282) MnO 0.5%, CuO 1%, Co_3O_4 0.3%
(1150°C 3時間—1050°C 3時間)



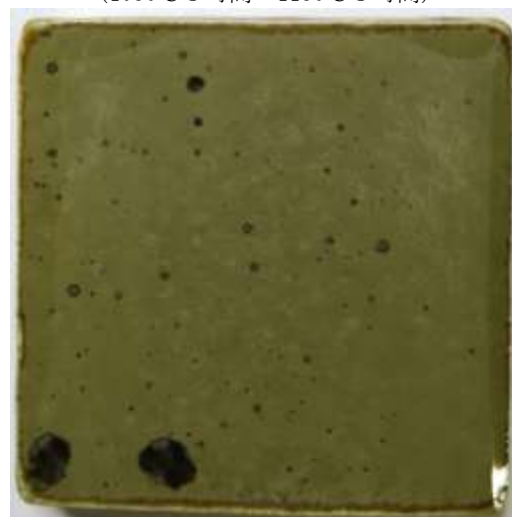
(図283) MnO 0.5%、CuO 1%、Co₃O₄ 0.3%
(1100℃ 3時間—1150℃ 3時間)



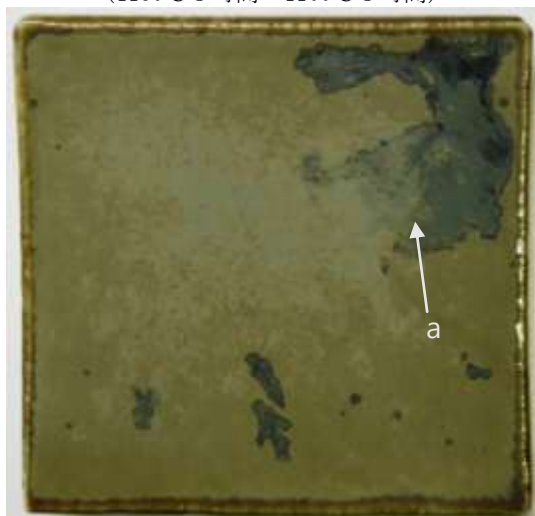
(図284) MnO 0.5%、CuO 1%、Co₃O₄ 0.3%
(1050℃ 3時間—1150℃ 3時間)



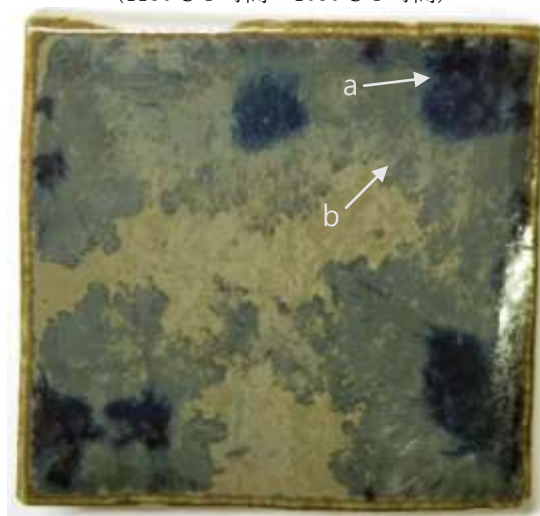
(図285) Fe₂O₃ 4%、CuO 1%、Co₃O₄ 0.6%
(1150℃ 3時間—1100℃ 3時間)



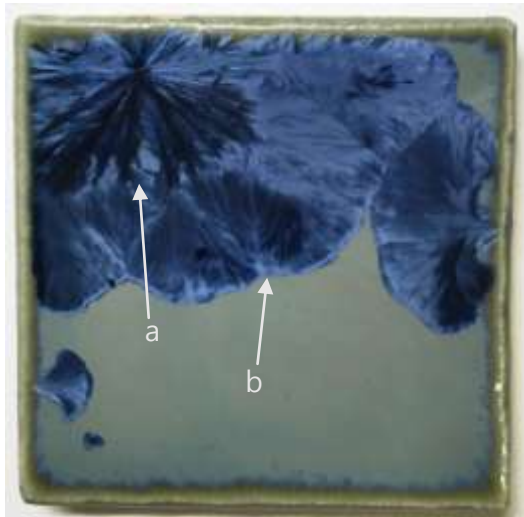
(図286) Fe₂O₃ 4%、CuO 1%、Co₃O₄ 0.6%
(1150℃ 3時間—1050℃ 3時間)



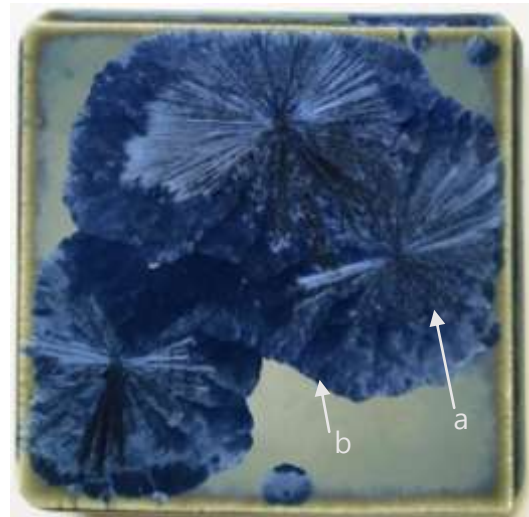
(図287) Fe₂O₃ 4%、CuO 1%、Co₃O₄ 0.6%
(1100℃ 3時間—1150℃ 3時間)



(図288) Fe₂O₃ 4%、CuO 1%、Co₃O₄ 0.6%
(1050℃ 3時間—1150℃ 3時間)



(図289) Fe_2O_3 1 %、 MnO 2 %、 Co_3O_4 0.3 %
(1150°C 3 時間—1100°C 3 時間)



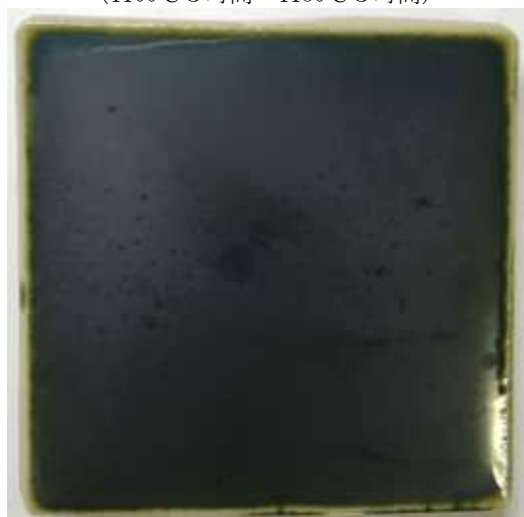
(図290) Fe_2O_3 1 %、 MnO 2 %、 Co_3O_4 0.3 %
(1150°C 3 時間—1050°C 3 時間)



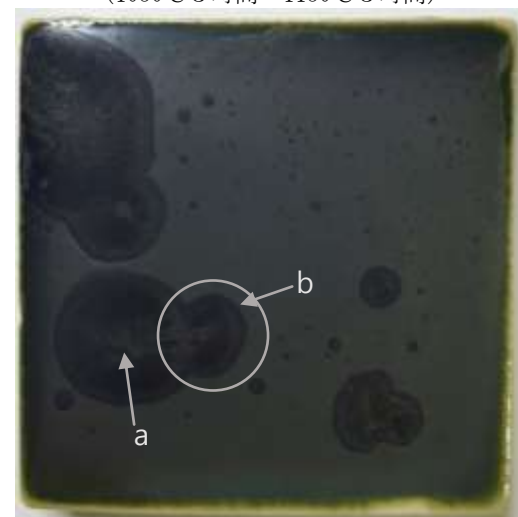
(図291) Fe_2O_3 1 %、 MnO 2 %、 Co_3O_4 0.3 %
(1100°C 3 時間—1150°C 3 時間)



(図292) Fe_2O_3 1 %、 MnO 2 %、 Co_3O_4 0.3 %
(1050°C 3 時間—1150°C 3 時間)



(図293) MnO 2 %、 CuO 8 %
(1150°C 3 時間—1100°C 3 時間)



(図294) MnO 2 %、 CuO 8 %
(1150°C 3 時間—1050°C 3 時間)



(図295) MnO 2%, CuO 8%
(1100℃ 3時間 - 1150℃ 3時間)



(図296) MnO 2%, CuO 8%
(1050℃ 3時間 - 1150℃ 3時間)



(図297) MnO 2%, CuO 8%
(1050℃ 3時間 - 1150℃ 3時間) 拡大



(図298) 素焼き器



(図299) 釉薬の流動性



(図300) Fe_2O_3 2%、 MnO 2%添加 (1100°C 5時間) 実施用



(図301) Fe_2O_3 2%、 MnO 2%添加 (1100°C 5時間) 実施用 拡大



(図302) MnO 1%、NiO₂ 2%添加 (1100℃ 5時間) 実施用



(図303) NiO₂ 1% (1100℃ 5時間) 実施用 拡大



(図 304) Fe_2O_3 5 %、 CuO 1 %、 NiO_2 1 % (1150℃ 5 時間) 実施用



(図305) Fe_2O_3 5 %、 CuO 1 %、 NiO_2 1 % (1150℃ 5 時間) 実施用 拡大



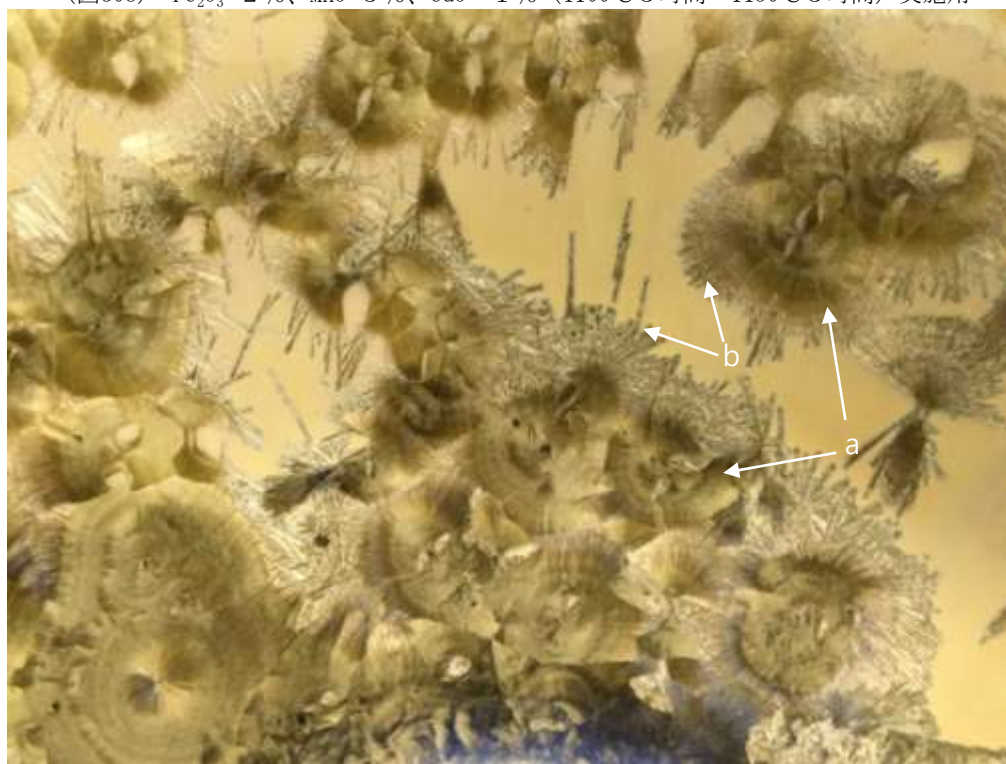
(図306) MnO 1%、CuO 1%添加 (1150℃ 2時間、1100℃ 3時間) 実施用



(図307) MnO 1%、CuO 1%添加 (1150℃ 2時間、1100℃ 3時間) 実施用 拡大



(図308) Fe_2O_3 2 %、 MnO 3 %、 CuO 1 % (1100℃ 3 時間－1150℃ 3 時間) 実施用



(図309) Fe_2O_3 2 %、 MnO 3 %、 CuO 1 % (1100℃ 3 時間－1150℃ 3 時間) 実施用 拡大



(図310) Fe_2O_3 2%、 MnO 1%、 CuO 2% (結晶成長温度 微調節) 実施用



(図311) Fe_2O_3 2%、 MnO 1%、 CuO 2% (結晶成長温度 微調節) 実施用 拡大



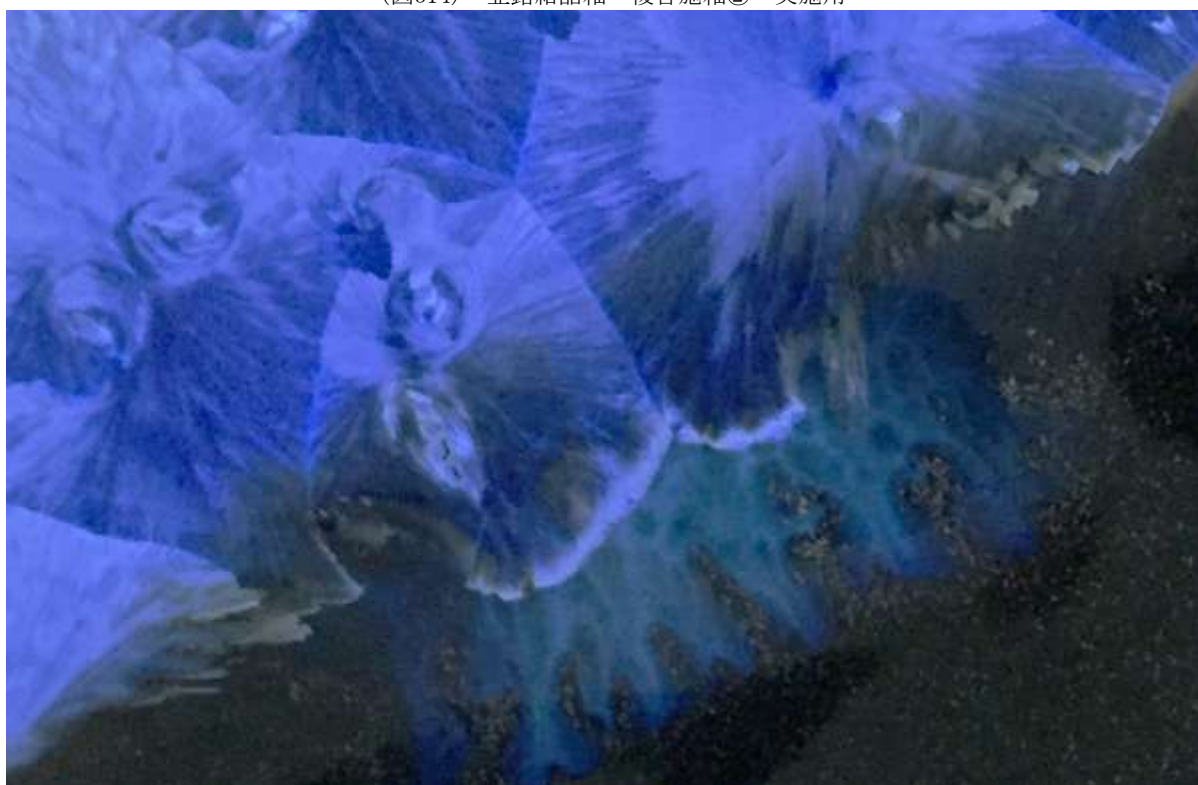
(図312) 亜鉛結晶釉 複合施釉① 実施用



(図313) 亜鉛結晶釉 複合施釉① 実施用 拡大



(図314) 亜鉛結晶釉 複合施釉② 実施用



(図315) 亜鉛結晶釉 複合施釉② 実施用 拡大

作品



作品リスト

- ・ 銀河のかけら I
- ・ 銀河のかけら II
- ・ 銀河のかけら III
- ・ 宇宙、その向こう
- ・ 銀河のかけら IV
- ・ 銀河のかけら V
- ・ 宇宙その向こう II



「銀河のかけらⅠ」

半磁器土、亜鉛結晶釉
ろくろ成形

180 x 180 x 100



「銀河のかけらⅡ」

半磁器土、亜鉛結晶釉、白マット釉
ろくろ成形

160 x 160 x 55



「銀河のかけらⅢ」

半磁器土、亜鉛結晶釉
ろくろ成形

140 x 140 x 80



「宇宙、その向こう」

半磁器土、亜鉛結晶釉、黒釉
ろくろ成形

100 x 100 x 10



「銀河のかけらⅣ」

半磁器土、亜鉛結晶釉
ろくろ成形

380 x 380 x 60



「銀河のかけらⅤ」

半磁器土、亜鉛結晶釉
ろくろ成形

450 x 450 x 60



「宇宙、その向こうⅡ」

半磁器土、亜鉛結晶釉
ろくろ成形

320 x 320 x 120