

参考資料

- ・ テールブラシの固着物の分析、裏込め注入材とテールシール材との混合物の一軸圧縮試験結果

1. 採取試料の分析

採取試料 A～Z、AA について、比較試料（ア：裏込め注入材、イ：テールグリス A、ウ：止水材、カ：充填材）のどの材料に該当するか赤外吸収スペクトル、形態観察、組成分析を実施し分析した。

1. 1 比較試料の赤外吸収スペクトル

(1) 比較試料イ(テールグリス A)

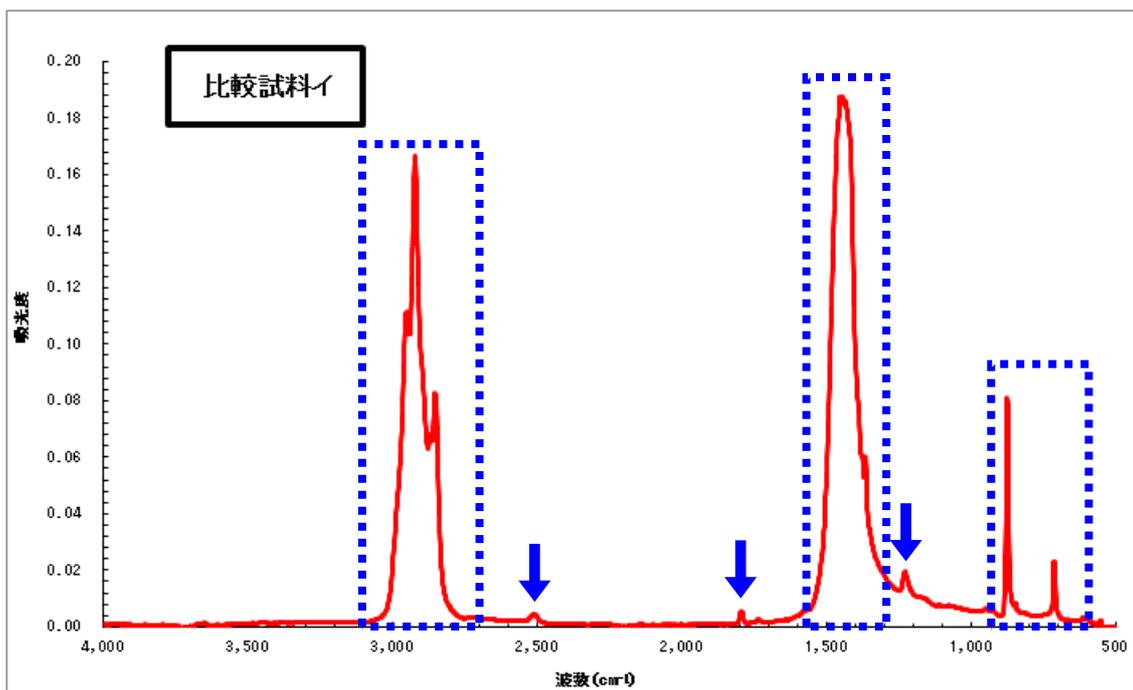


図 1.1 比較試料イ(テールグリス A)の赤外吸収スペクトル

表 1.1 比較試料イの赤外吸収スペクトル上の特徴的な吸収帯

No.	吸収又は吸収帯 (cm^{-1})	ピークトップ の波数(cm^{-1})	備考
1	3,000~2,800	2,952	-CH ₃ に由来する吸収。
2		2,924	-CH ₂ -に由来する吸収。
3		2,854	-CH ₃ に由来する吸収。
4		2,871	-CH ₂ -に由来する吸収。
5	2,511	2,511	HCO ₃ ⁻ に由来する吸収。
6	1,795	1,795	HCO ₃ ⁻ に由来する吸収。
7	1,560~1,240	1,454 付近	-CH ₃ や-CH ₂ -に由来する吸収と CO ₃ ²⁻ や HCO ₃ ⁻ に由来する吸収が重なった吸収。
8	1,365	1,365	三級ブチル C-H 対称変角による吸収。
9	1,230	1,230	三級ブチル骨格に由来する吸収。
10	876	876	CO ₃ ²⁻ に由来する吸収。
11	714	714	CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ に由来する吸収。

IR スペクトルのパターンから、比較試料イはブチルゴム・エラストマーと炭酸カルシウムの混合物と推定される。なお、図中に示した青色の点線で囲った吸収帯と青色の矢印で示した吸収は比較試料イ(テールグリス A)に特徴的な吸収帯又は吸収を示したものである。

(2) 比較試料ア(裏込め注入材)

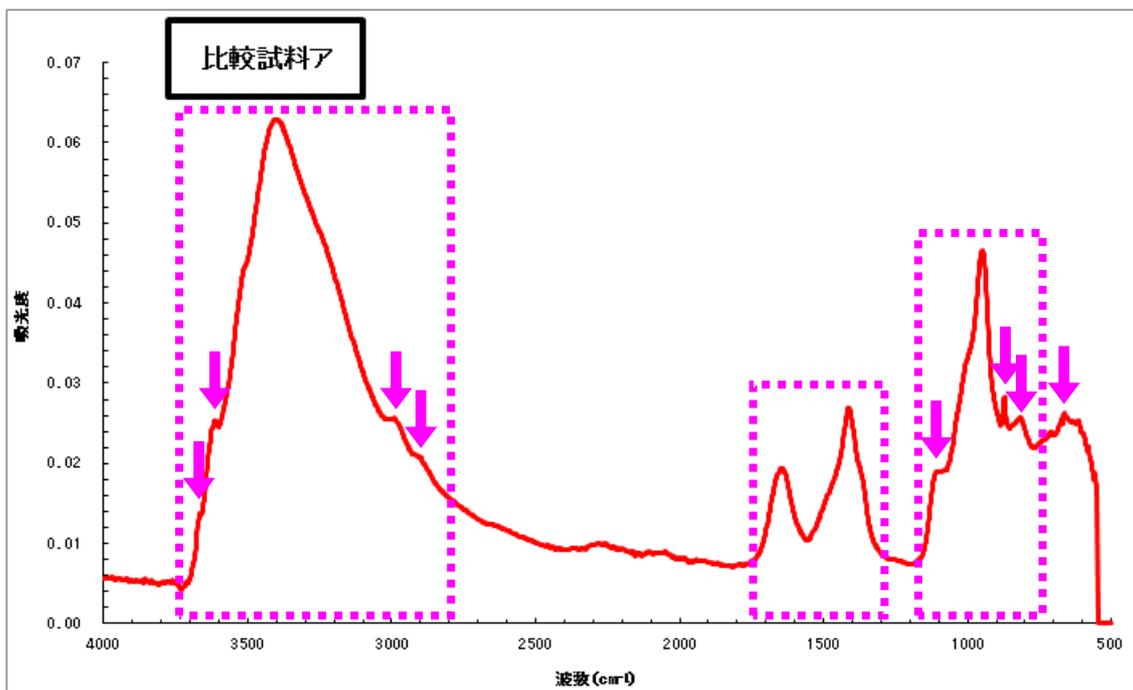


図 1.2 比較試料ア(裏込め注入材)の赤外吸収スペクトル

表 1.2 比較試料アの赤外吸収スペクトル上の特徴的な吸収帯

No.	吸収帯又は吸収 (cm^{-1})	ピークトップ の波数(cm^{-1})	備考
1	3,666	3,666	Si-OH や鋳物に含まれる非会合 OH 基に由来する吸収。鋳物の存在が示唆される。
2	3,616	3,616	Si-OH や鋳物に含まれる非会合 OH 基に由来する吸収。鋳物の存在が示唆される。
3	3,700~2,800	3,404	-OH 基に由来する吸収。水分による吸収と考えられる。
4	2,989	2,989	-CH ₃ に由来する吸収。
5	2,900	2,900	-CH ₃ に由来する吸収。
6	1,700~1,550	1,643	-OH に由来する吸収。水分による吸収と考えられる。
7	1,500~1,300	1,414	CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ に由来する吸収及び不飽和脂肪族の =CH 基による吸収。炭酸塩及び樹脂の存在が示唆される。
9	1,200~900	1,000 付近	SiO ₃ ²⁺ , Si-O-Si 伸縮に由来する吸収。けい酸塩鋳物の存在が示唆される。
10		949	CH ₂ =CHR(トランス-CH=CH-)に由来する吸収か。
11	872	872	CO ₃ ²⁻ に由来する吸収。炭酸塩の存在が示唆される。
12	850~800	818	-CH ₂ =CH による吸収か。1,420~1,410 cm^{-1} の =CH と対。
13	665	665	CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ に由来する吸収。炭酸塩の存在が示唆される。

IR スペクトルのパターンから、比較試料アには水分が含まれ、タルクやベントナイ

ト、クレー、けい藻土などの鉱物や炭酸カルシウム、樹脂などが混合されたものと考えられた。なお、図中に示した桃色の点線で囲った吸収帯と桃色の矢印で示した吸収は比較試料ア(裏込め注入材)に特徴的な吸収帯又は吸収を示したものである。

(3) 比較試料ウ(止水材)

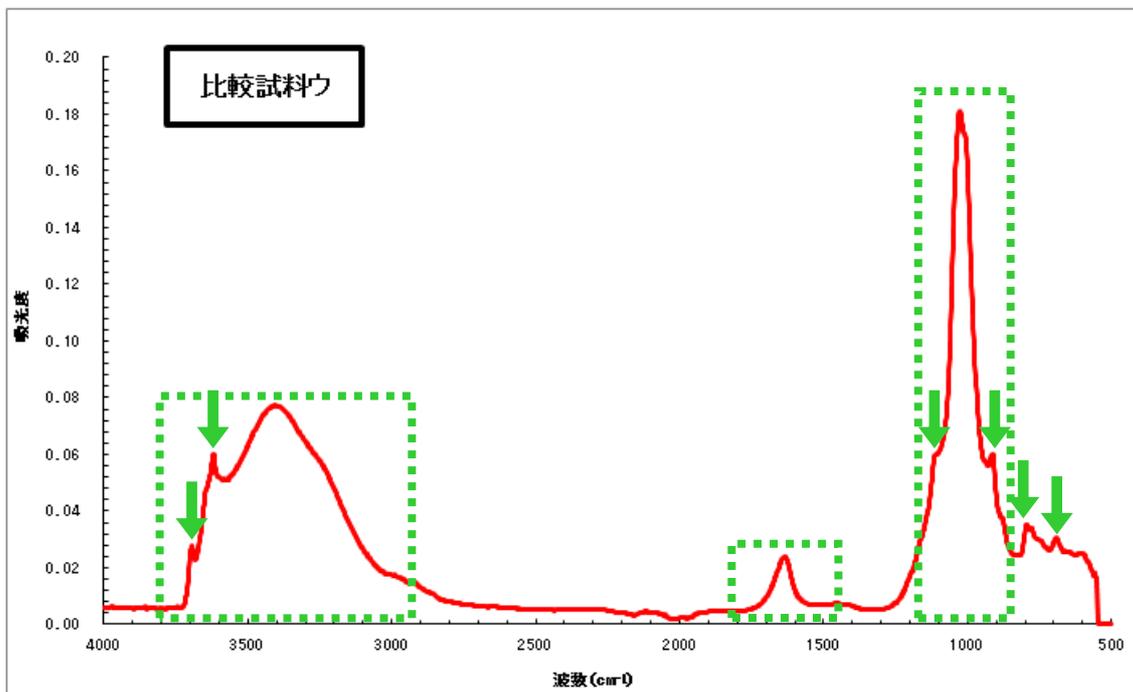


図 1.3 比較試料ウ(止水材)の赤外吸収スペクトル

表 1.3 比較試料ウの赤外吸収スペクトル上の特徴的な吸収帯

No.	吸収帯又は吸収 (cm^{-1})	ピークトップ の波数(cm^{-1})	備考
1	3,695	3,695	Si-OH(シラノール基)や鋳物に含まれる OH 基に由来する吸収。鋳物の存在が示唆される。
2	3,620	3,620	Si-OH(シラノール基)や鋳物に含まれる OH 基に由来する吸収。鋳物の存在が示唆される。
3	3,700~3,050	3,408	-OH 基に由来する吸収。水分による吸収と考えられる。
4	1,700~1,600	1,633	-OH に由来する吸収。水分による吸収と考えられる。
5	1,115	1,115	Si-O-Si に由来する吸収。けい酸塩鋳物の存在が示唆される。
6	1,100~930	1,028	Si-O-Si に由来する吸収。けい酸塩鋳物の存在が示唆される。
7	914	914	不明。
8	800~710	795	不明。
9	694	694	CO_3^{2-} , HCO_3^- に由来する吸収。炭酸塩の存在が示唆される。

IR スペクトルのパターンから、比較試料ウには水分が含まれ、タルクやベントナイト、クレイ、けい藻土などの鋳物などが混合されたものと考えられた。なお、図中に示した緑色の点線で囲った吸収帯と緑色の矢印で示した吸収は比較試料ウ(止水材)に特徴的な吸収帯又は吸収を示したものである。

(4) 比較試料カ(充填材)

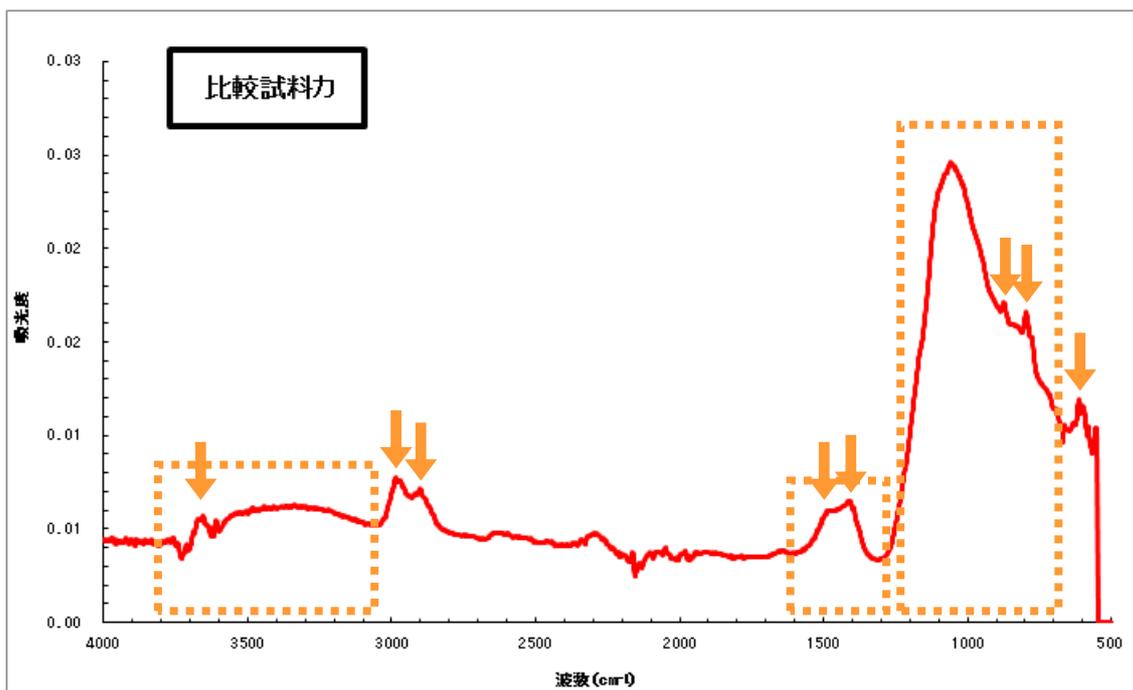


図 1.4 比較試料カ(充填材)の赤外吸収スペクトル

表 1.4 比較試料カの赤外吸収スペクトル上の特徴的な吸収帯

No.	吸収帯又は吸収 (cm^{-1})	ピークトップ の波数(cm^{-1})	備考
1	3,654	3,654	Si-OH(シラノール基)や鋳物に含まれる OH 基に由来する吸収。鋳物の存在が示唆される。
2	3,700~3,050	3,340	-OH 基に由来する吸収。水分による吸収と考えられる。
3	2,987	2,987	-CH ₃ に由来する吸収。
4	2,900	2,900	-CH ₂ - に由来する吸収。
5	1,600~1,300	1,475	CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ に由来する吸収。
6		1,412	CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ に由来する吸収。
7	1,300~900	1,057	Si-O-Si に由来する吸収。
8	874	874	CO ₃ ²⁻ に由来する吸収。
9	796	796	不明。
10	613	613	不明。

IR スペクトルのパターンから、比較試料カは、タルクやベントナイト、クレー、けい藻土などの鋳物や炭酸カルシウムなどが混合されたものと考えられた。なお、図中に示した橙色の点線で囲った吸収帯と橙色の矢印で示した吸収は比較試料カ(充填材)に特徴的な吸収帯又は吸収を示したものである。

1. 2 調査試料の赤外吸収スペクトル

(1) 調査試料 A

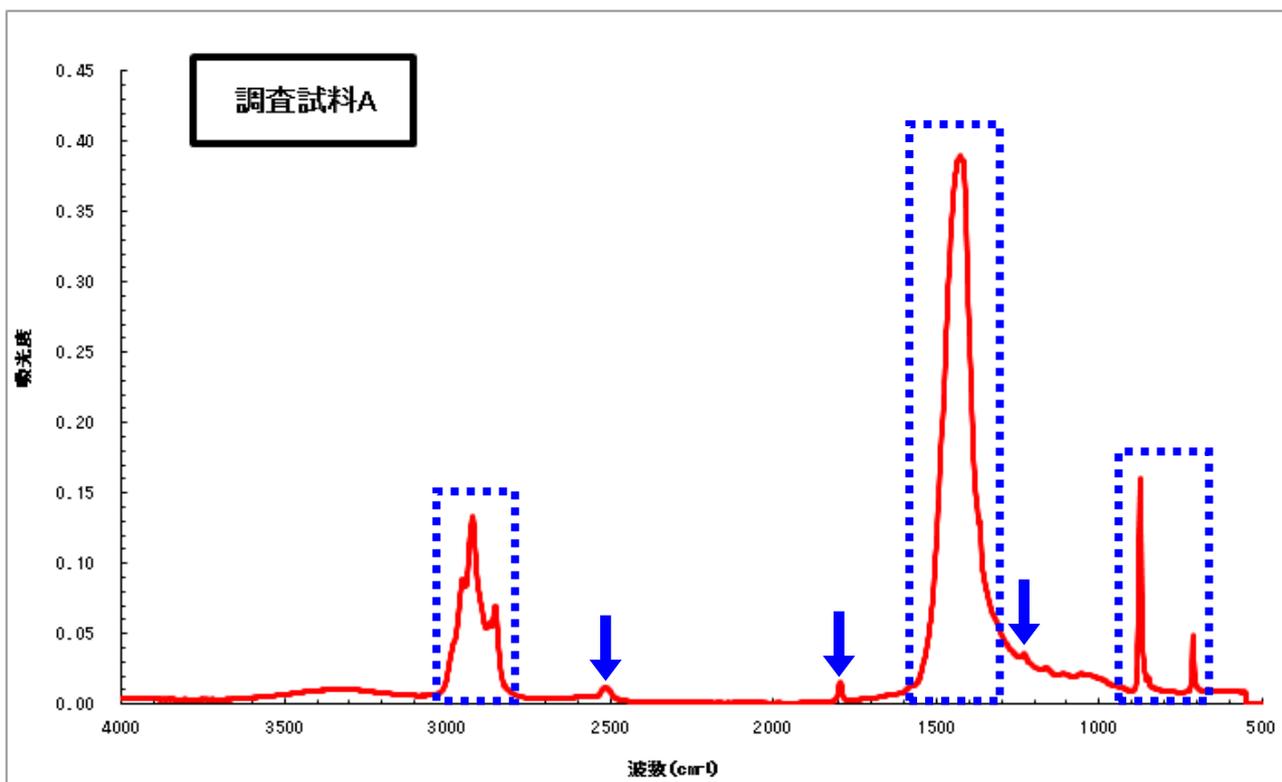


図 1.5 調査試料 A の赤外吸収スペクトル

(2) 調査試料 B

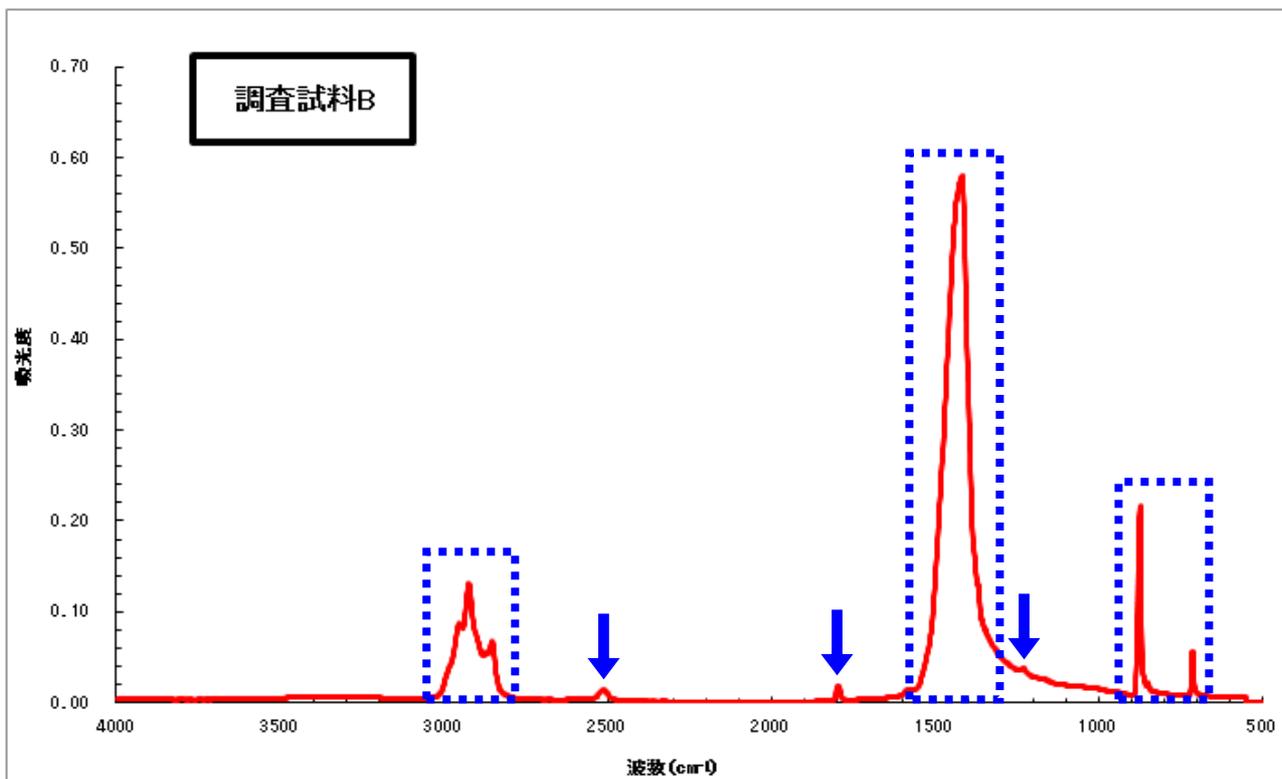


図 1.6 調査試料 B の赤外吸収スペクトル

(3) 調査試料 C

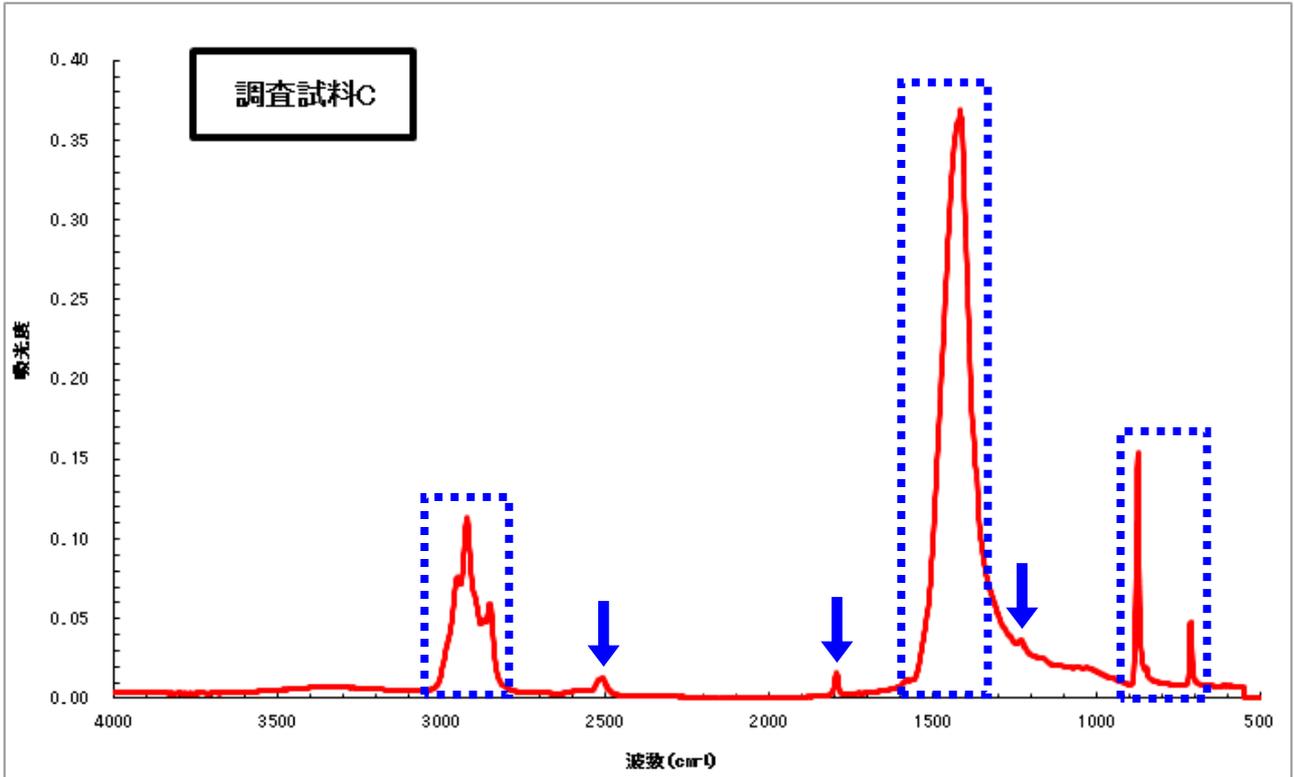


図 1.7 調査試料 C の赤外吸収スペクトル

(4) 調査試料 D

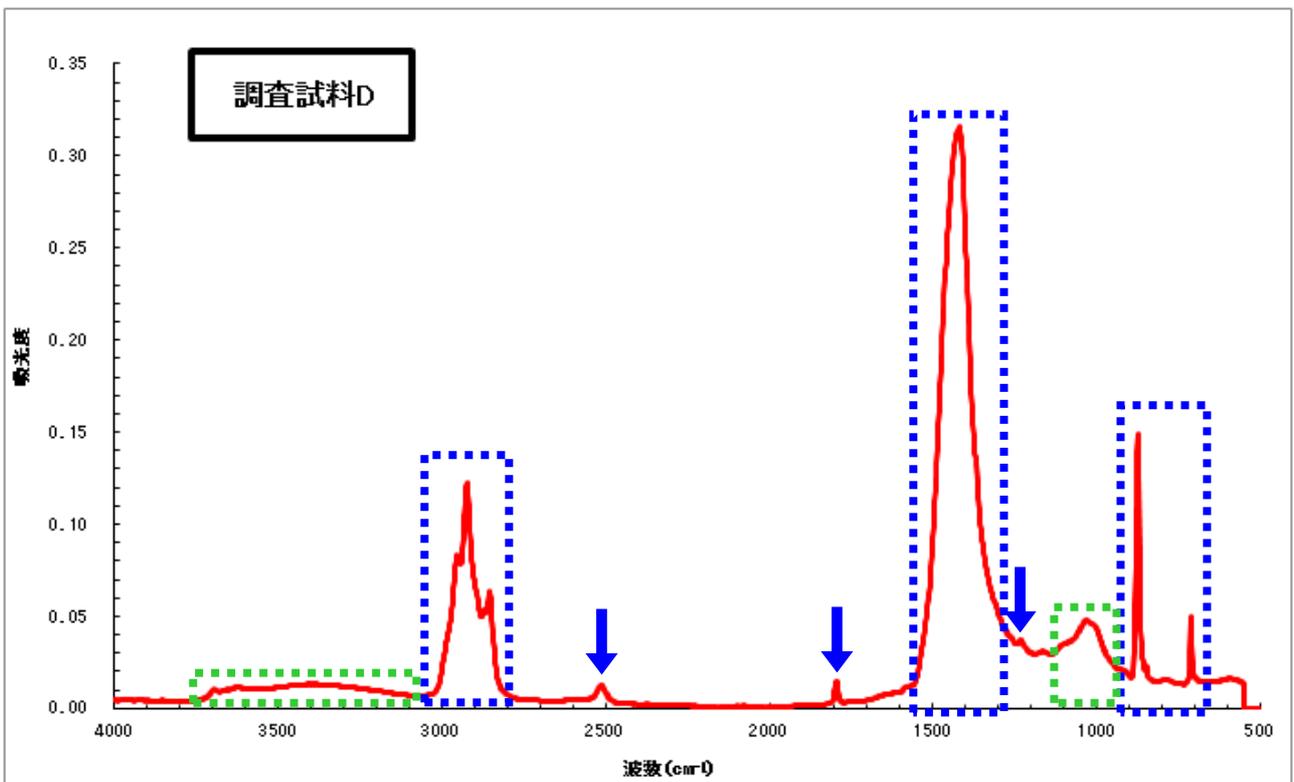


図 1.8 調査試料 D の赤外吸収スペクトル

(5) 調査試料 E

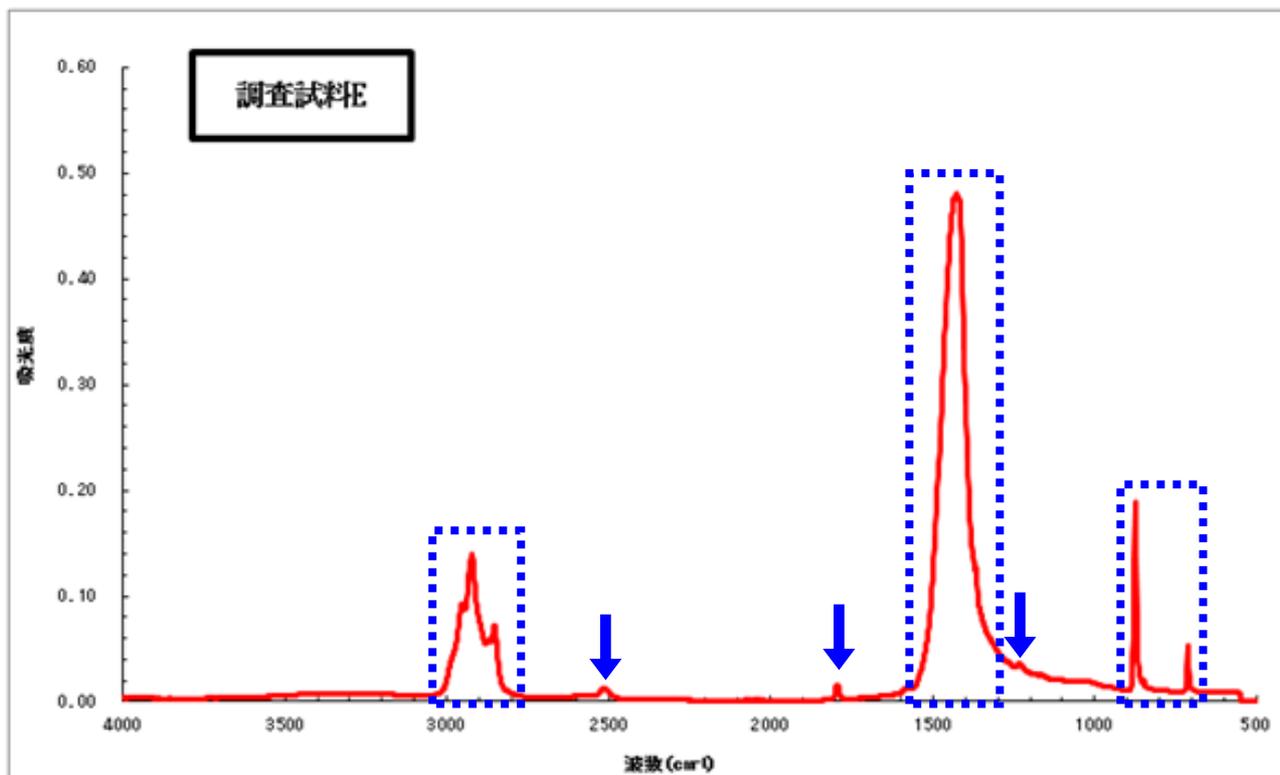


図 1.9 調査試料 E の赤外吸収スペクトル

(6) 調査試料 F

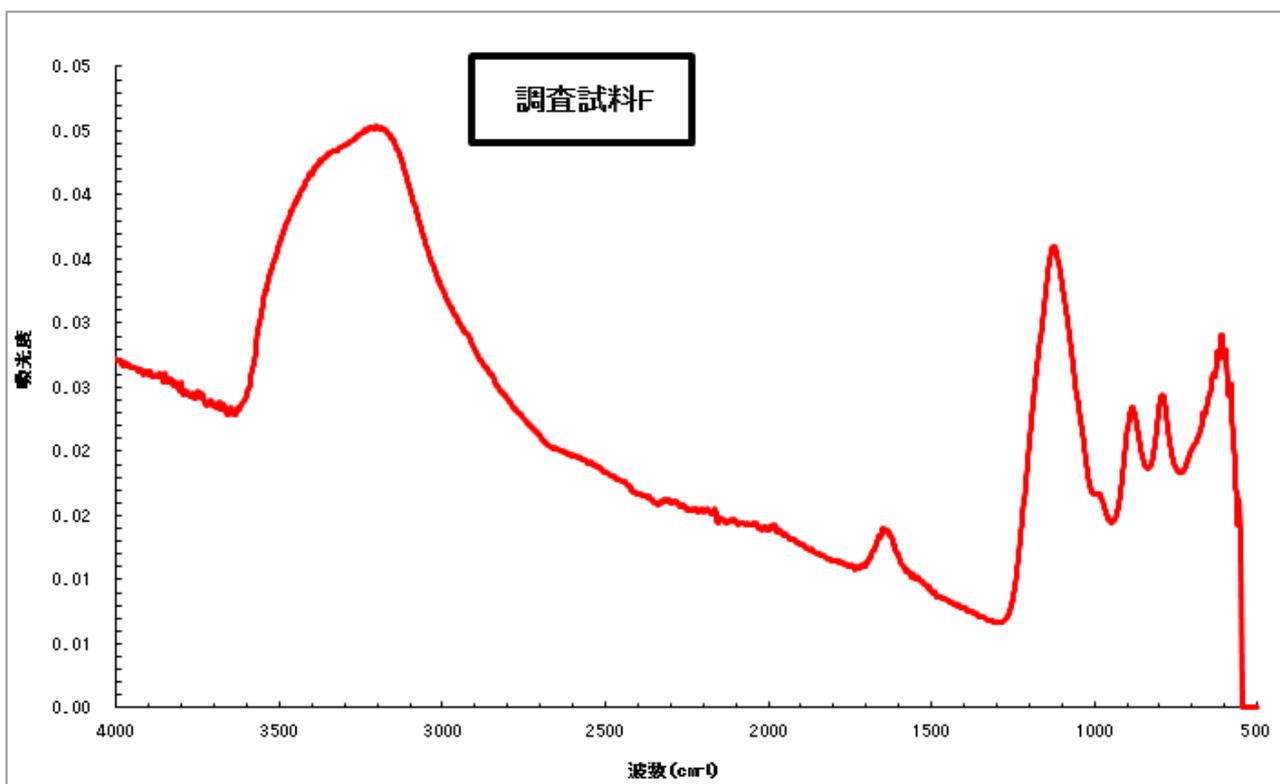


図 1.10 調査試料 F の赤外吸収スペクトル

(7) 調査試料 G

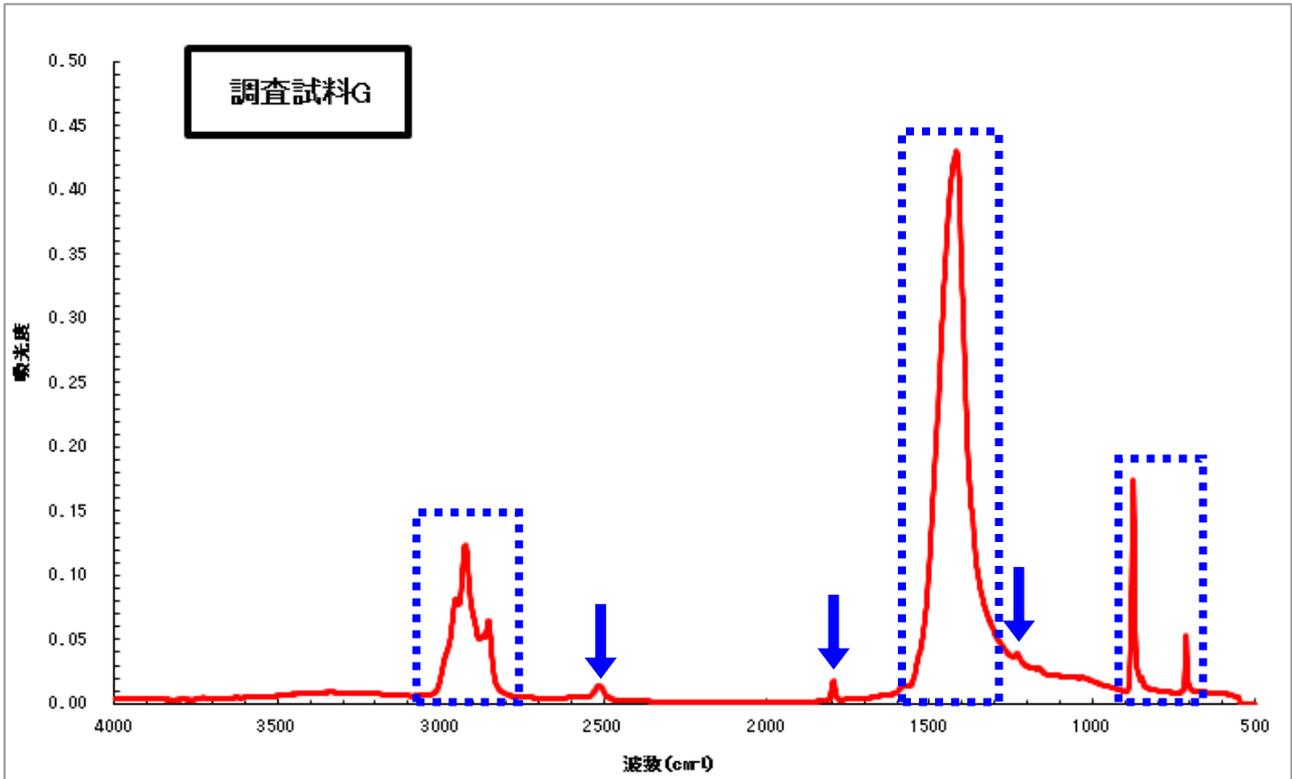


図 1.11 調査試料 G の赤外吸収スペクトル

(8) 調査試料 H

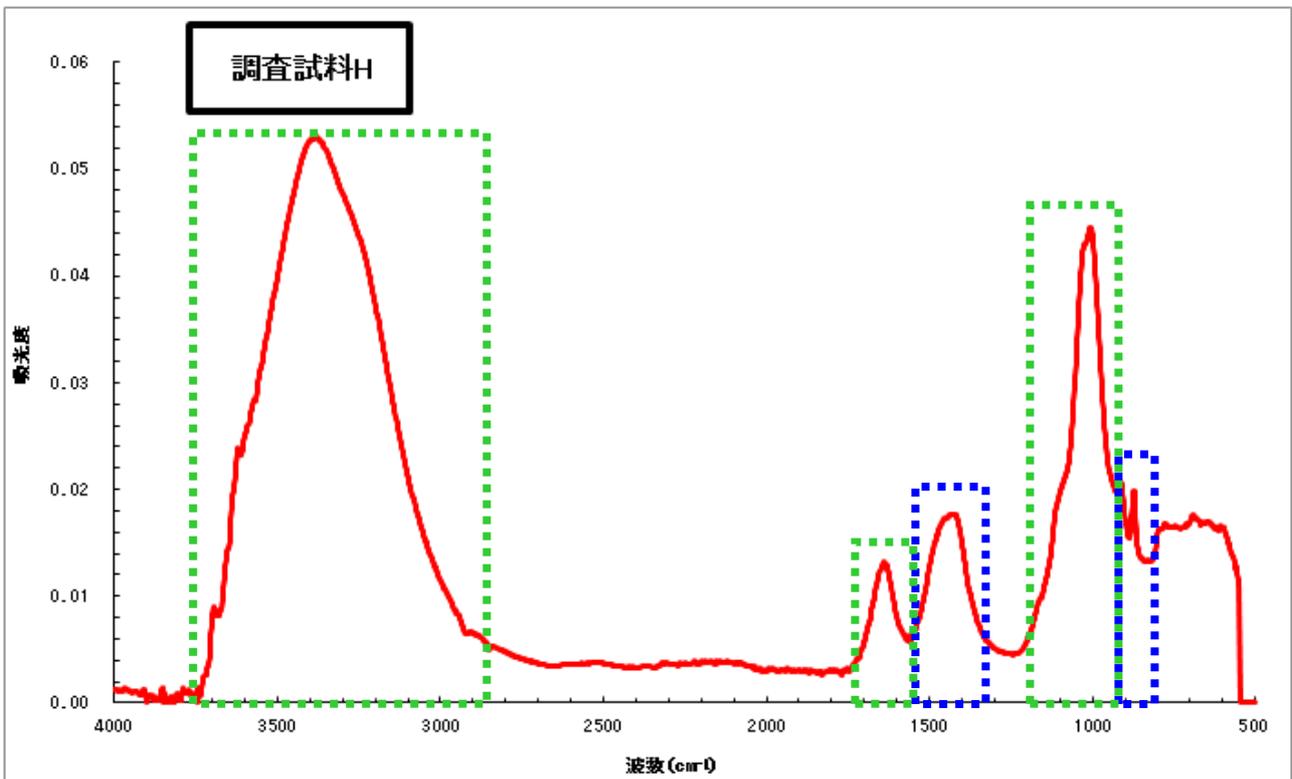


図 1.12 調査試料 H の赤外吸収スペクトル

(9) 調査試料 I

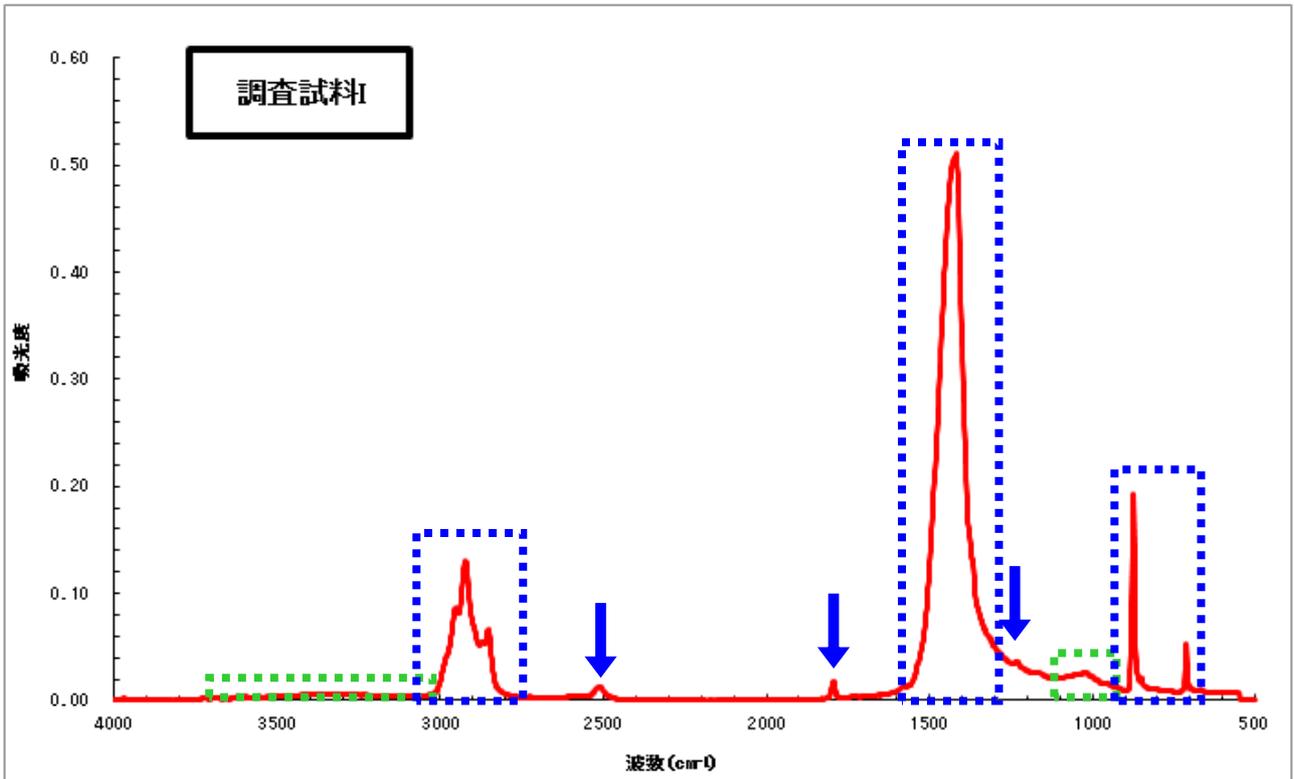


図 1.13 調査試料 I の赤外吸収スペクトル

(10) 調査試料 J

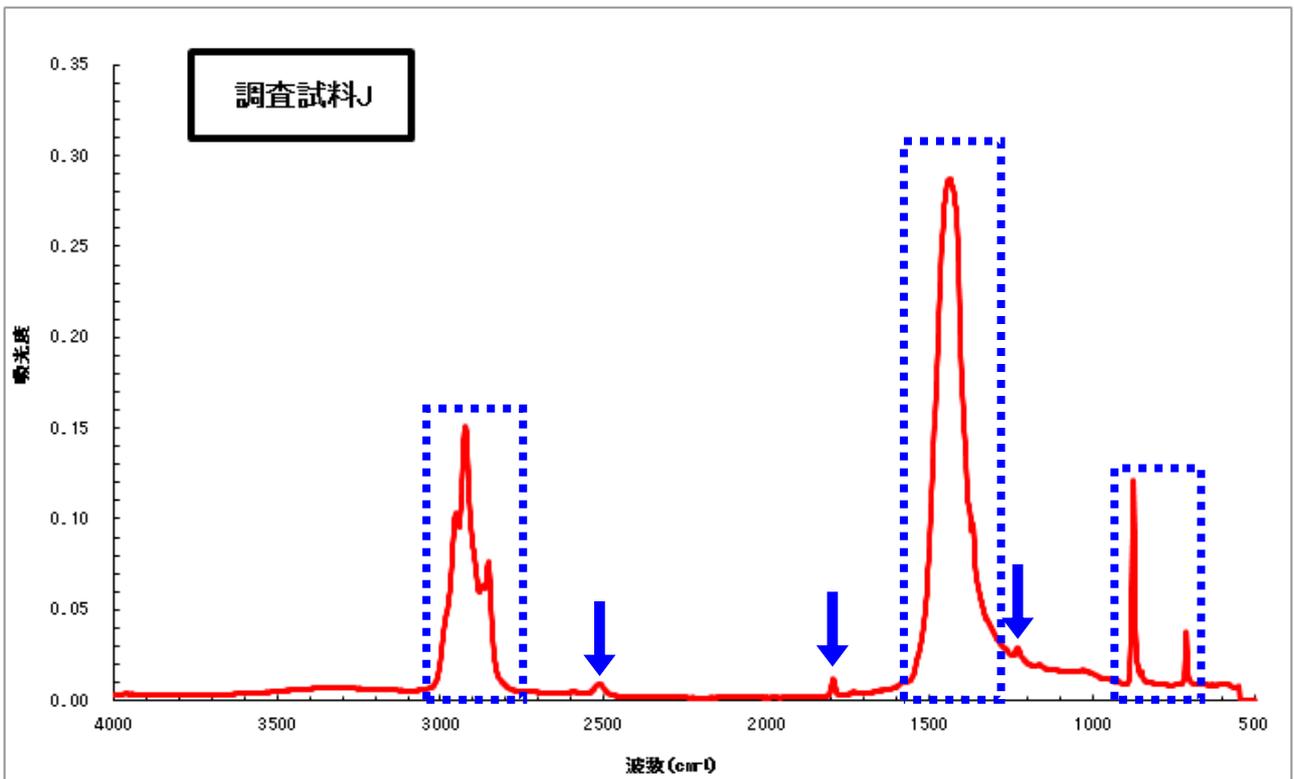


図 1.14 調査試料 J の赤外吸収スペクトル

(1 1) 調査試料 K

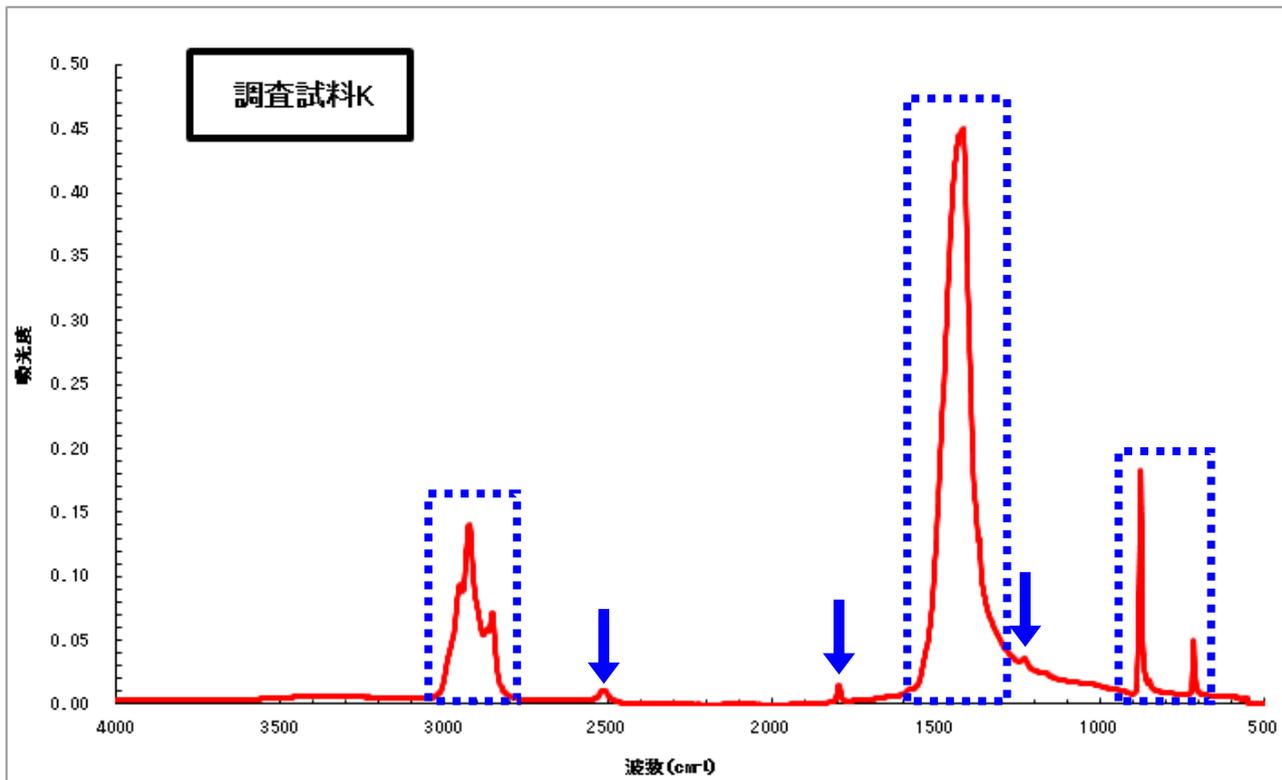


図 1.15 調査試料 K の赤外吸収スペクトル

(1 2) 調査試料 L

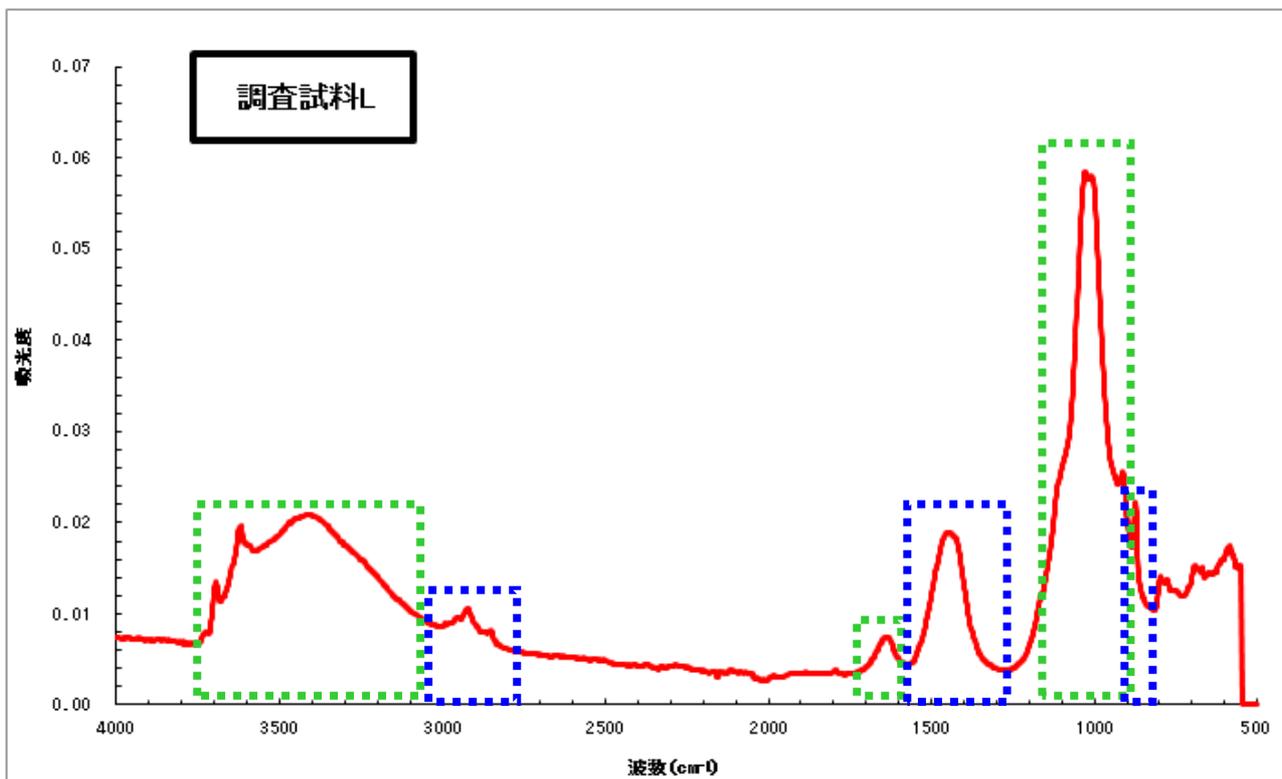


図 1.16 調査試料 L の赤外吸収スペクトル

(13) 調査試料 M

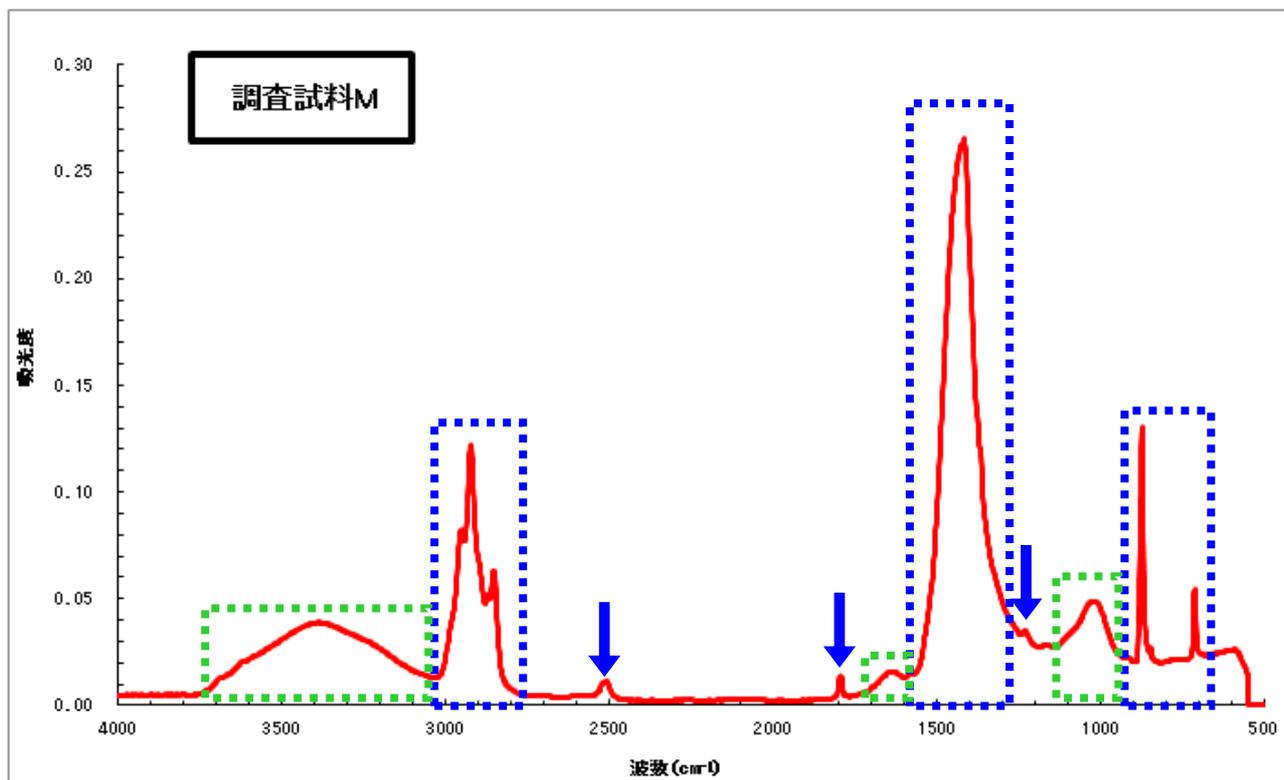


図 1.17 調査試料 M の赤外吸収スペクトル

(14) 調査試料 N

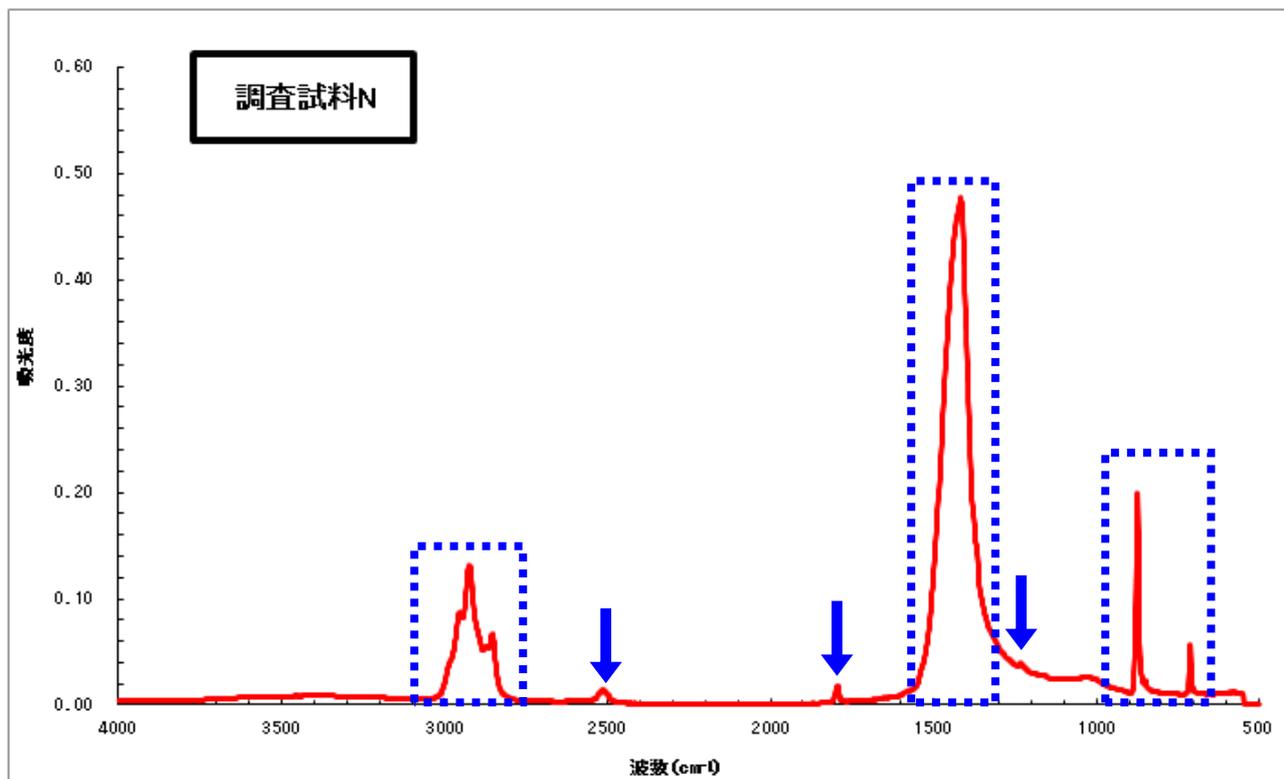


図 1.18 調査試料 N の赤外吸収スペクトル

(15) 調査試料 O

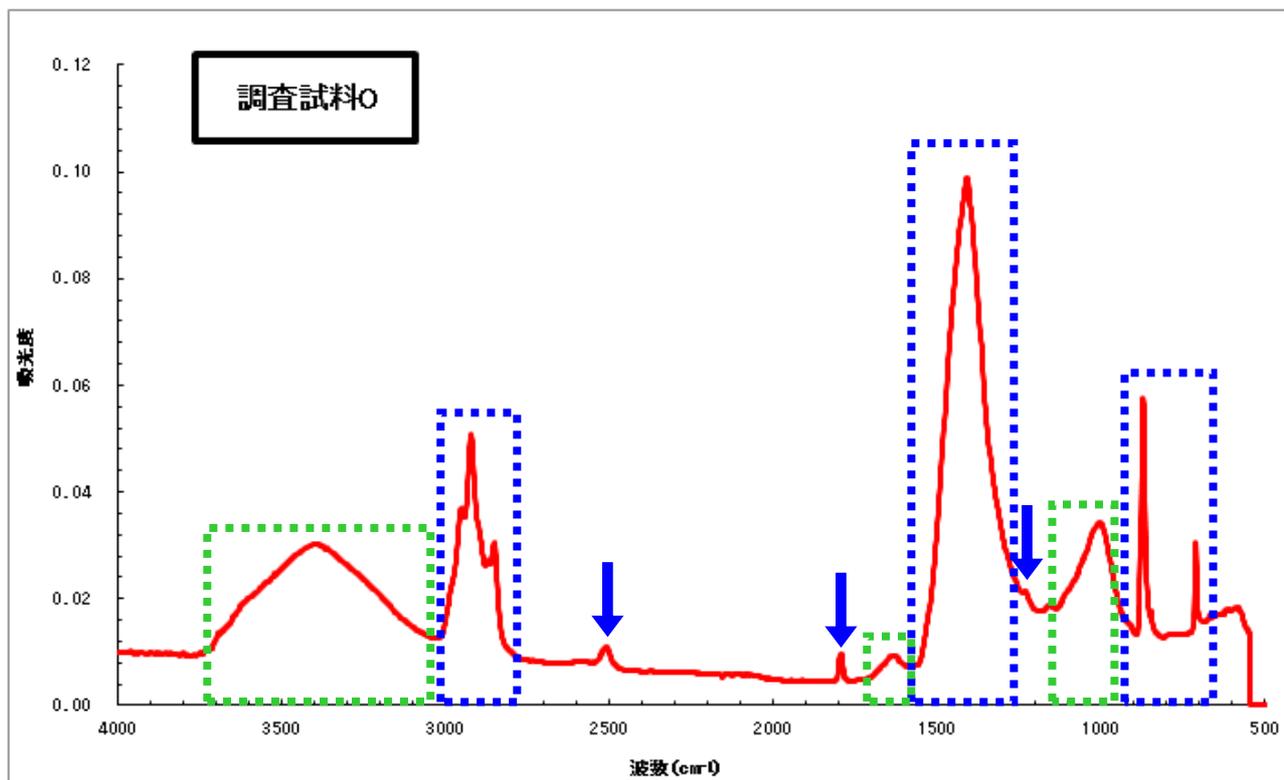


図 1.19 調査試料 O の赤外吸収スペクトル

(16) 調査試料 P

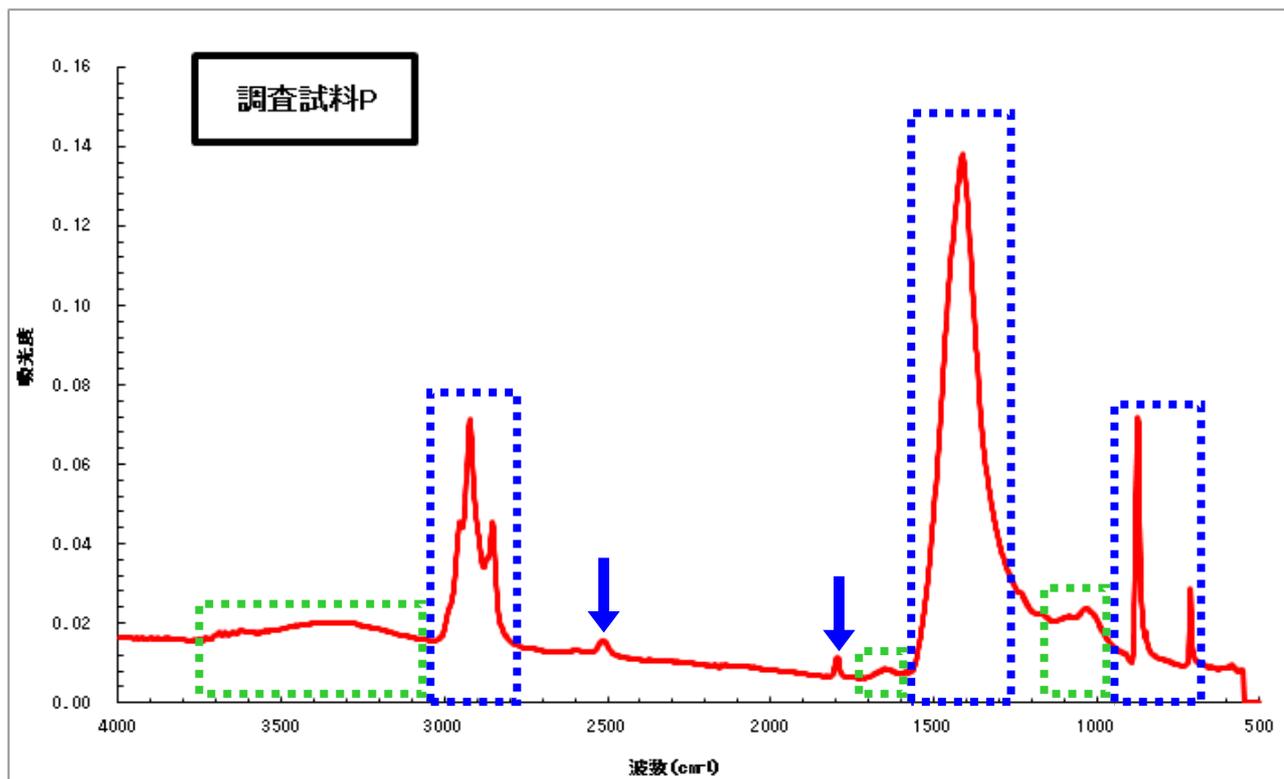


図 1.20 調査試料 P の赤外吸収スペクトル

(17) 調査試料 Q

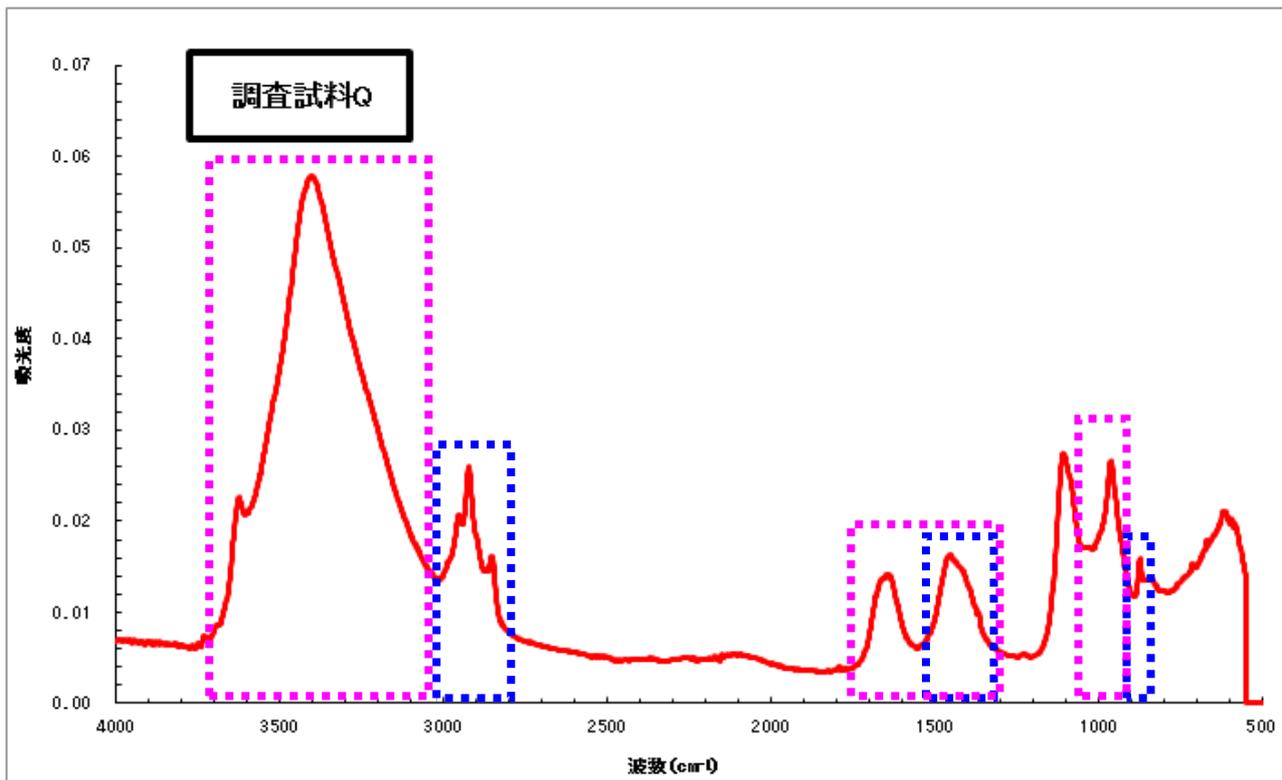


図 1.21 調査試料 Q の赤外吸収スペクトル

(18) 調査試料 R

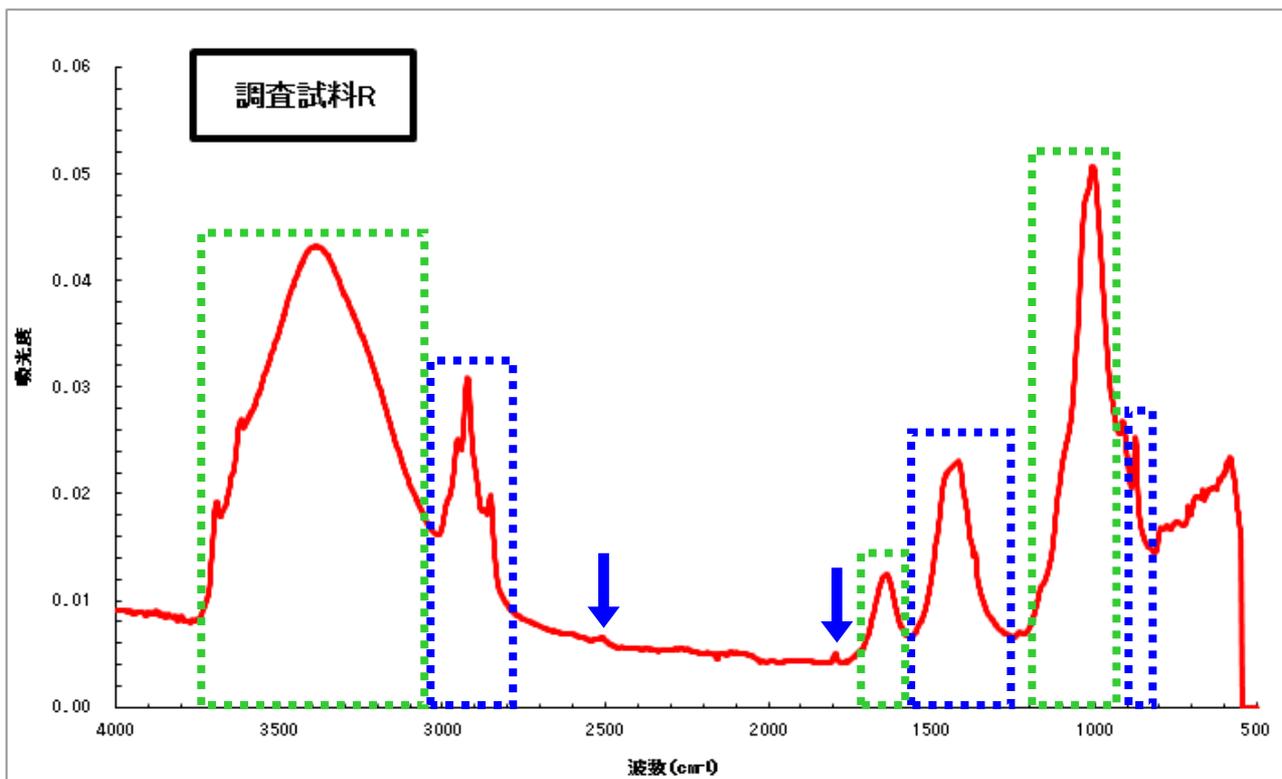


図 1.22 調査試料 R の赤外吸収スペクトル

(19) 調査試料 S

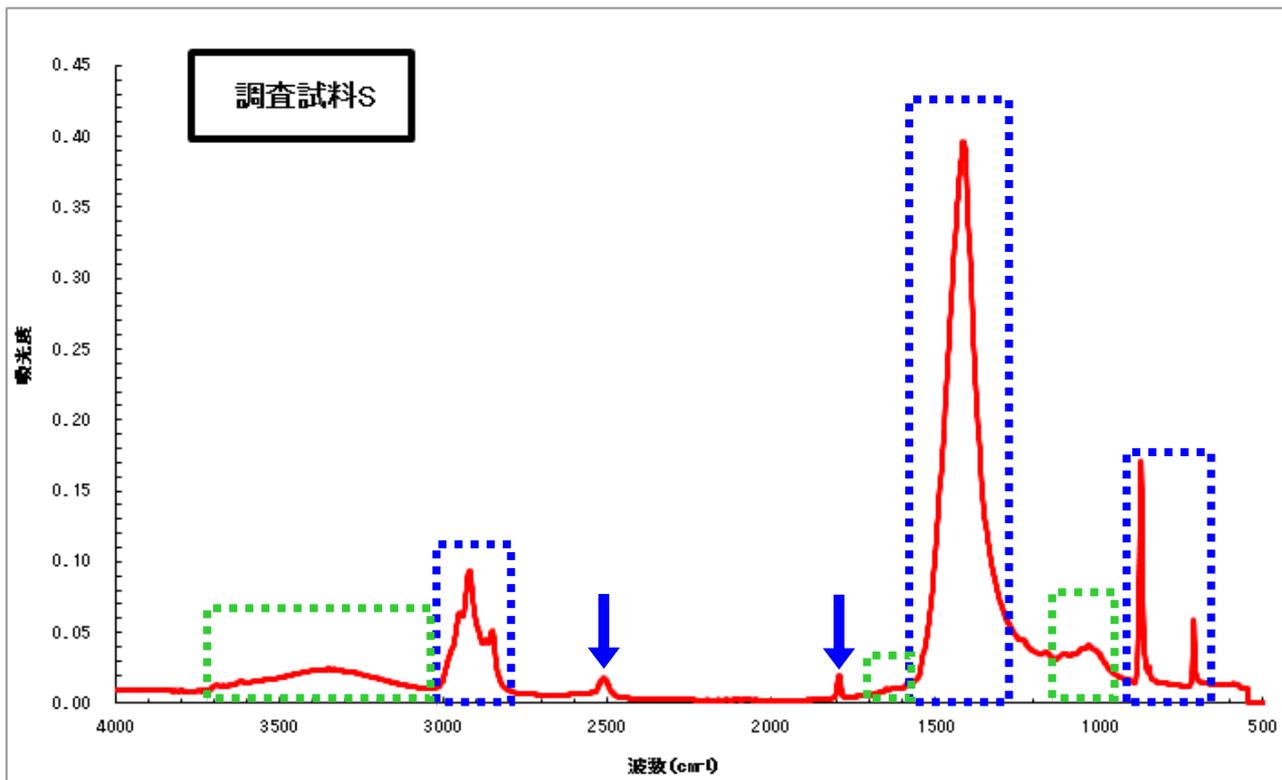


図 1.23 調査試料 S の赤外吸収スペクトル

(20) 調査試料 T

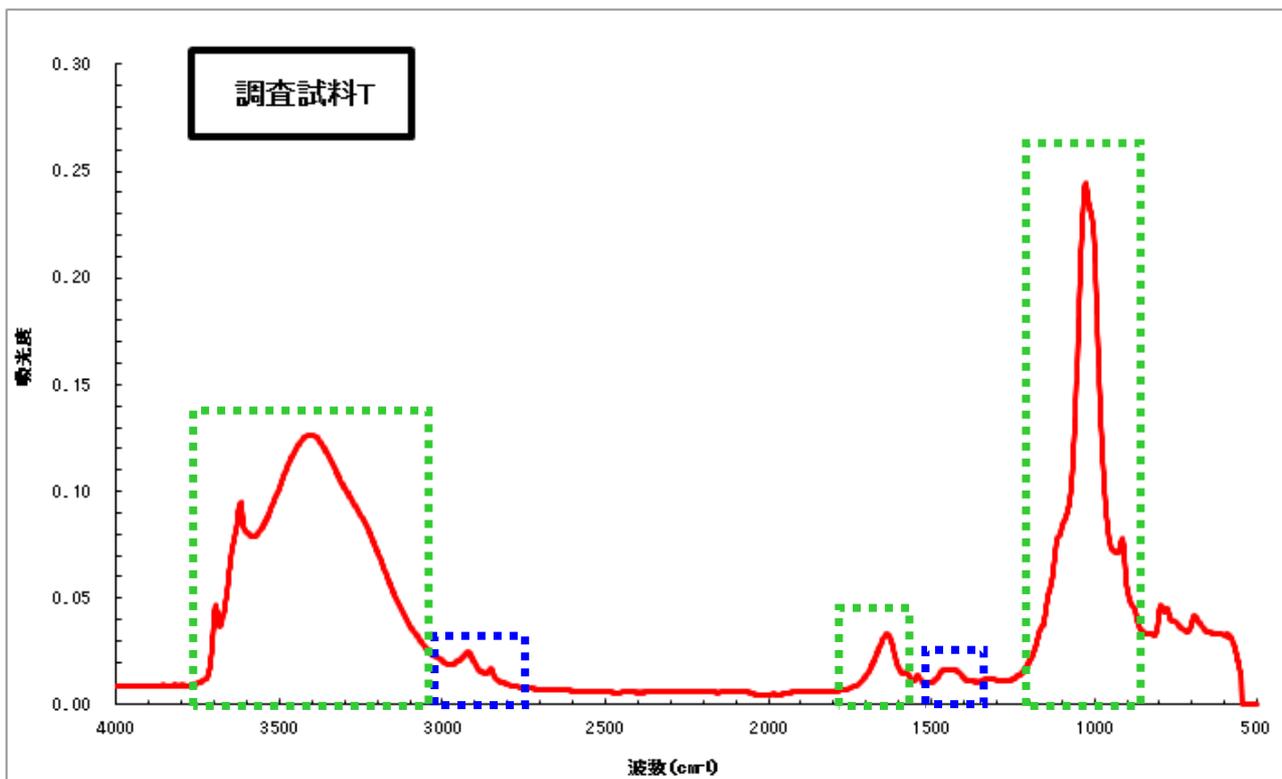


図 1.24 調査試料 T の赤外吸収スペクトル

(2 1) 調査試料 U

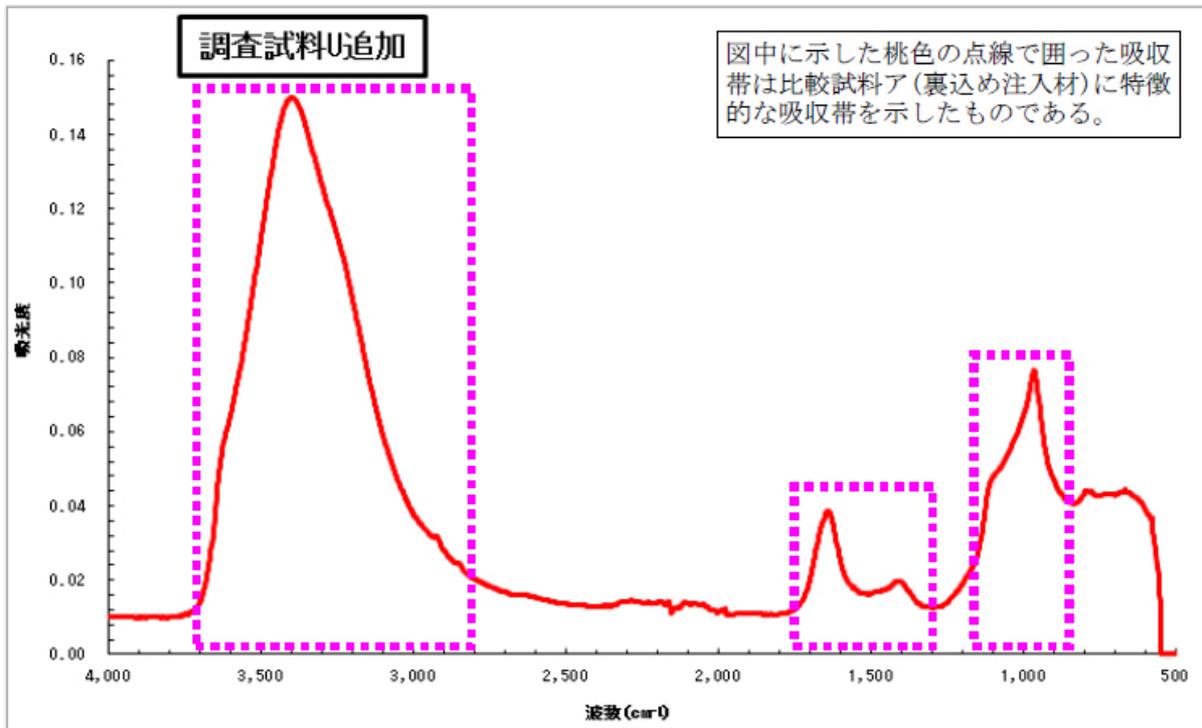


図 1.25 調査試料 U の赤外吸収スペクトル

(2 2) 調査試料 V

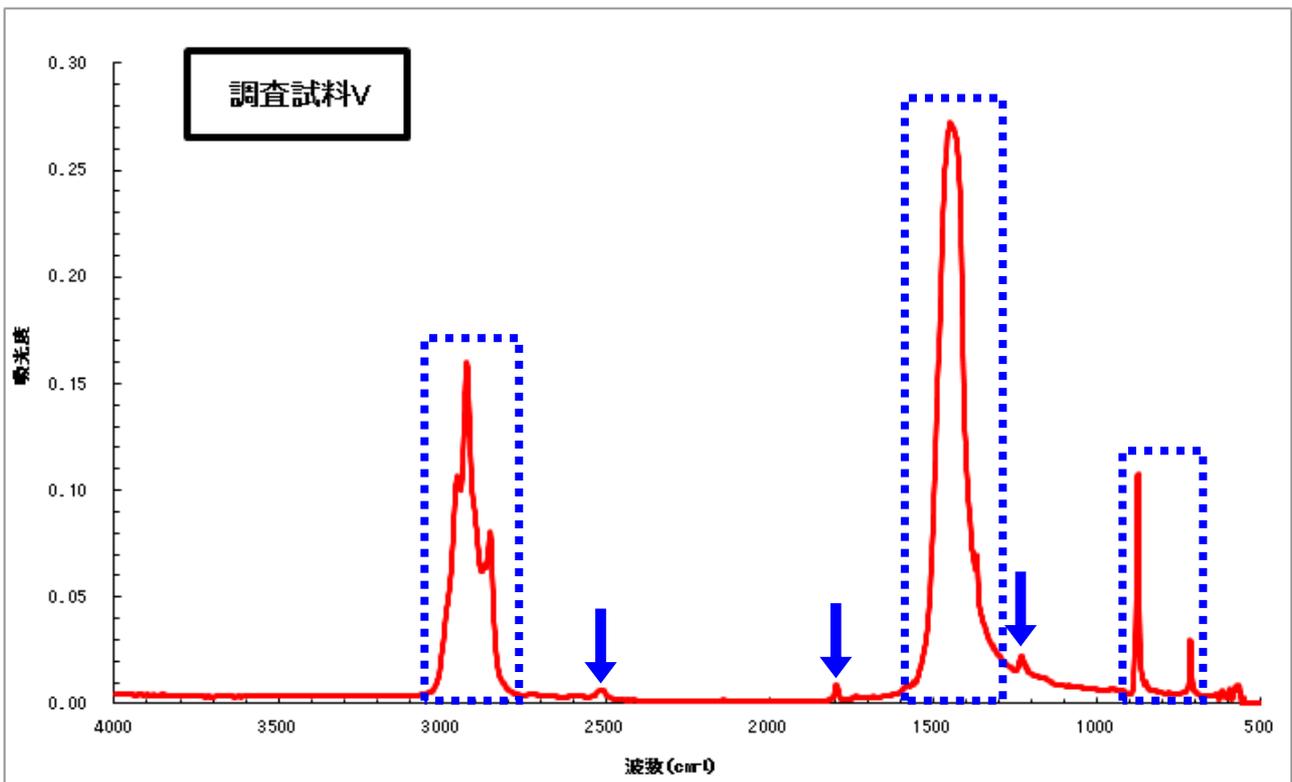


図 1.26 調査試料 V の赤外吸収スペクトル

(23) 調査試料 W

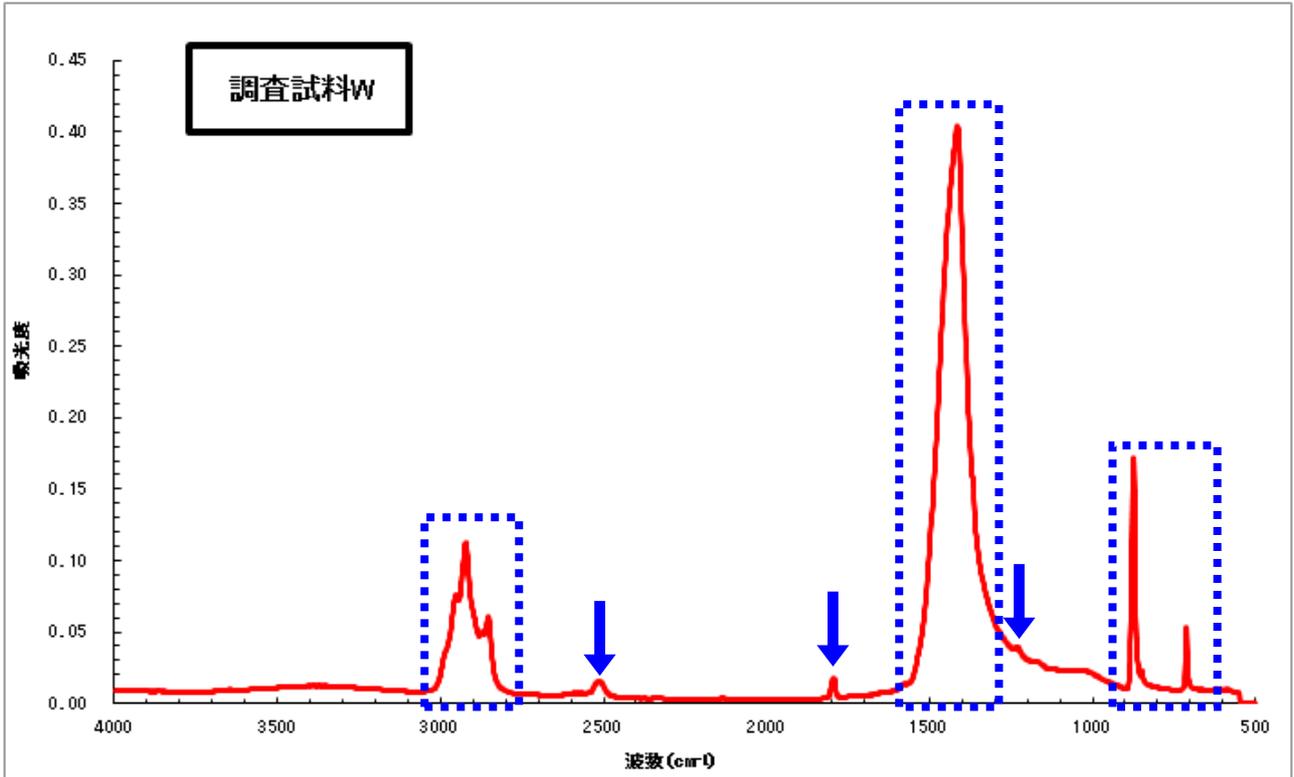


図 1.27 調査試料 W の赤外吸収スペクトル

(24) 調査試料 X

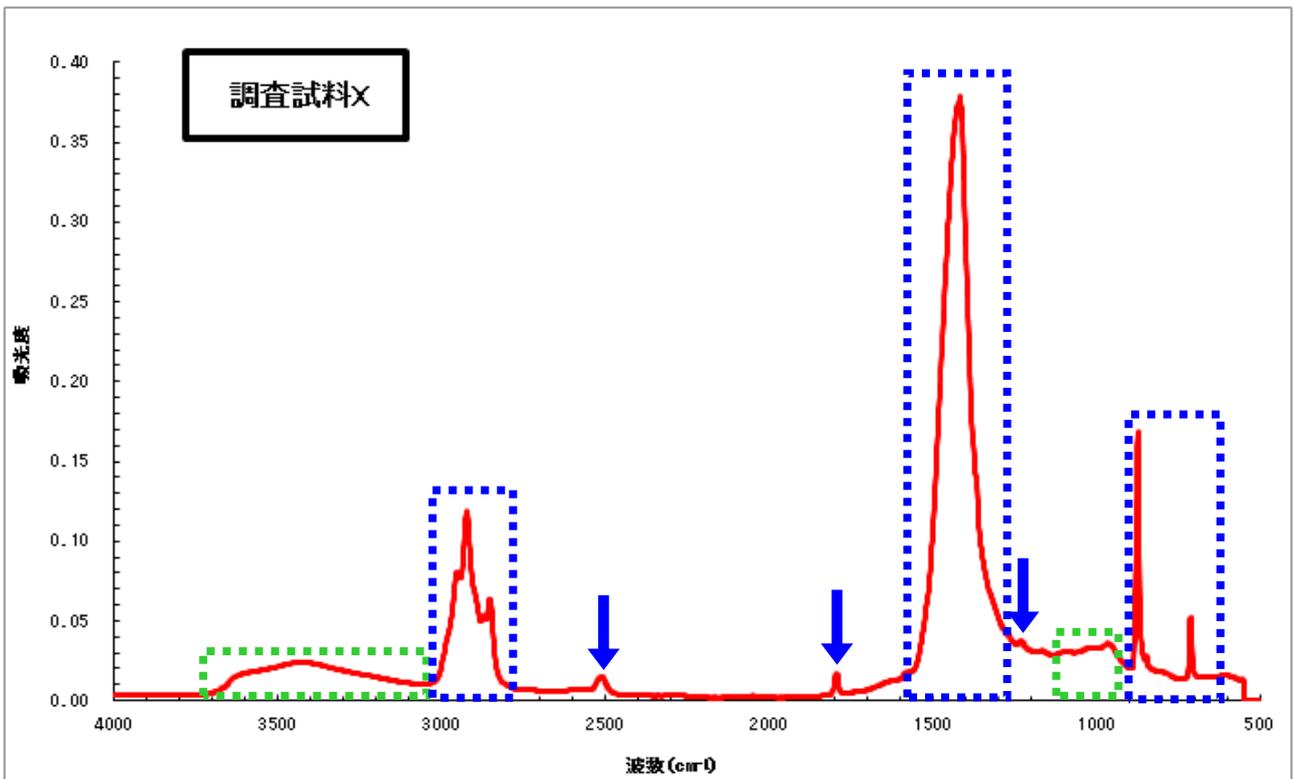


図 1.28 調査試料 X の赤外吸収スペクトル

(25) 調査試料 Y

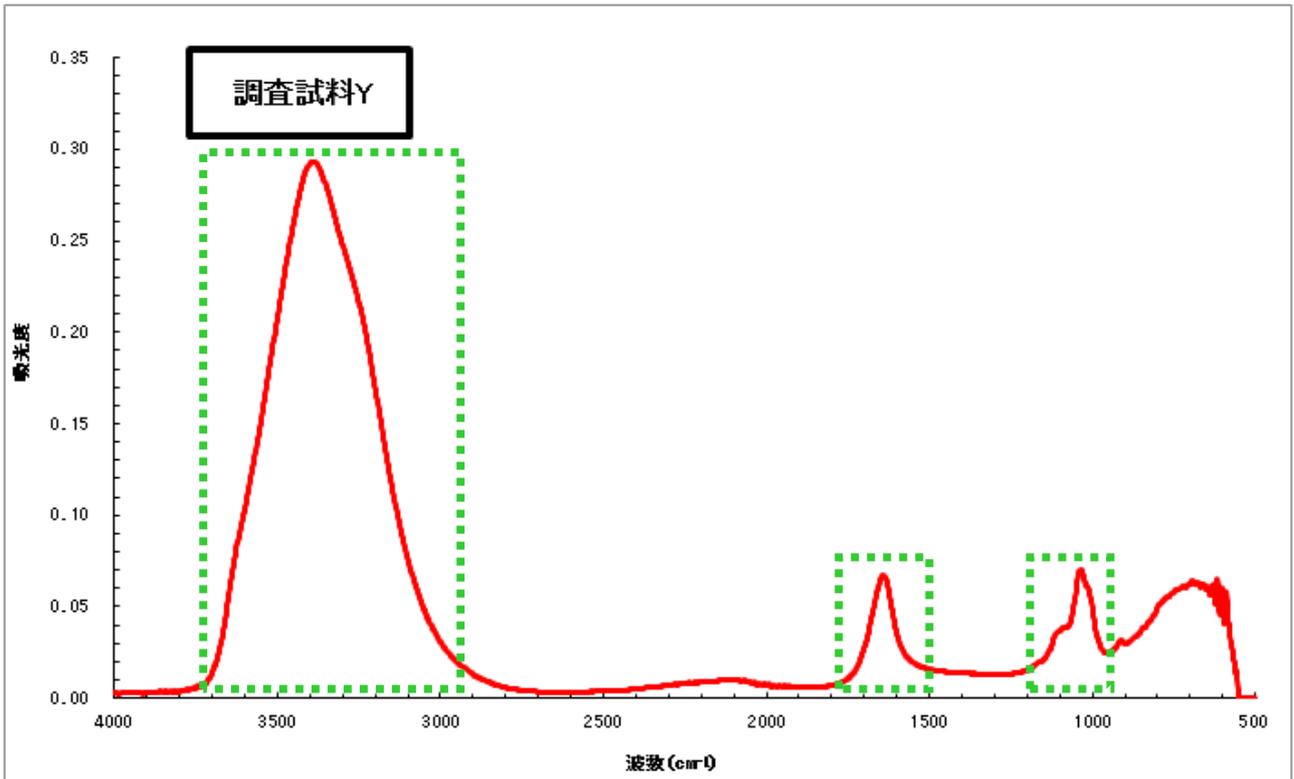


図 1.29 調査試料 Y の赤外吸収スペクトル

(26) 調査試料 Z

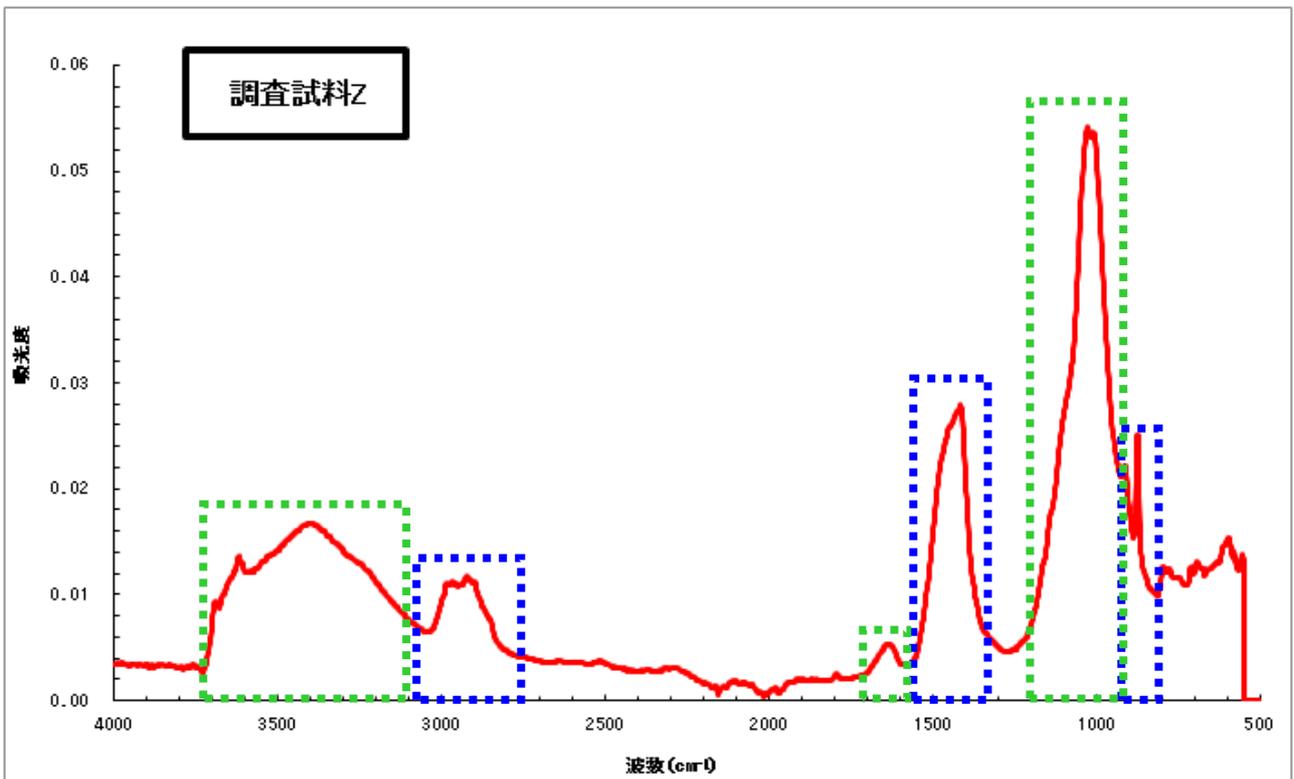


図 1.30 調査試料 Z の赤外吸収スペクトル

(27) 調査試料 AA

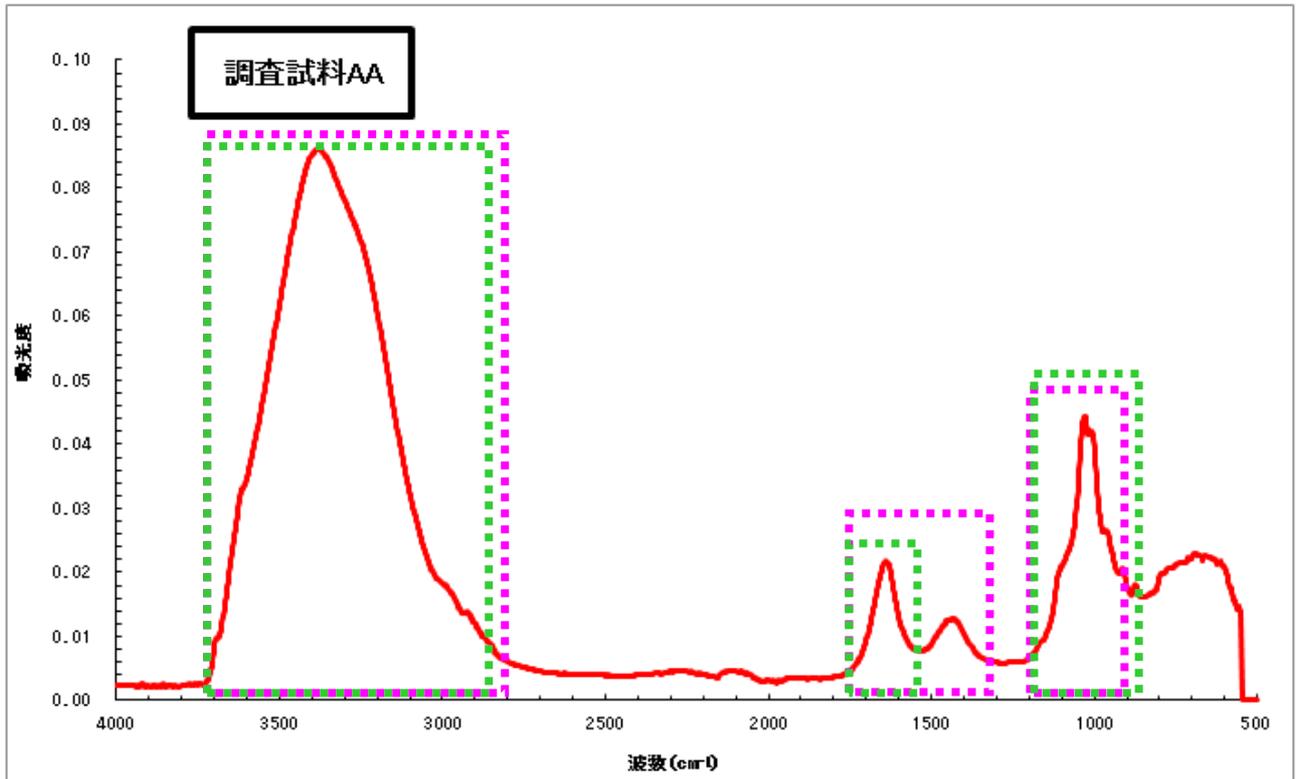


図 1.31 調査試料 Z の赤外吸収スペクトル

1. 3 赤外吸収スペクトルからの判定結果

表 1.5 赤外吸収スペクトルからの判定結果

採取番号	採取場所	判定結果※1	共存候補※2
A	シールドマシンテールブラシ後段 1 番部分外板外ブラシ間	イ単独	—
B	シールドマシンテールブラシ後段 19 番部分外板外ブラシ間	イ単独	—
C	シールドマシンテールブラシ後段 38 番部分内ブラシメッシュ間	イ単独	—
D	シールドマシンテールブラシ後段 50 番部分外板外ブラシ間	イ+	ウ
E	シールドマシンテールブラシ後段 58 番部分外板外ブラシ間	イ単独	—
F	シールドマシンテールブラシ後段 77 番部分外板外ブラシ間	イを含まず	不明
G	シールドマシンテールブラシ後段 88 番部分外板外ブラシ間	イ単独	—
H	シールドマシンテールブラシ後段 96 番部分外板外ブラシ間	+イ	ウ
I	シールドマシンテールブラシ後段 115 番部分メッシュ外ブラシ間	イ+	ウ
J	シールドマシンテールブラシ後段 134 番部分外メッシュ外ブラシ間	イ単独	—
K	シールドマシンテールブラシ後段 144 番部分外ブラシと外メッシュ間	イ単独	—
L	シールドマシンテールブラシ前段 1 番部分スキンプレート外板間	+イ	ウ
M	シールドマシンテールブラシ前段 4 番部分外板外ブラシ間	イ+	ウ
N	シールドマシンテールブラシ前段 19 番部分外板外ブラシ間	イ単独	—
O	シールドマシンテールブラシ前段 38 番部分スキンプレート外板間	イ+	ウ
P	シールドマシンテールブラシ前段 58 番部分メッシュ内ブラシ間	イ+	ウ
Q	シールドマシンテールブラシ前段 58 番部分スキンプレート外板間	+イ	ア
R	シールドマシンテールブラシ前段 148 番部分外ブラシ外板間	+イ	ウ
S	シールドマシンテールブラシ前段 168 番部分メッシュ外ブラシ間	イ+	ウ
T	シールドマシンテールブラシ前段 168 番部分スキンプレート外板間	+イ	ウ
U	シールドマシンテールブラシ前段 178 番部分スキンプレート外板間	イを含まず	—
V	シールドマシンテールブラシ前段 184 番部分スキンプレート外板間	イ単独	—
W	シールドマシンテールブラシ前段 191 番部分スキンプレート部	イ単独	—
X	シールドマシンテールブラシ前段 62 番部分スキンプレート外板間	イ+	ウ
Y	シールドマシンテールブラシ前段 78 番部分スキンプレート外板間	イを含まず	ウ
Z	111R,B2 地山側	+イ	ウ
AA	シールドマシンフードチャンバー内	イを含まず	ア, ウ

※1 判定結果欄の例

- イ単独：比較試料イの材料のみと考えられるもの。
- イ+：比較試料イに他の材料が含まれていると考えられるもの。
- イを含まず：比較試料イの材料が含まれていないと考えられるもの。
- +イ：他の材料が主でイが含まれていると考えられるもの。

※2 共存候補欄の例

- ：判定結果欄に示した材料のみと考えられるもの。
- 不明：共存物の存在の有無を含め判断できなかったもの。
- ウ：比較試料ウが共存していると考えられるもの。
- ア：比較試料アが共存していると考えられるもの。
- ア, ウ：比較試料アと比較試料ウが共存していると考えられるもの。

1. 4 比較試料の形態観察及び元素組成分析結果

(1) 比較試料ア

・形態観察結果

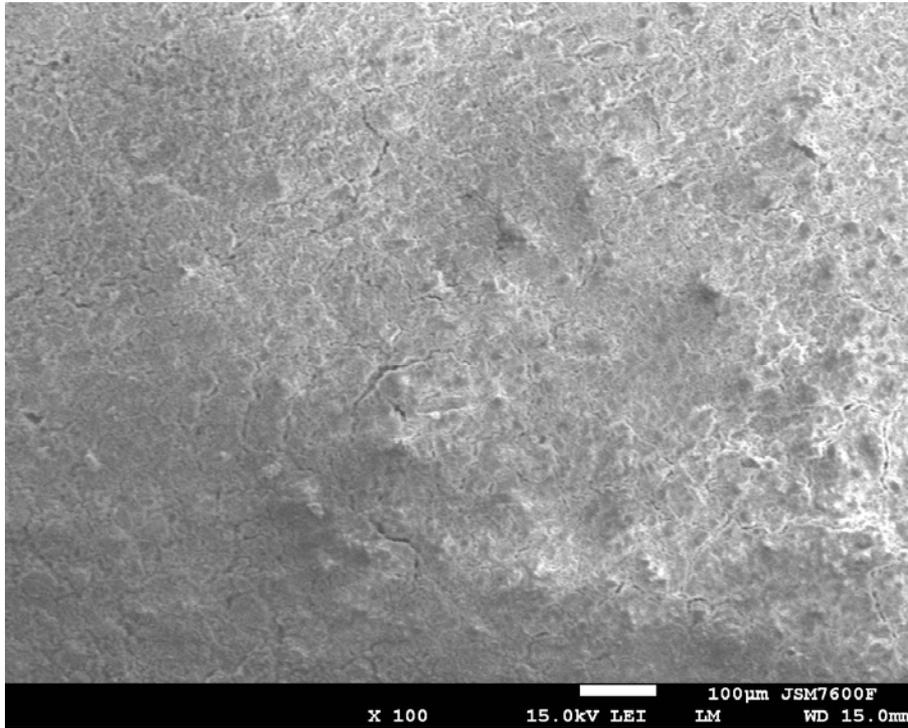


図 1.32-1 比較試料アの走査電子顕微鏡像(×100 倍)

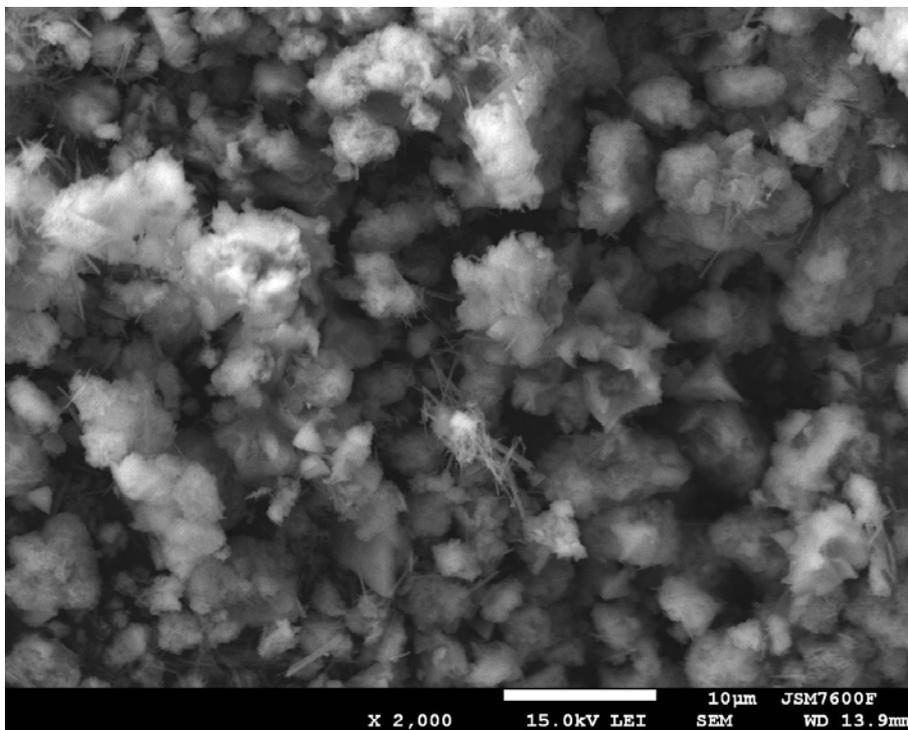


図 1.32-2 比較試料アの走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

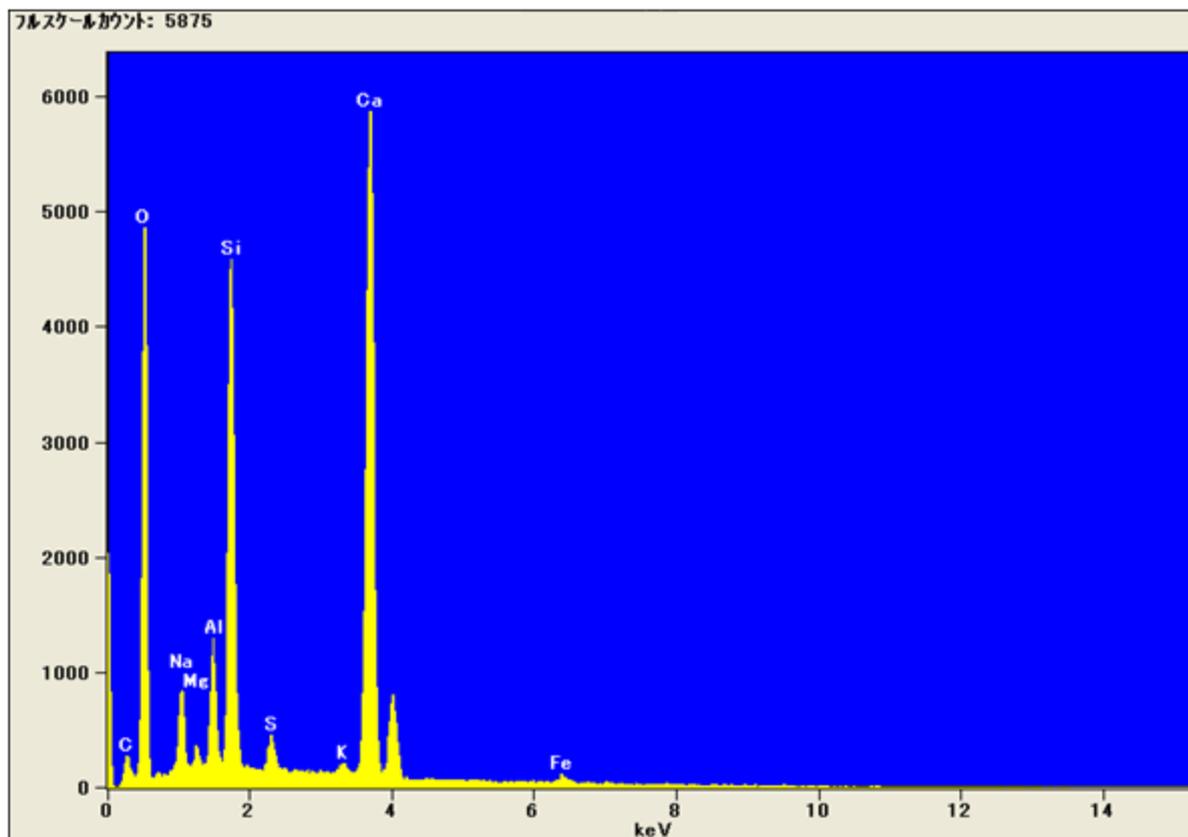


図 1.33 比較試料アの組成分析結果

表 1.6 比較試料アの組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	1.8
酸素(O)	47.7
ナトリウム(Na)	2.7
マグネシウム(Mg)	0.5
アルミニウム(Al)	2.6
けい素(Si)	11.1
いおう(S)	0.9
カリウム(K)	0.3
カルシウム(Ca)	31.0
鉄(Fe)	1.4
合計	100.0

注) 測定結果は、検出された元素の計数値に係数をかけて算出し、合計が100%となるように計算された値であり、検量線を用いた化学分析のような正確な濃度を示したものではない。なお、測定を行ったX線分析装置の測定対象は、原子量が8（ほう素）以上の元素であり、それ以下の元素は含まれていても検出されない。以下、組成分析結果下については同様。

(2) 比較試料ウ

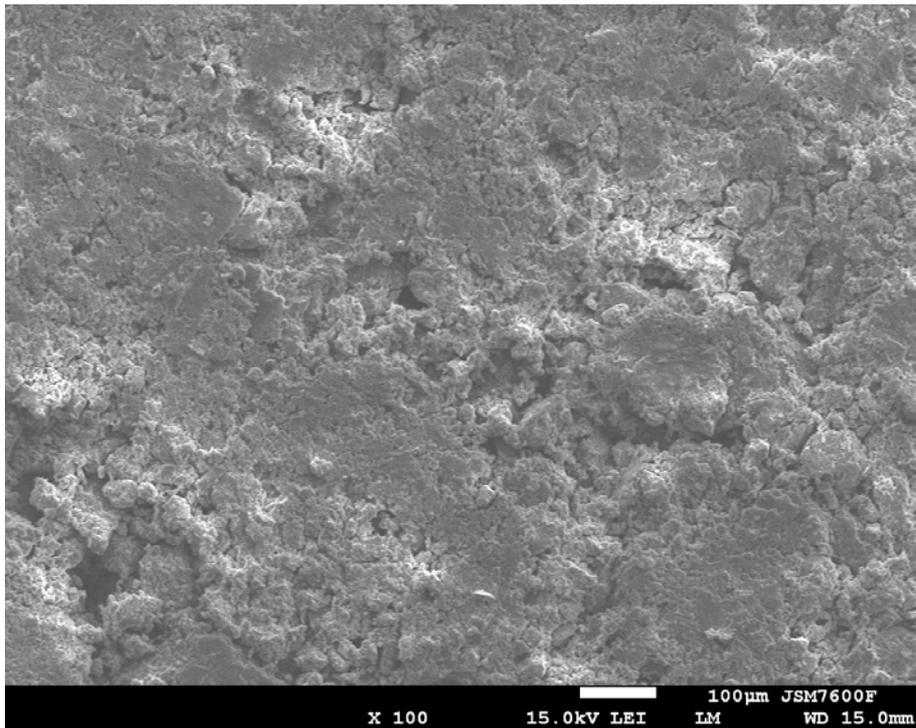


図 1.34-1 比較試料ウの走査電子顕微鏡像(×100 倍)

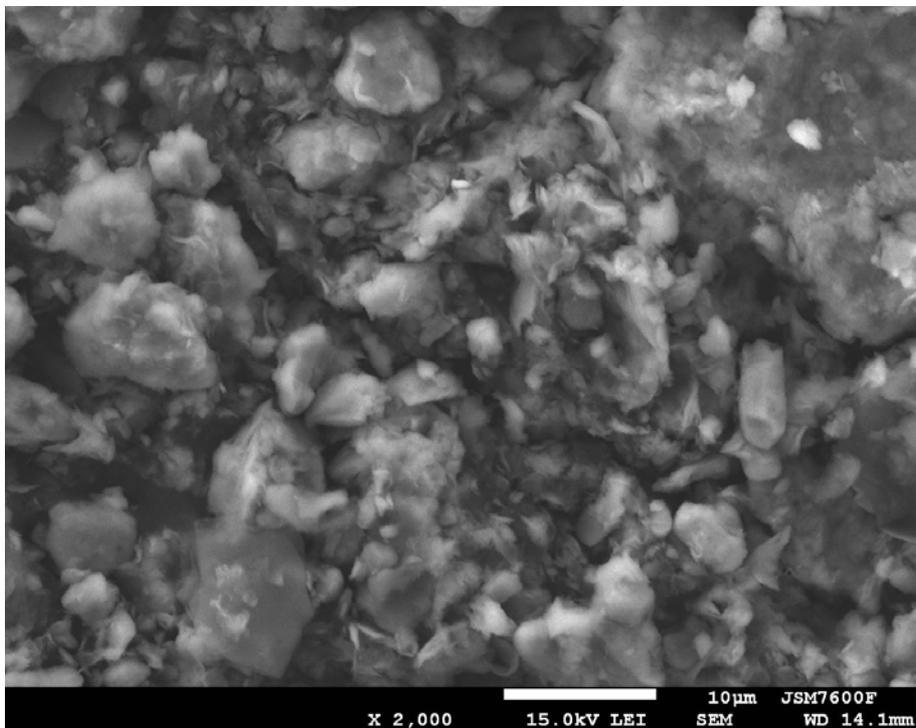


図 1.34-2 比較試料ウの走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

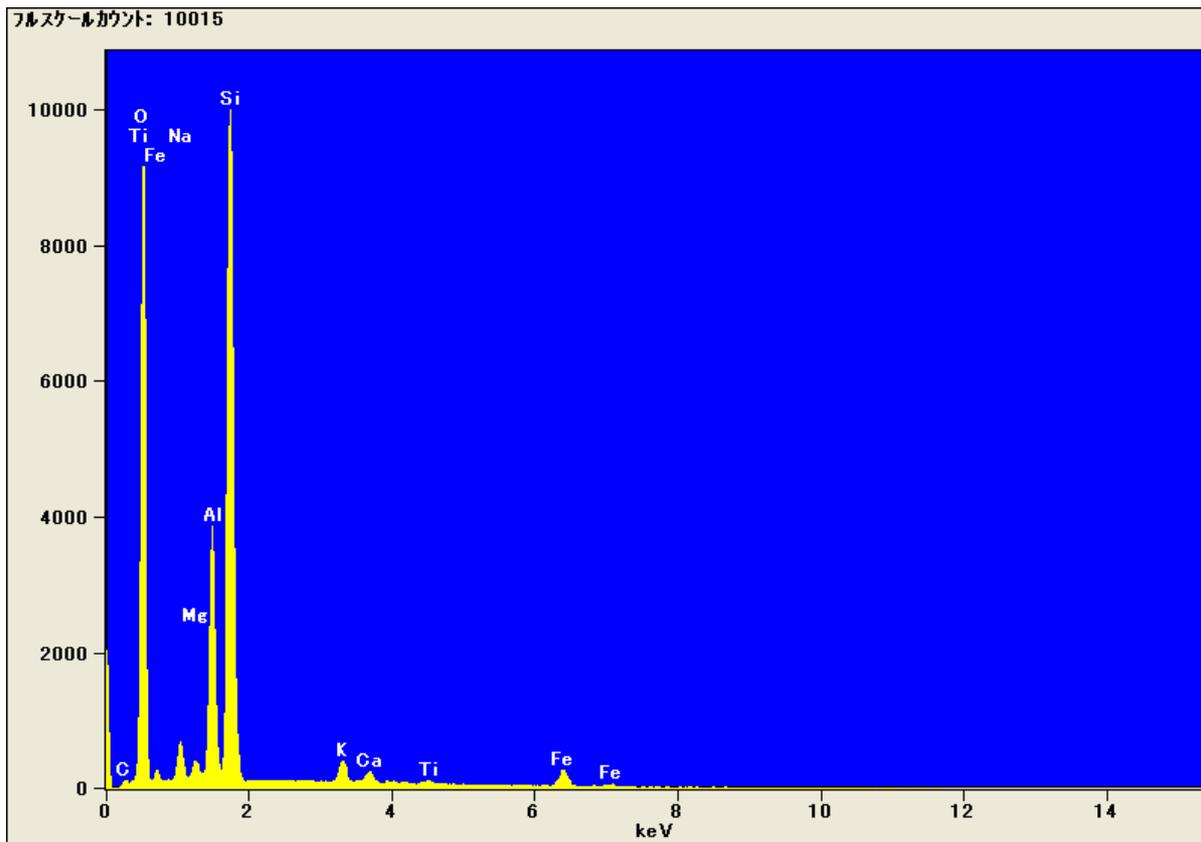


図 1.35 比較試料ウの組成分析結果

表 1.7 比較試料ウの組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	0.8
酸素(O)	50.2
ナトリウム(Na)	2.1
マグネシウム(Mg)	0.7
アルミニウム(Al)	9.2
けい素(Si)	28.6
カリウム(K)	1.6
カルシウム(Ca)	1.0
チタン(Ti)	0.5
鉄(Fe)	5.3
合計	100.0

(3) 比較試料カ

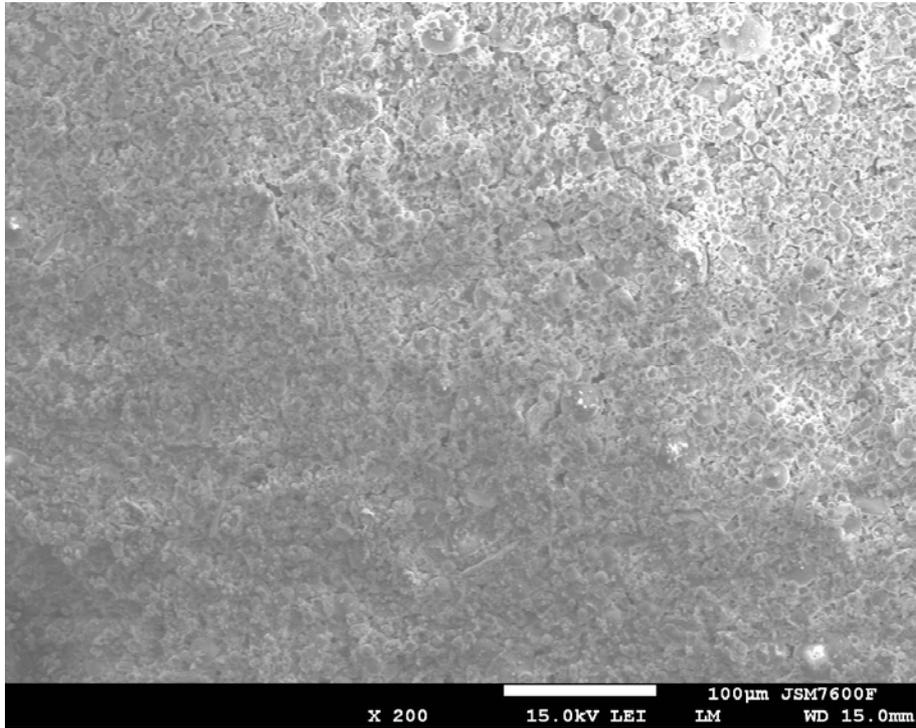


図 1.36-1 比較試料カの走査電子顕微鏡像(×100 倍)

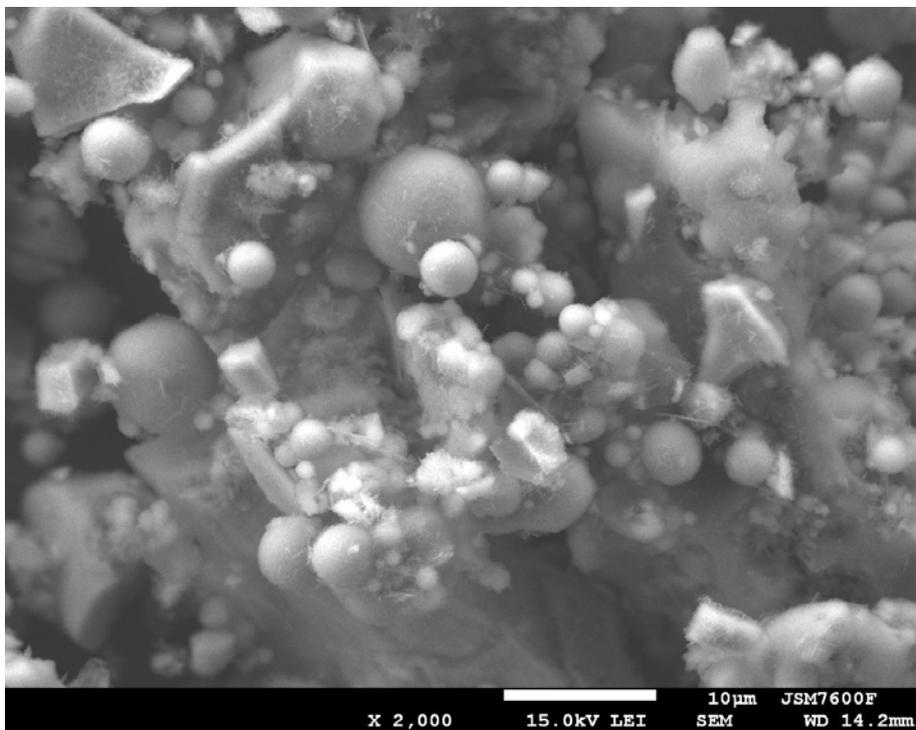


図 1.36-2 比較試料カの走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

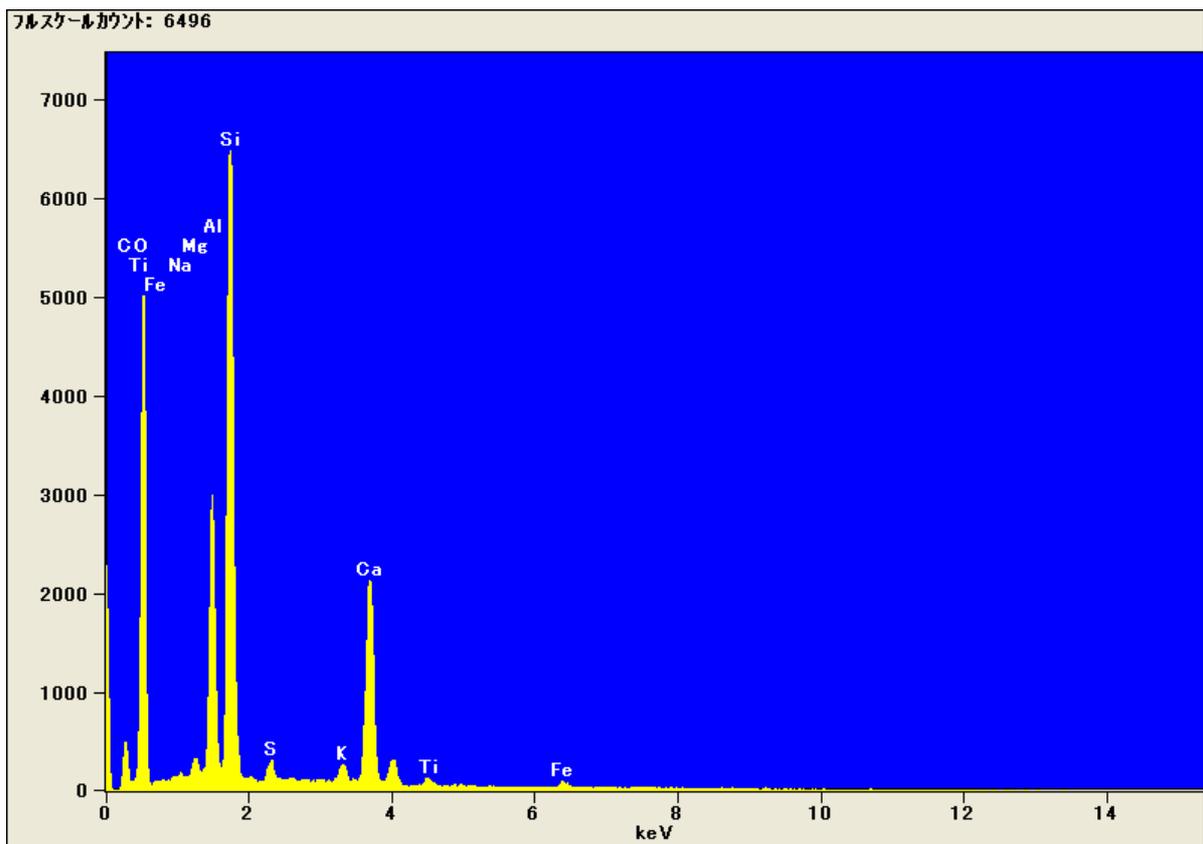


図 1.37 比較試料カの組成分析結果

表 1.8 比較試料カの組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	4.9
酸素(O)	47.3
ナトリウム(Na)	0.2
マグネシウム(Mg)	0.5
アルミニウム(Al)	8.1
けい素(Si)	20.6
いおう(S)	0.9
カリウム(K)	1.1
カルシウム(Ca)	14.1
チタン(Ti)	0.7
鉄(Fe)	1.6
合計	100.0

1. 5 調査試料の形態観察及び元素組成分析結果

(1) 調査試料 C

・形態観察結果

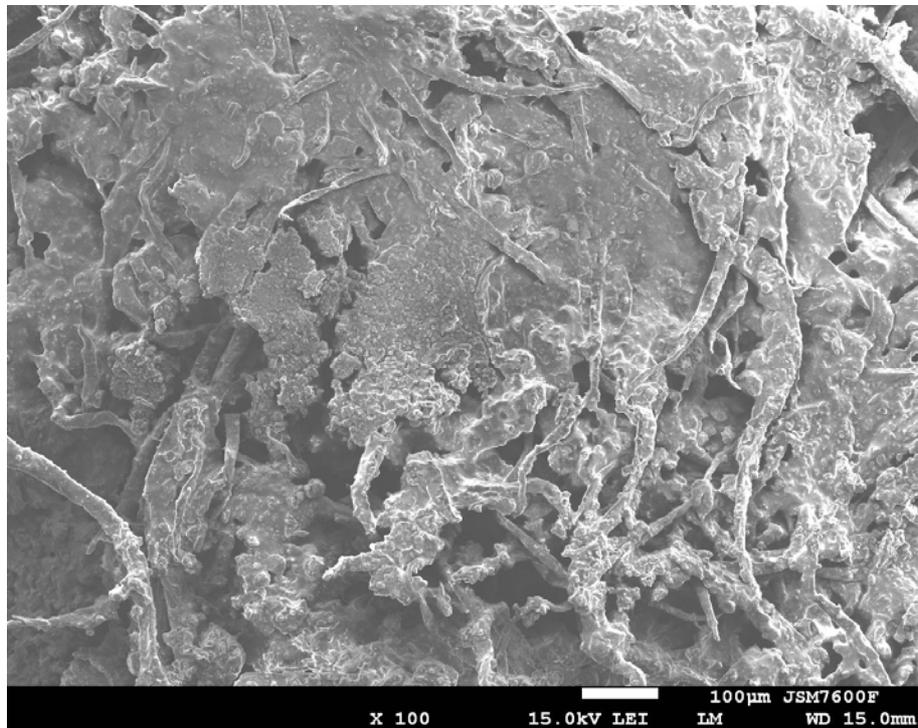


図 1.38-1 調査試料 C の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

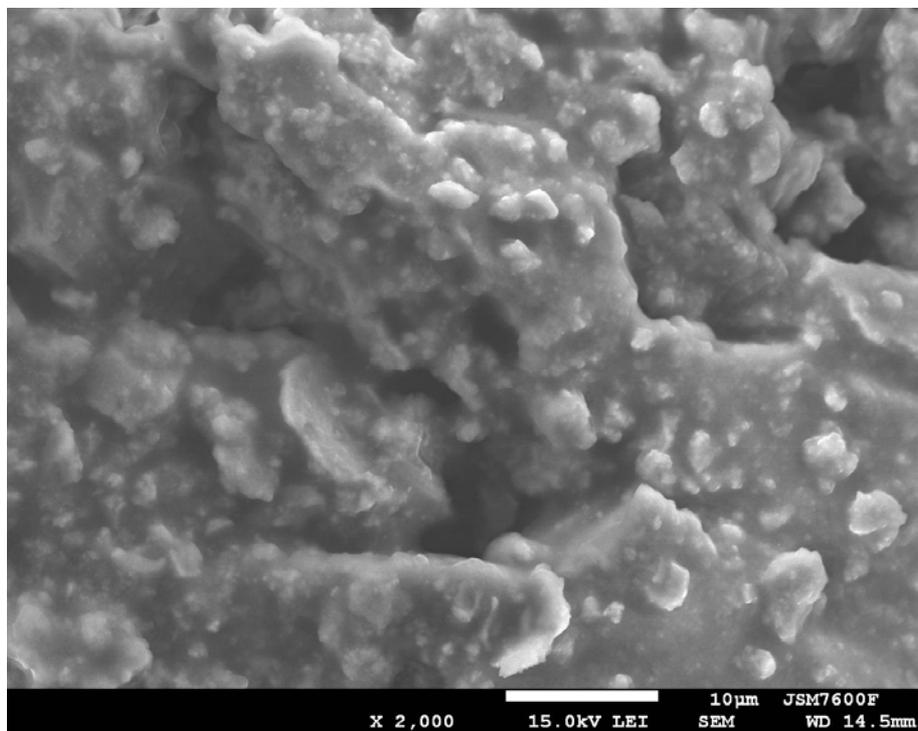


図 1.38-2 調査試料 C の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

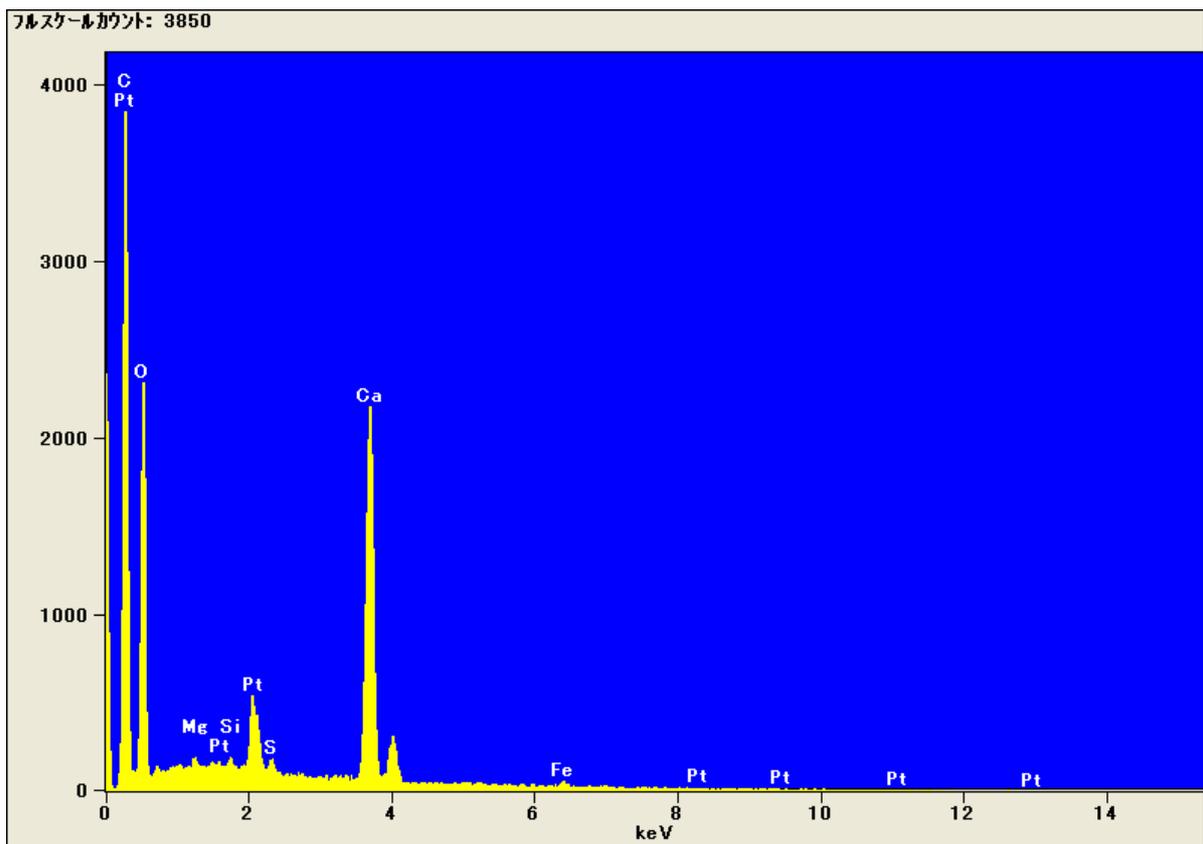


図 1.39 調査試料 C の組成分析結果

表 1.9 調査試料 C の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	22.8
酸素(O)	49.8
マグネシウム(Mg)	0.3
けい素(Si)	0.4
いおう(S)	0.4
カルシウム(Ca)	25.1
鉄(Fe)	1.2
合計	100.0

注)測定結果は、検出された元素の計数値に係数をかけて算出し、合計が100%となるように計算された値であり、検量線を用いた化学分析のような正確な濃度を示したものではない。なお、測定を行ったX線分析装置の測定対象は、原子量が8（ほう素）以上の元素であり、それ以下の元素は含まれていても検出されない。以下、組成分析結果については同様。

(2) 調査試料 D

・形態観察結果

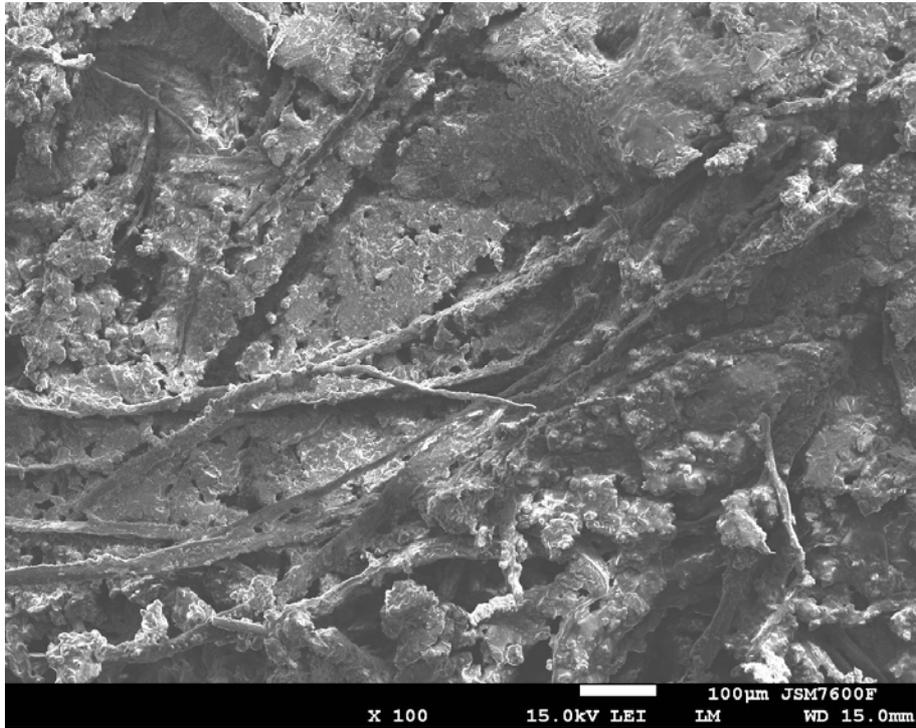


図 1.40-1 調査試料 D の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

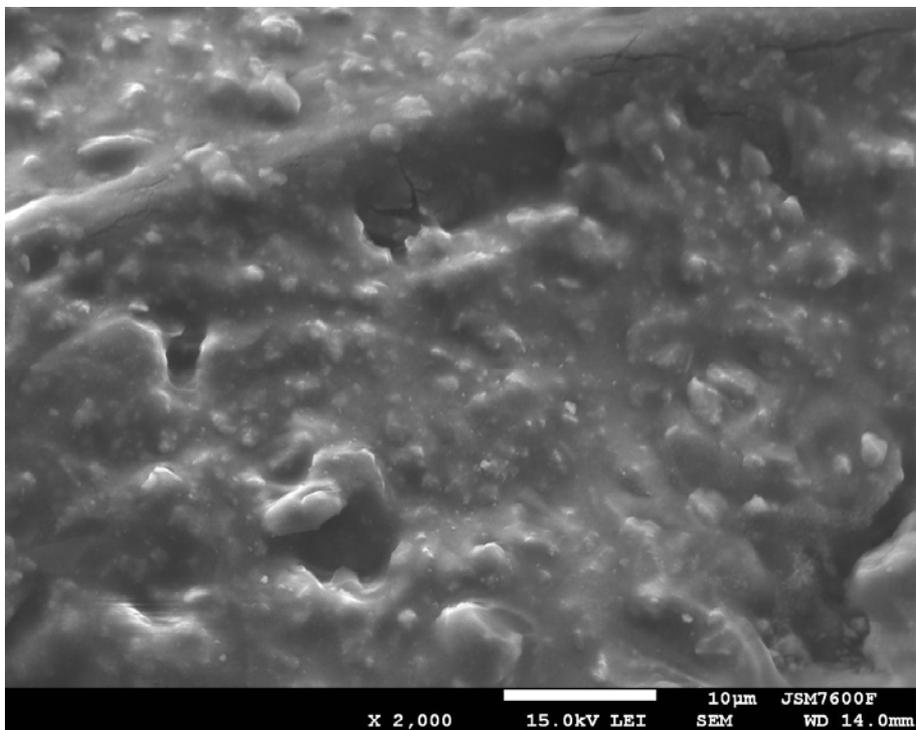


図 1.40-2 調査試料 D の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

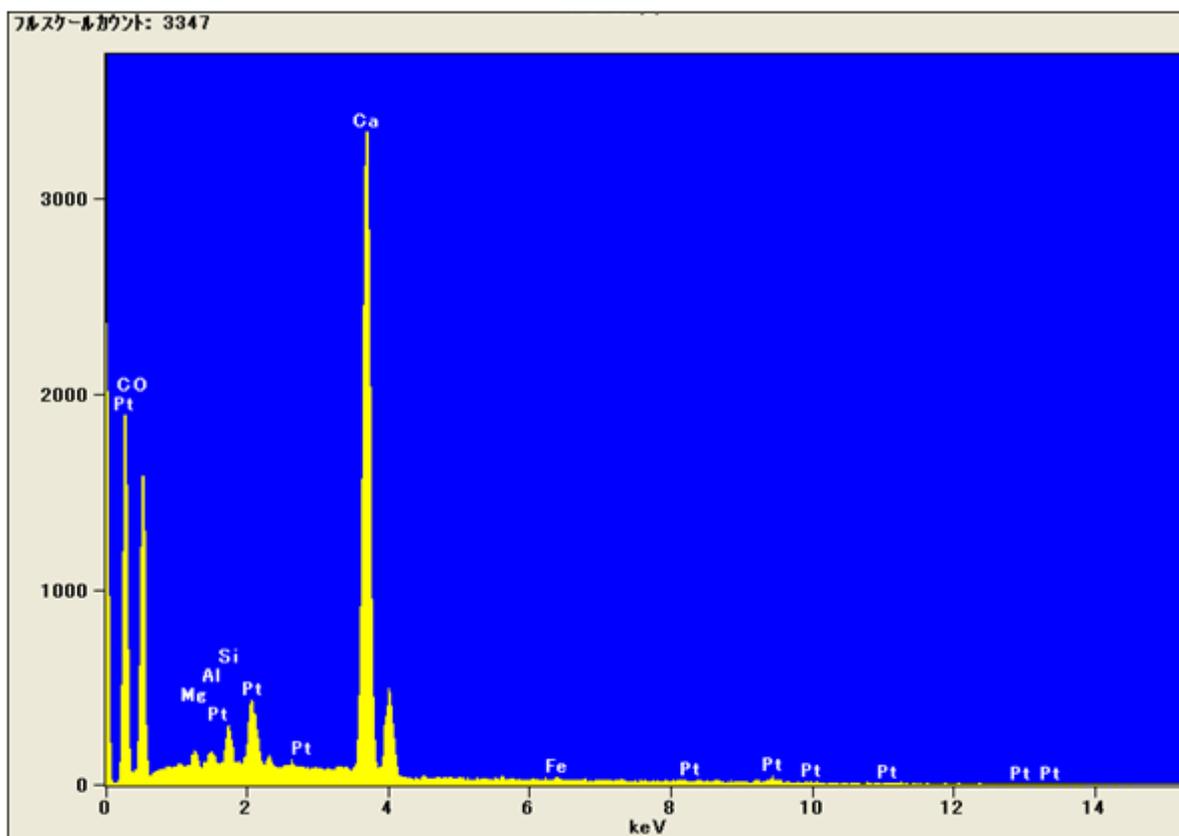


図 1.41 調査試料 D の組成分析結果

表 1.10 調査試料 D の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	12.4
酸素(O)	44.7
マグネシウム(Mg)	0.5
アルミニウム(Al)	0.6
けい素(Si)	1.2
カルシウム(Ca)	39.9
鉄(Fe)	0.7
合計	100.0

(3) 調査試料 E

・形態観察結果

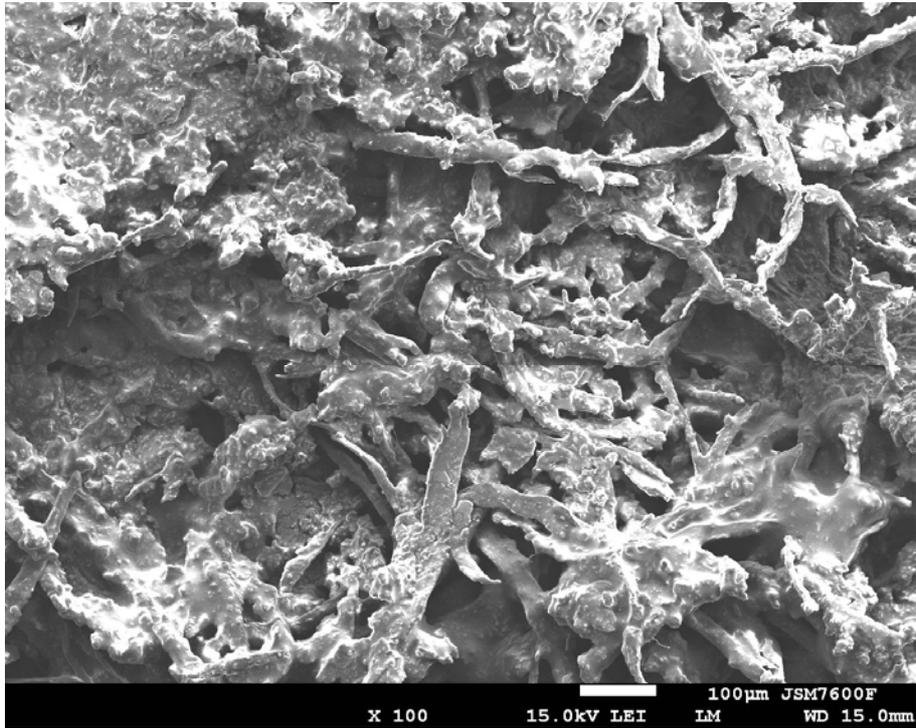


図 1.41-1 調査試料 E の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

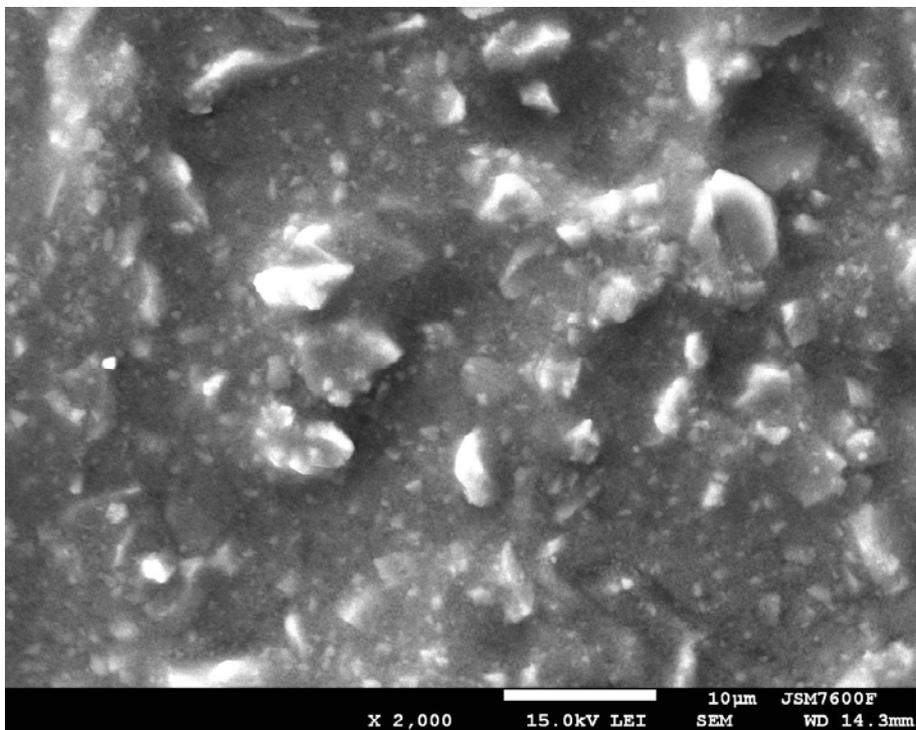


図 1.41-2 調査試料 E の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

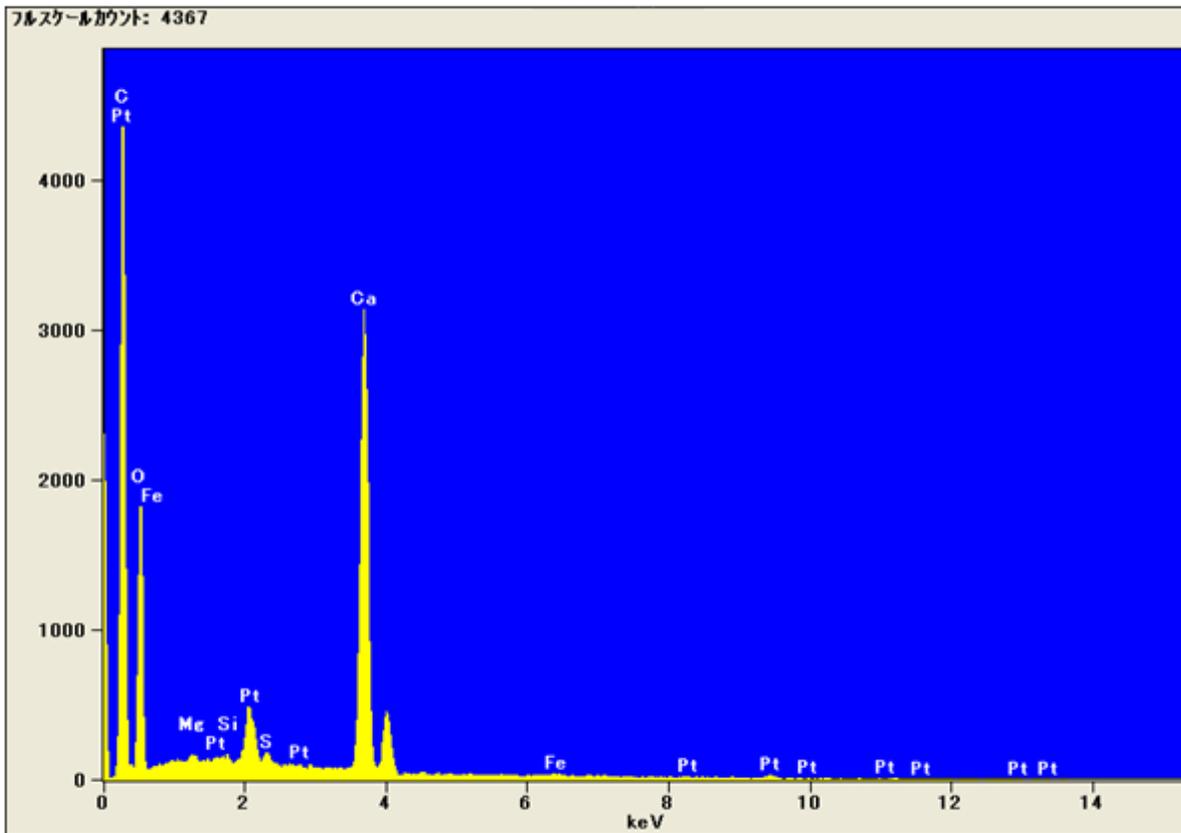


図 1.42 調査試料 E の組成分析結果

表 1.11 調査試料 E の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	22.6
酸素(O)	42.6
マグネシウム(Mg)	0.3
けい素(Si)	0.2
いおう(S)	0.4
カルシウム(Ca)	33.0
鉄(Fe)	0.9
合計	100.0

(4) 調査試料 F

・形態観察結果

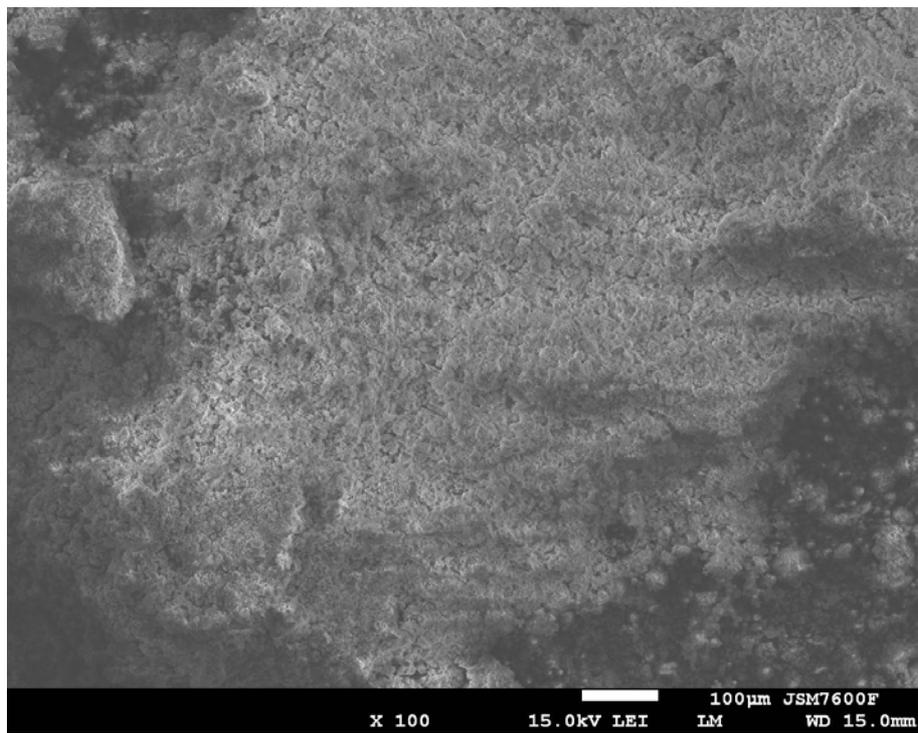


図 1.43-1 調査試料 F の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

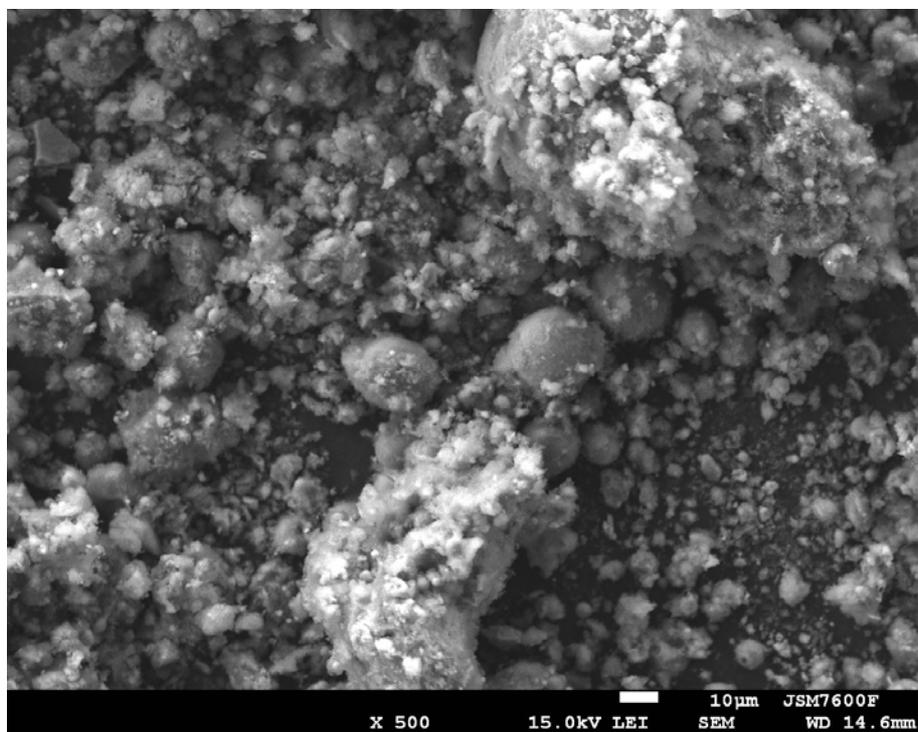


図 1.43-2 調査試料 F の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

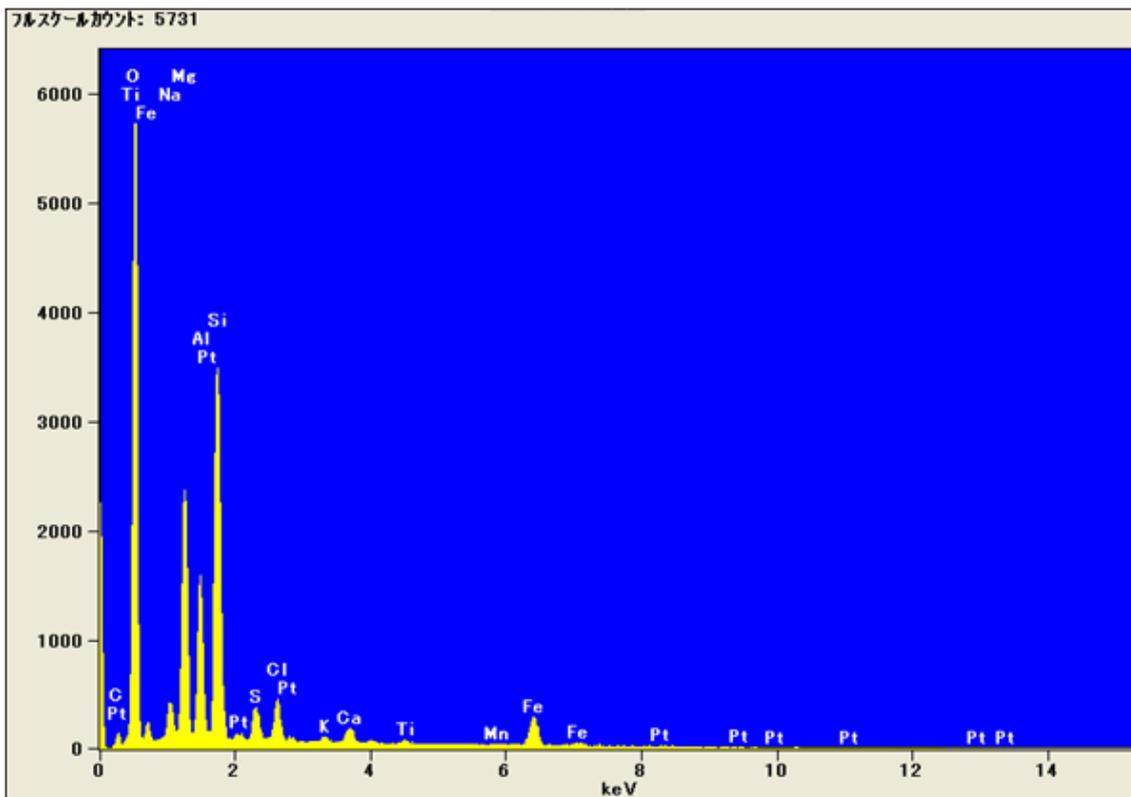


図 1.44 調査試料 F の組成分析結果

表 1.12 調査試料 F の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	1.8
酸素(O)	47.1
ナトリウム(Na)	2.0
マグネシウム(Mg)	10.2
アルミニウム(Al)	6.8
けい素(Si)	16.3
いおう(S)	1.9
塩素(Cl)	2.5
カリウム(K)	0.4
カルシウム(Ca)	1.3
チタン(Ti)	0.6
マンガン	0.6
鉄(Fe)	8.5
合計	100.0

(5) 調査試料 H

・形態観察結果

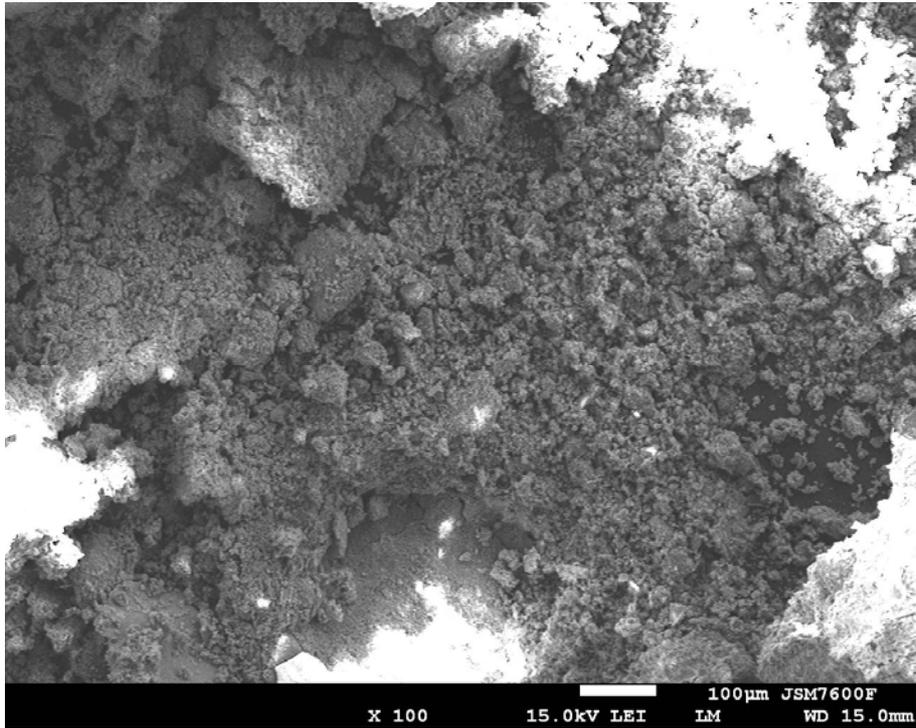


図 1.45-1 調査試料 H の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

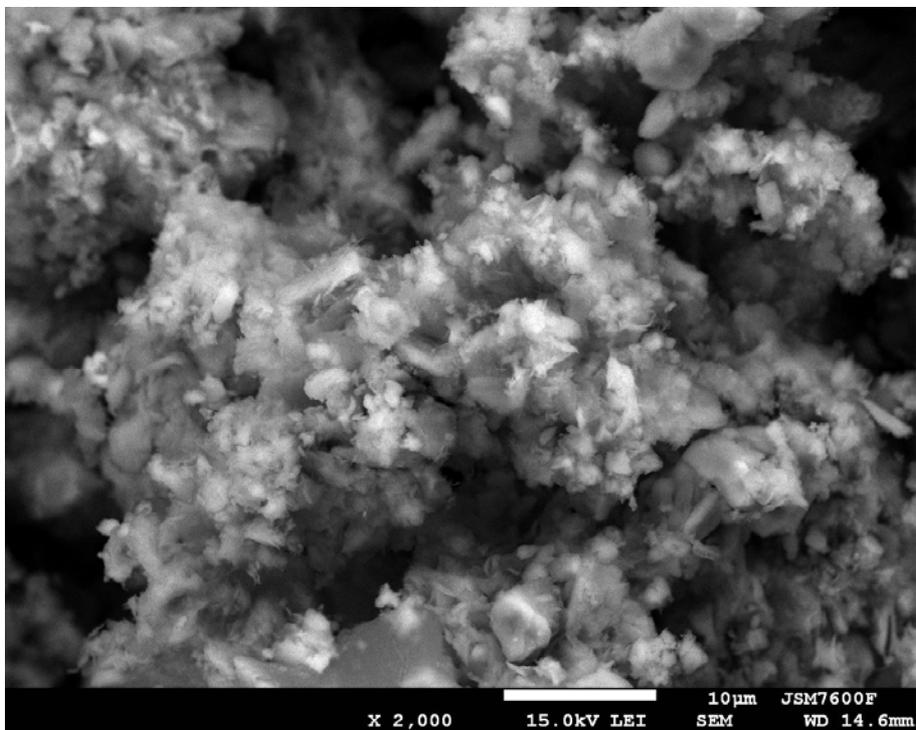


図 1.45-2 調査試料 H の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

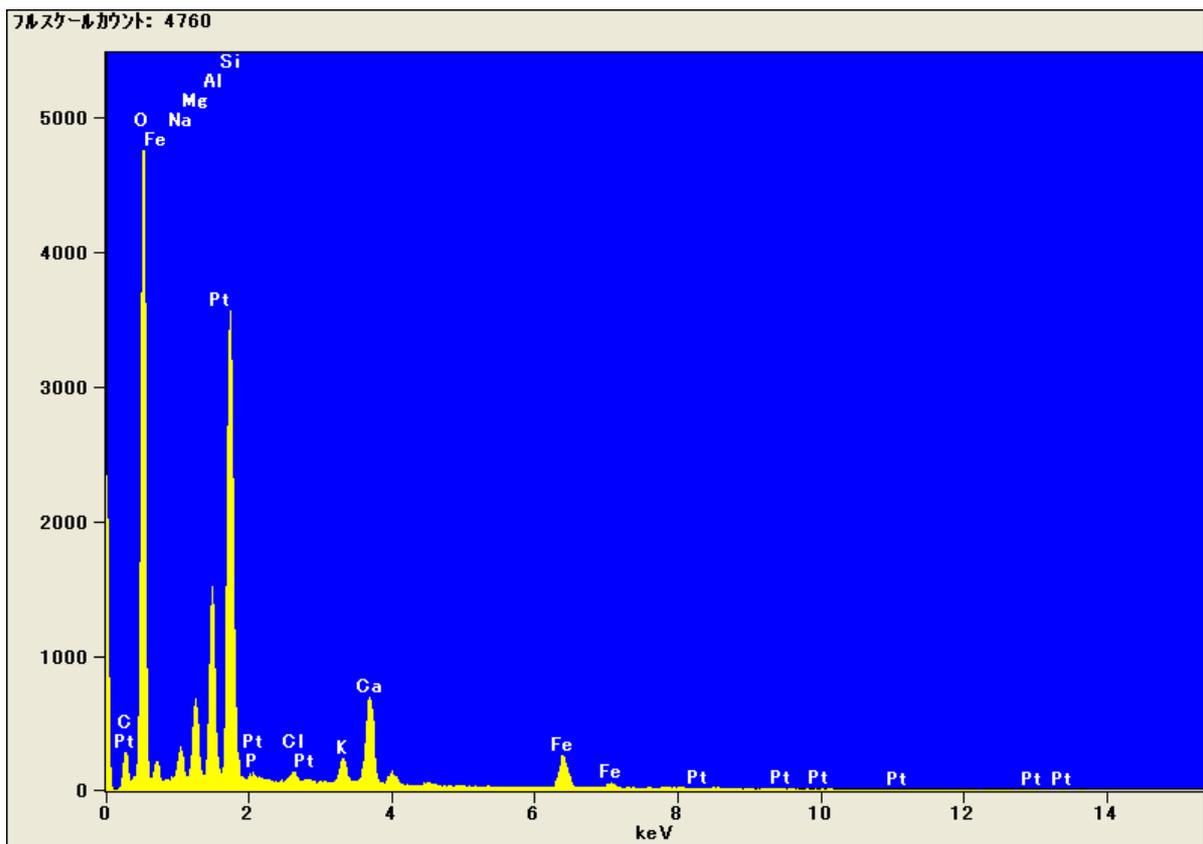


図 1.46 比較試料 H の組成分析結果

表 1.13 比較試料 H の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	4.1
酸素(O)	49.6
ナトリウム(Na)	1.6
マグネシウム(Mg)	3.2
アルミニウム(Al)	6.5
けい素(Si)	17.4
塩素(Cl)	0.4
カリウム(K)	1.5
カルシウム(Ca)	6.8
鉄(Fe)	8.9
合計	100.0

(6) 調査試料 M

・形態観察結果

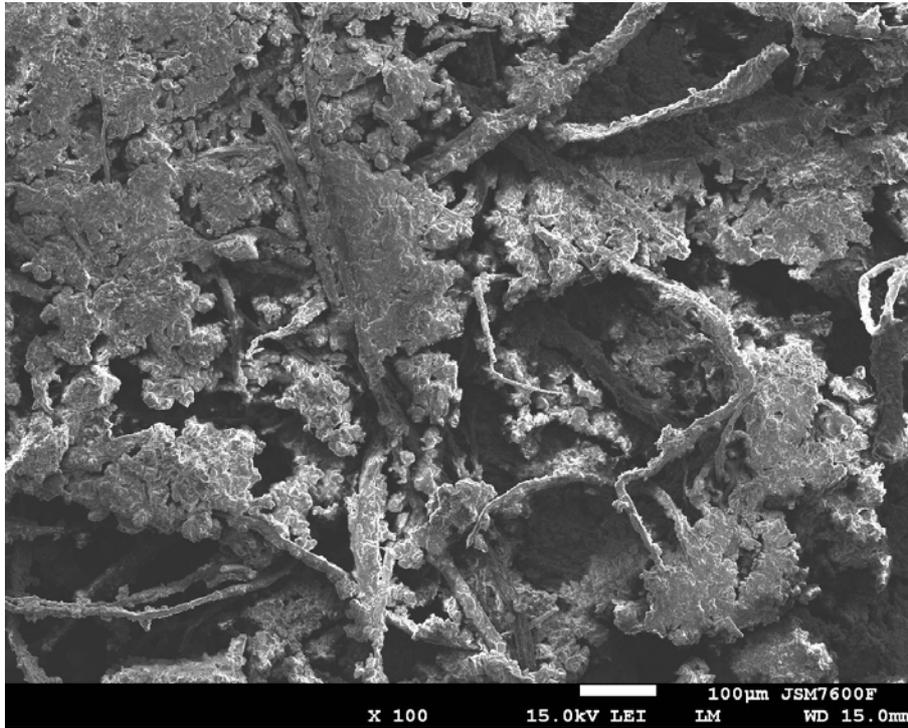


図 1.47-1 調査試料 M の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

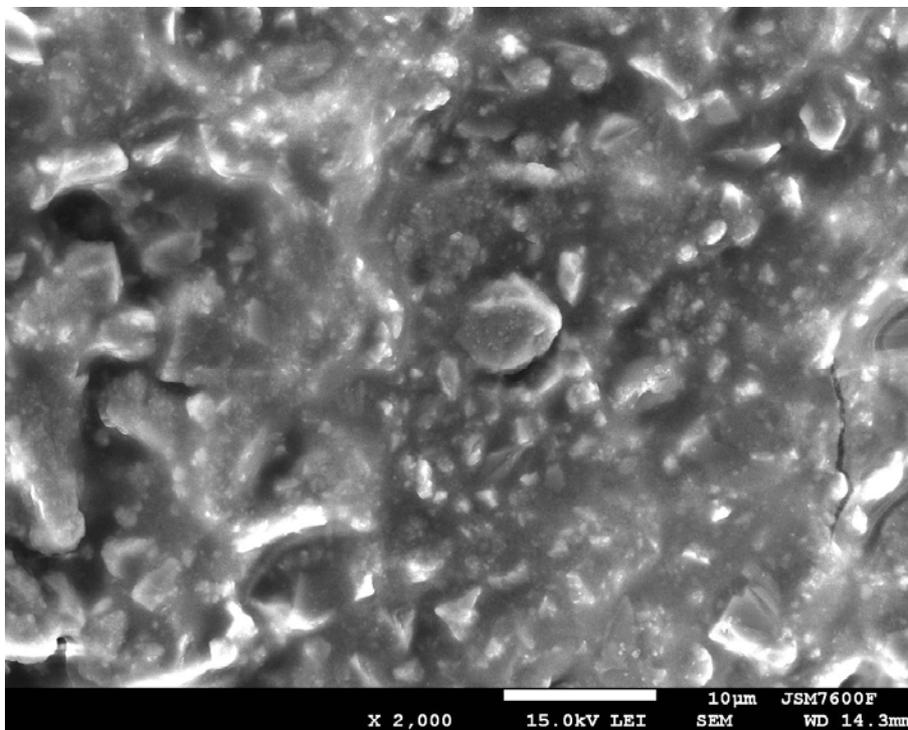


図 1.47-2 調査試料 M の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

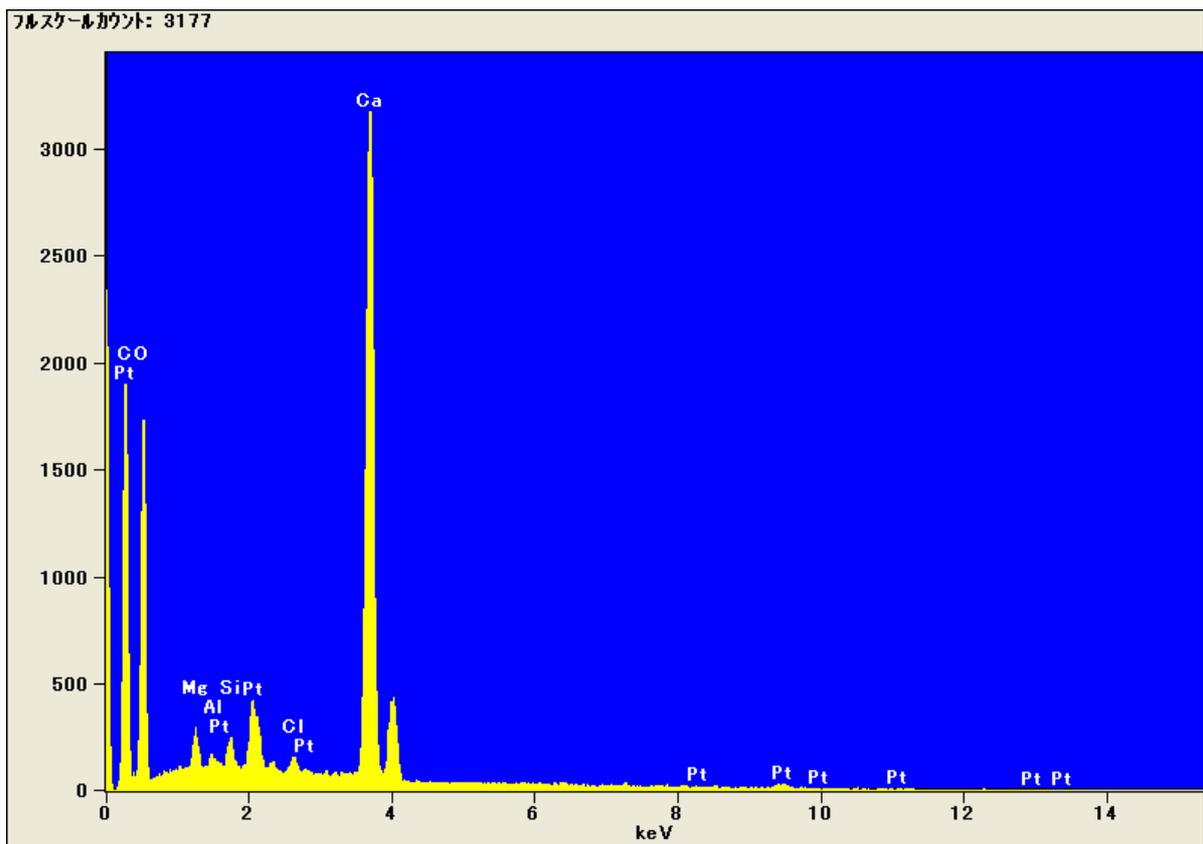


図 1.48 比較試料 M の組成分析結果

表 1.14 比較試料 M の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	13.4
酸素(O)	46.1
マグネシウム(Mg)	1.1
アルミニウム(Al)	0.4
けい素(Si)	0.9
塩素(Cl)	0.6
カルシウム(Ca)	37.5
合計	100.0

(7) 調査試料 O

・形態観察結果

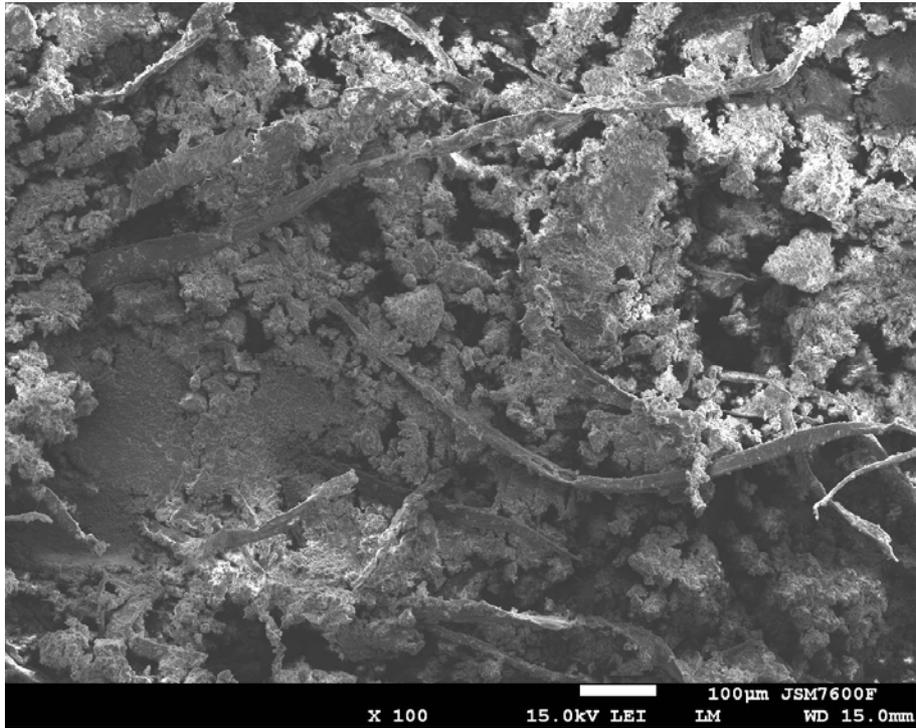


図 1.49-1 調査試料 O の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

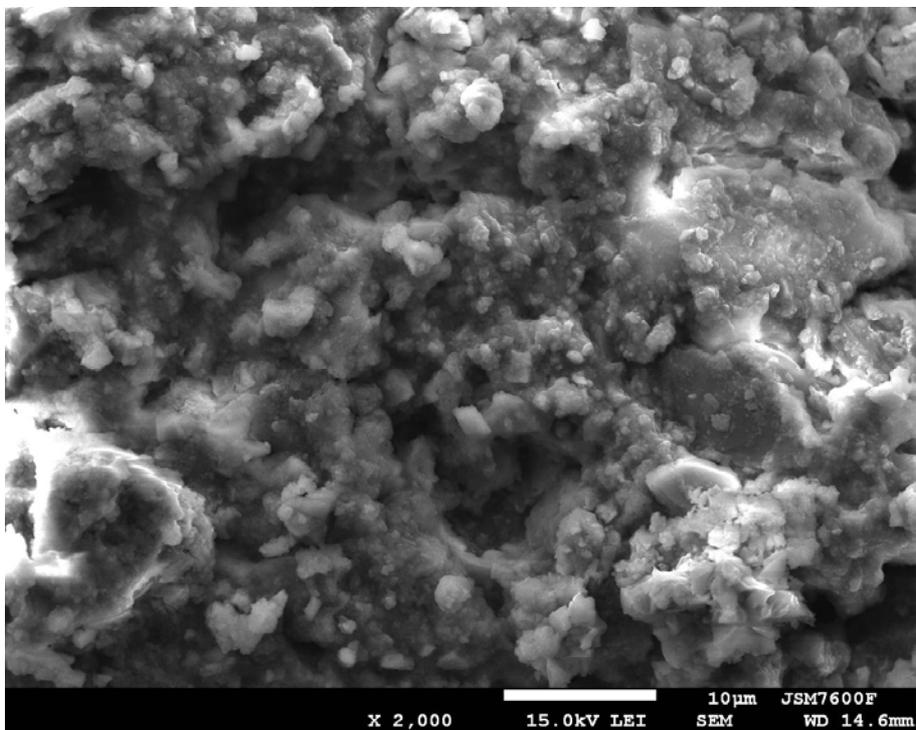


図 1.49-2 調査試料 O の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

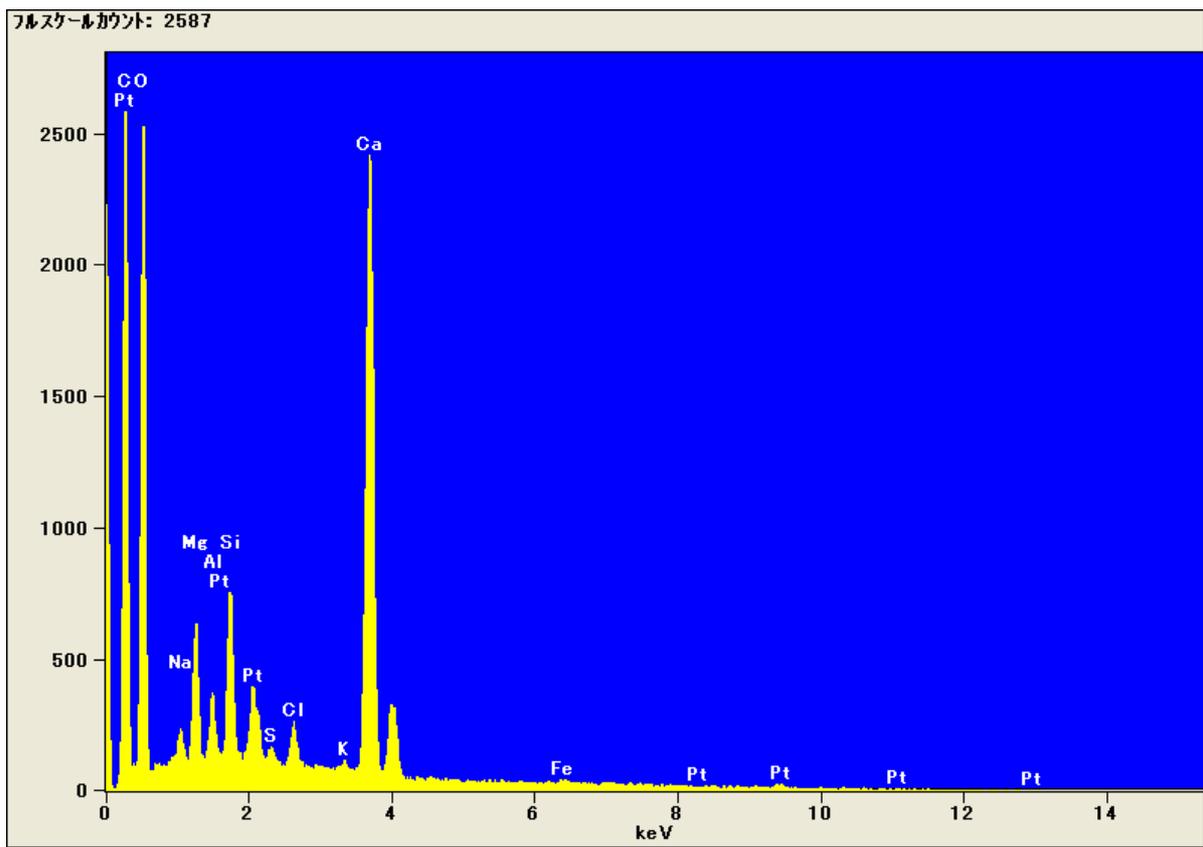


図 1.50 調査試料 O の組成分析結果

表 1.15 調査試料 O の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	18.6
酸素(O)	47.1
ナトリウム(Na)	0.8
マグネシウム(Mg)	2.8
アルミニウム(Al)	1.2
けい素(Si)	3.0
いおう(S)	0.3
塩素(Cl)	1.2
カリウム(K)	0.2
カルシウム(Ca)	24.0
鉄(Fe)	0.8
合計	100.0

(8) 調査試料 Q

・形態観察結果

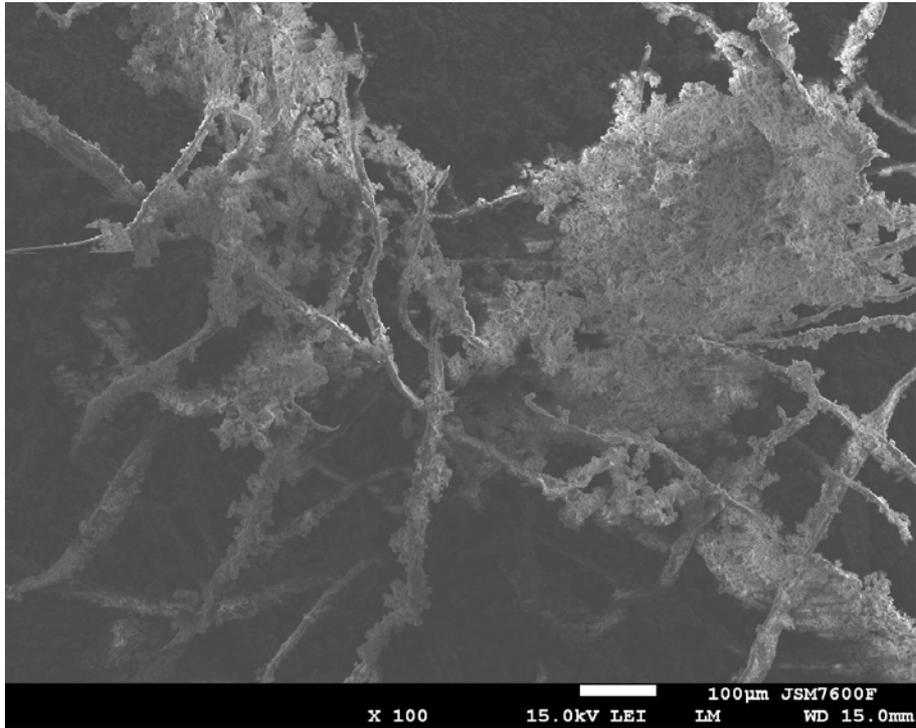


図 1.51-1 調査試料 Q の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

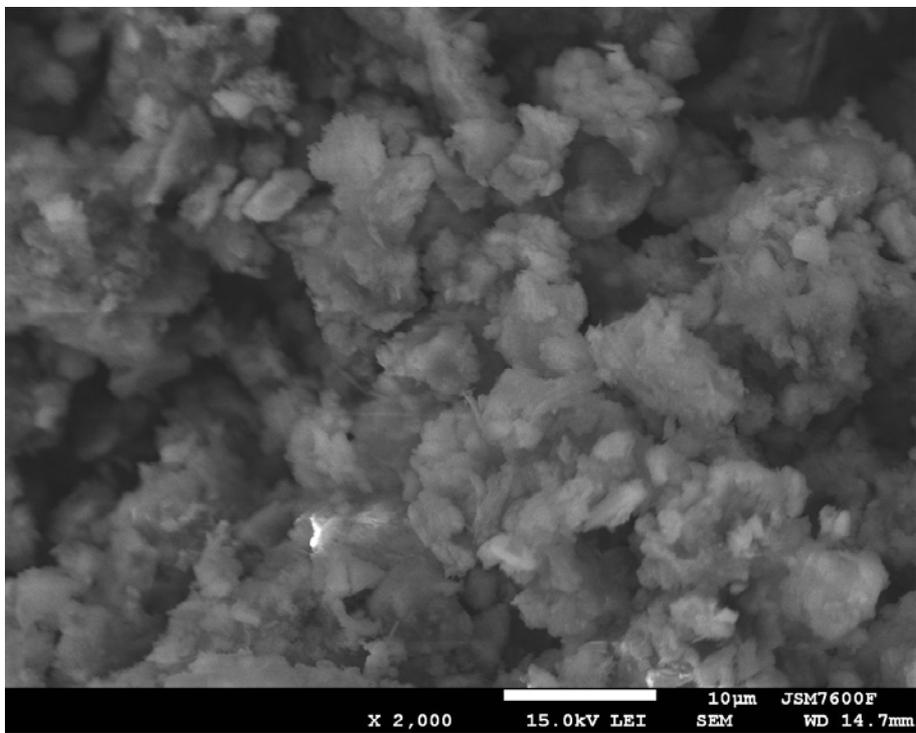


図 1.51-2 調査試料 Q の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

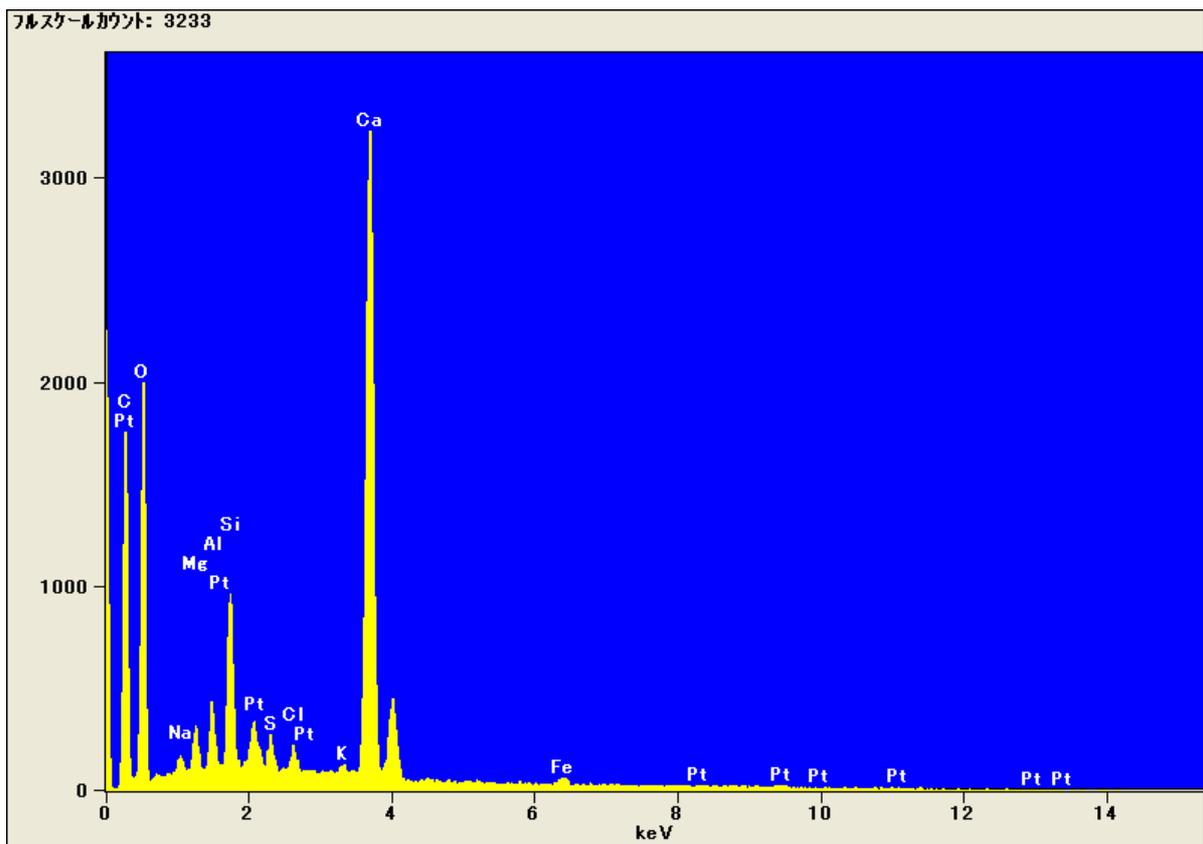


図 1.52 調査試料 Q の組成分析結果

表 1.16 調査試料 Q の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	13.8
酸素(O)	42.6
ナトリウム(Na)	0.6
マグネシウム(Mg)	1.2
アルミニウム(Al)	1.6
けい素(Si)	4.0
いおう(S)	0.8
塩素(Cl)	0.8
カリウム(K)	0.3
カルシウム(Ca)	32.7
鉄(Fe)	1.6
合計	100.0

(9) 調査試料 R

・形態観察結果

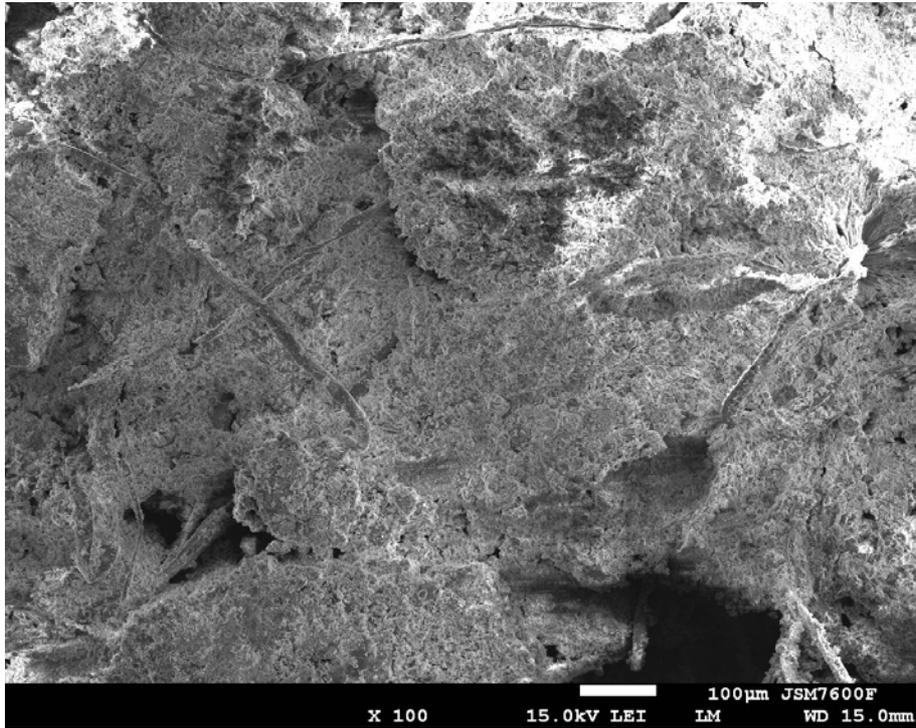


図 1.53-1 調査試料 R の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

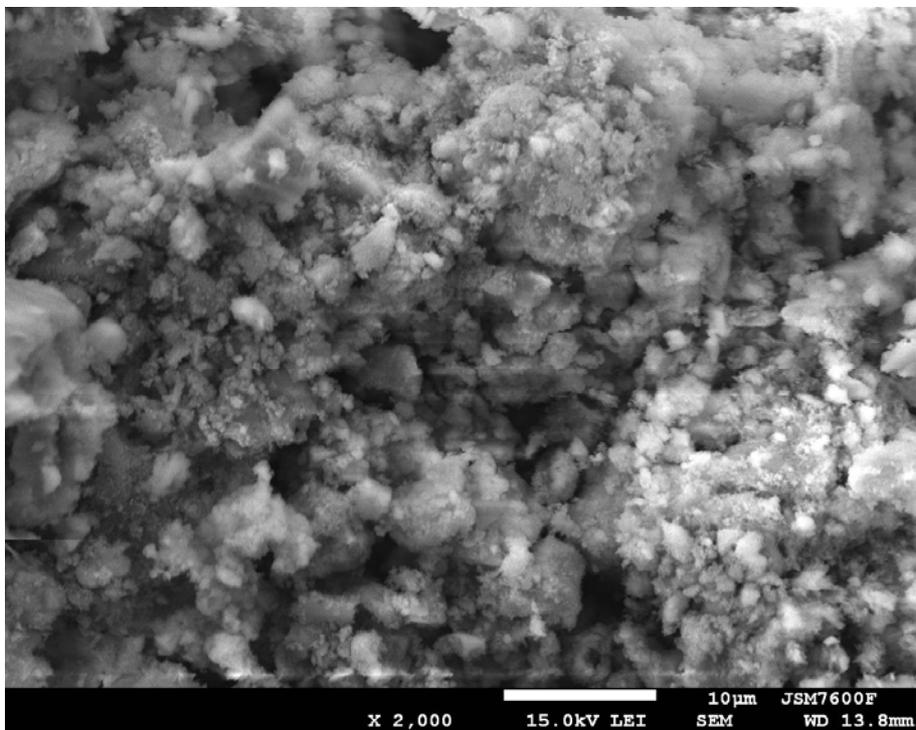


図 1.53-2 調査試料 R の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

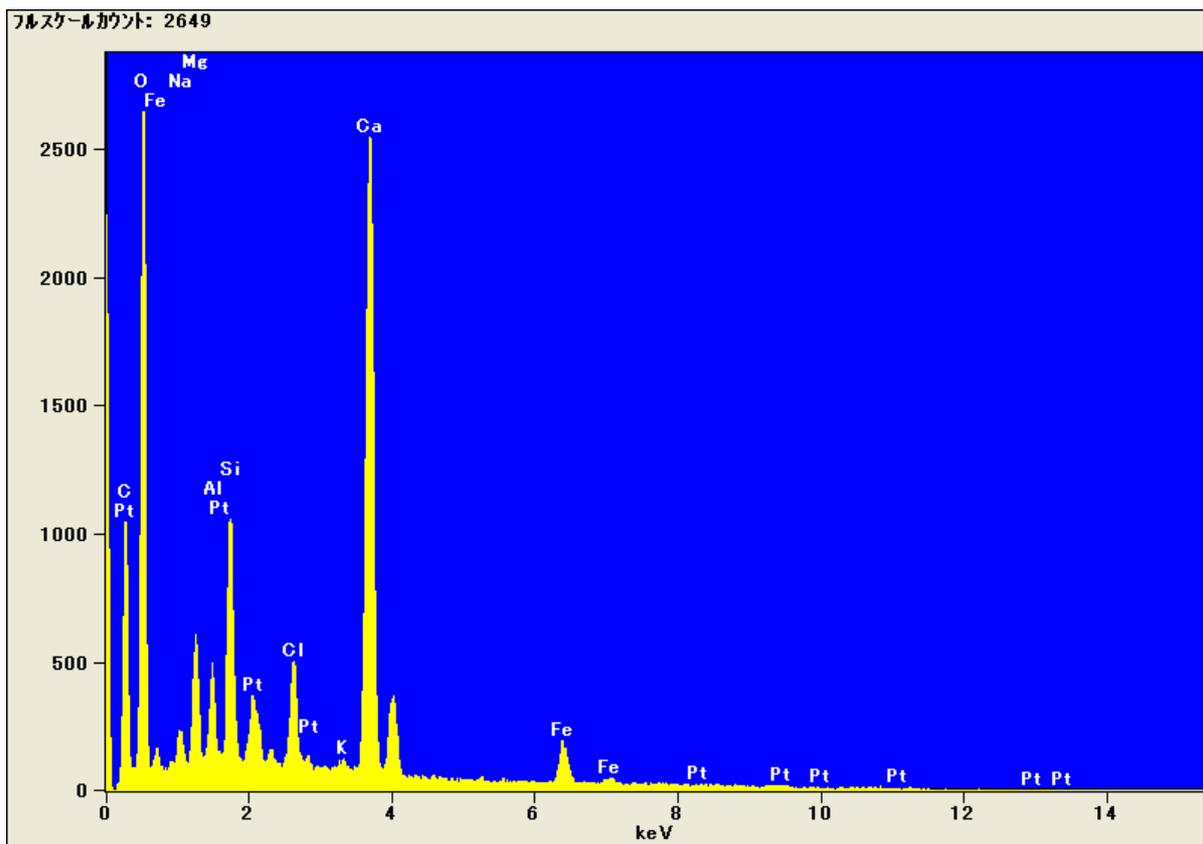


図 1.54 調査試料 R の組成分析結果

表 1.17 調査試料 R の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	9.4
酸素(O)	45.9
ナトリウム(Na)	1.0
マグネシウム(Mg)	2.7
アルミニウム(Al)	1.8
けい素(Si)	4.6
塩素(Cl)	2.8
カリウム(K)	0.3
カルシウム(Ca)	25.4
鉄(Fe)	6.1
合計	100.0

(10) 調査試料 U

・形態観察結果

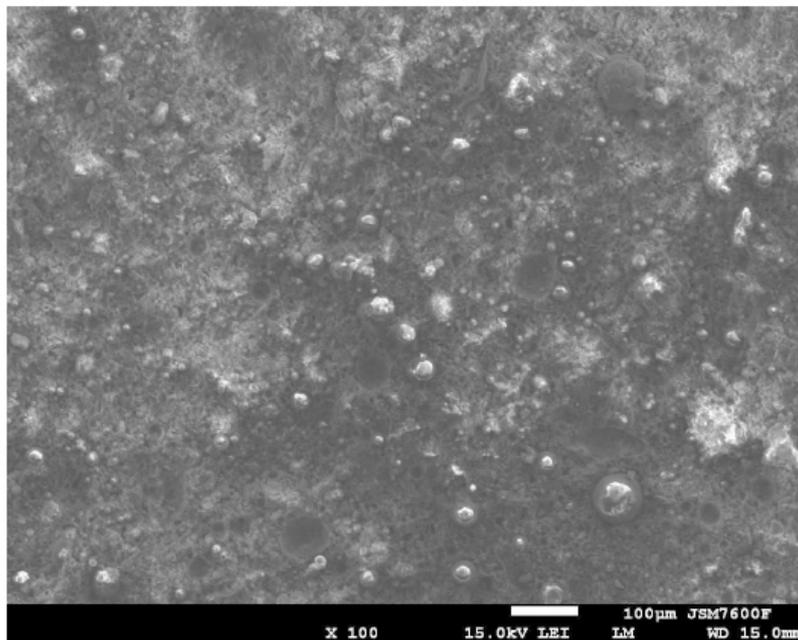


図 1.55-1 調査試料 U の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

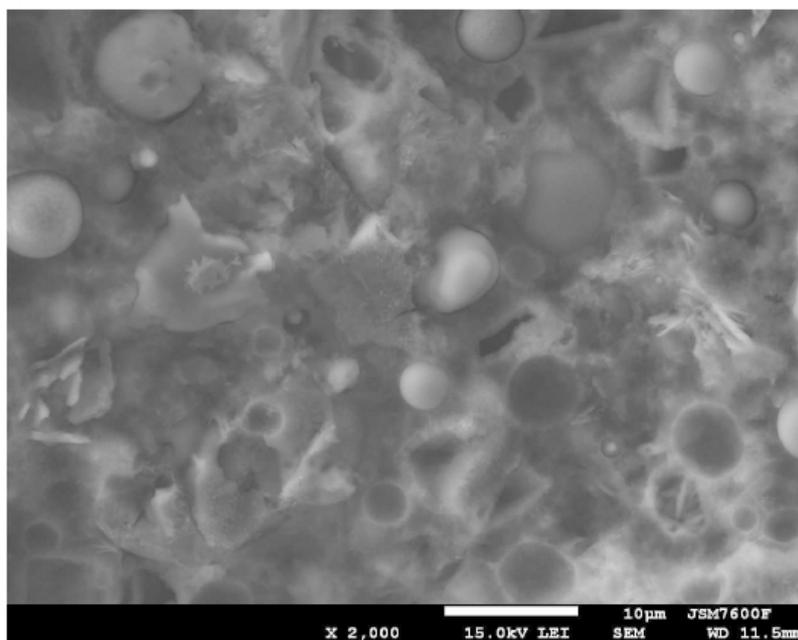


図 1.55-2 調査試料 U の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

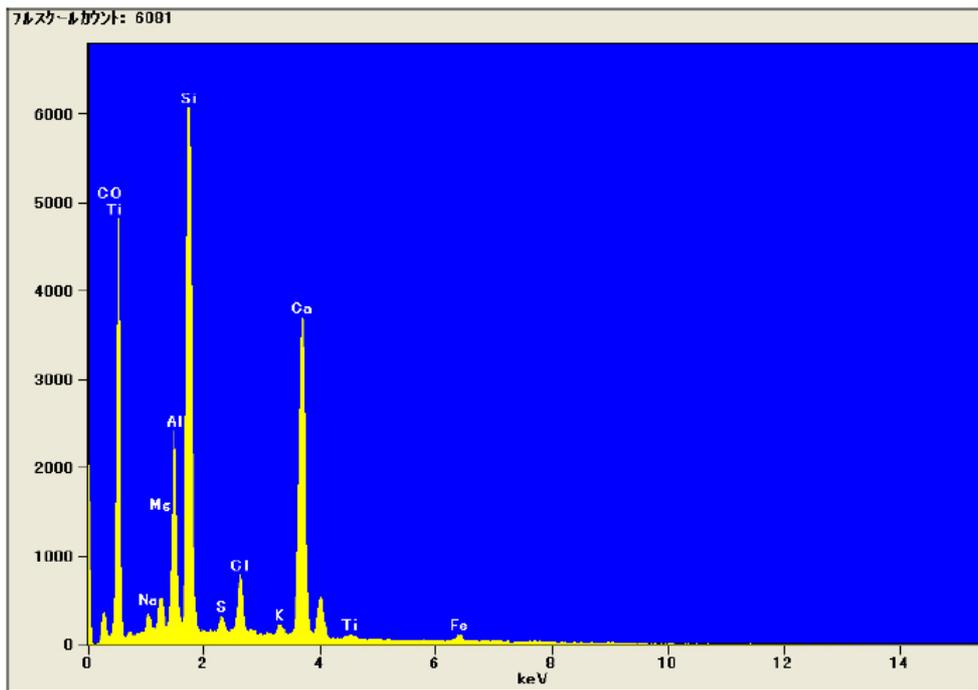


図 1.56 調査試料 U の組成分析結果

表 1.18 調査試料 U の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	3.0
酸素(O)	46.7
ナトリウム(Na)	0.9
マグネシウム(Mg)	1.1
アルミニウム(Al)	5.6
けい素(Si)	16.0
いおう(S)	0.6
塩素(Cl)	2.6
カリウム(K)	0.5
カルシウム(Ca)	20.9
チタン(Ti)	0.4
鉄(Fe)	1.7
合計	100.0

(1 1) 調査試料 X

・形態観察結果

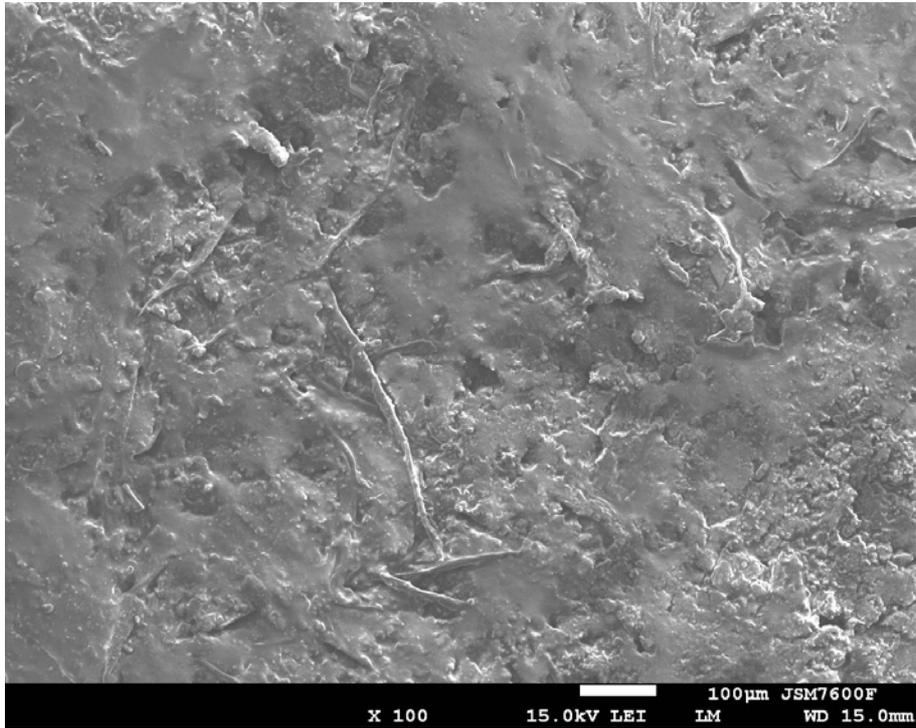


図 1.57-1 調査試料 X の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

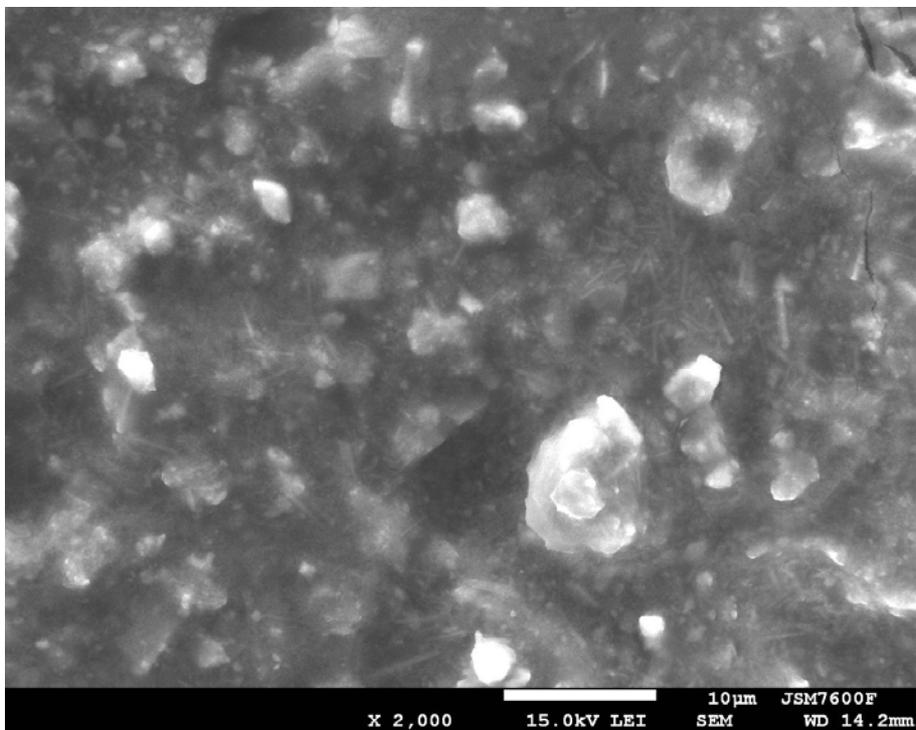


図 1.57-2 調査試料 X の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

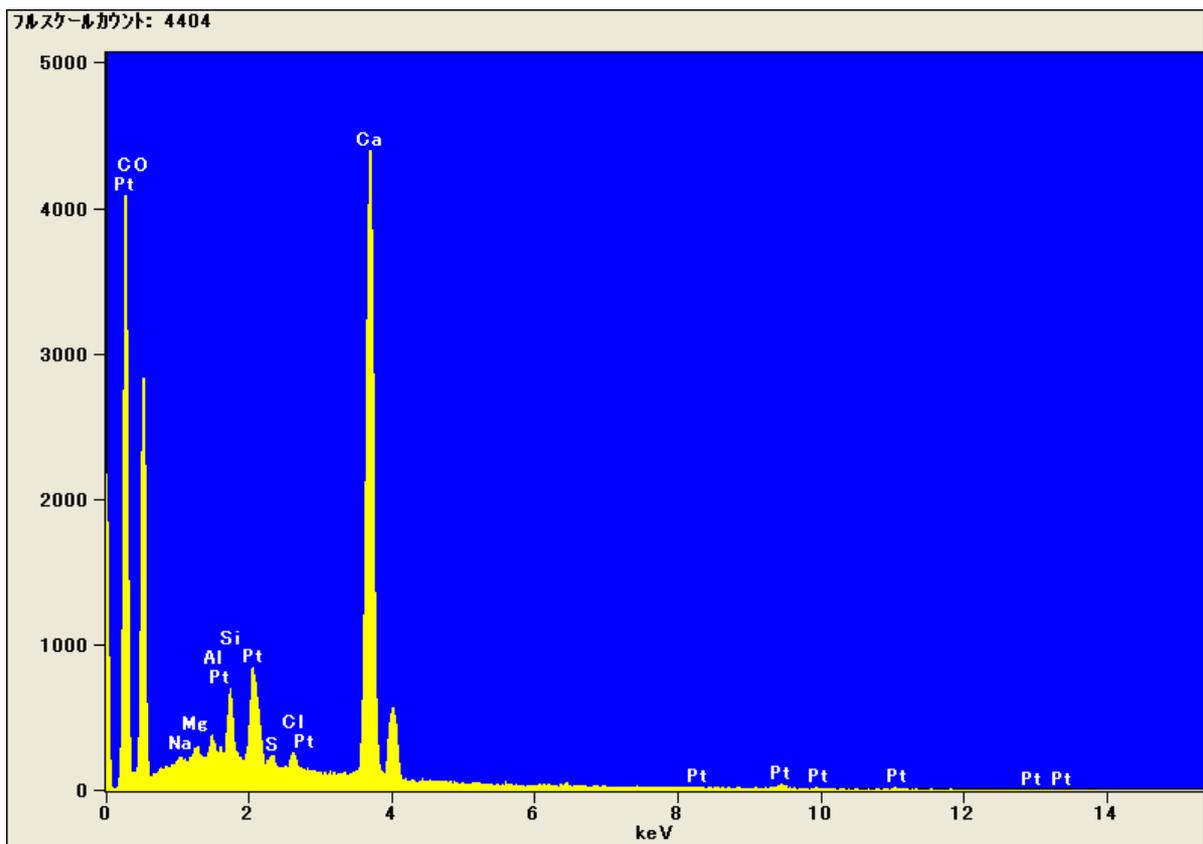


図 1.58 調査試料 X の組成分析結果

表 1.19 調査試料 X の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	17.6
酸素(O)	45.7
ナトリウム(Na)	0.2
マグネシウム(Mg)	0.5
アルミニウム(Al)	0.5
けい素(Si)	1.6
いおう(S)	0.3
塩素(CL)	0.6
カルシウム(Ca)	33.0
合計	100.0

(12) 調査試料 Y

・形態観察結果

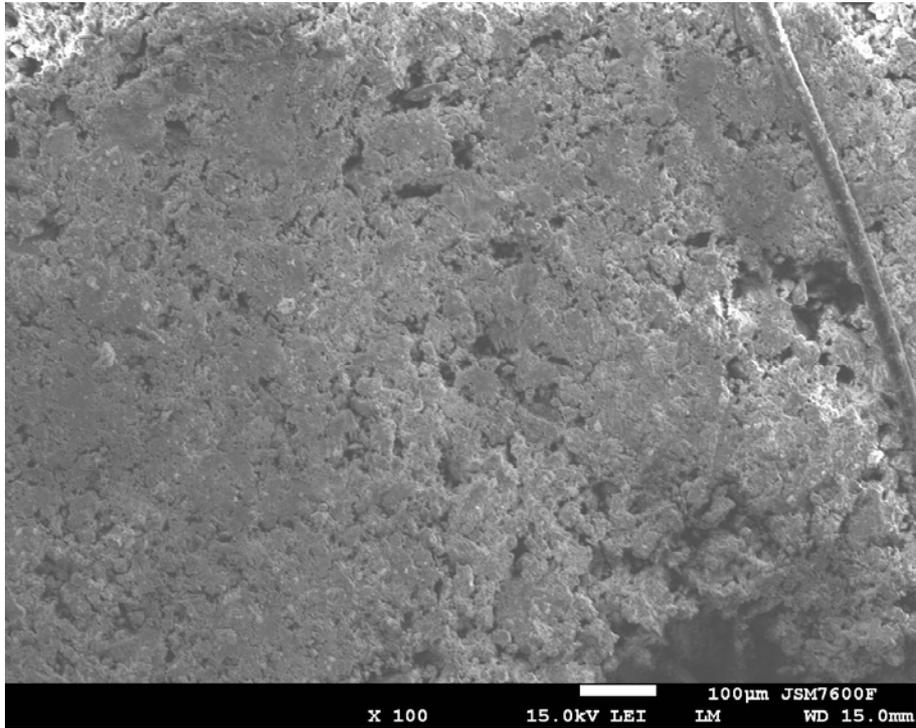


図 1.59-1 調査試料 Y の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

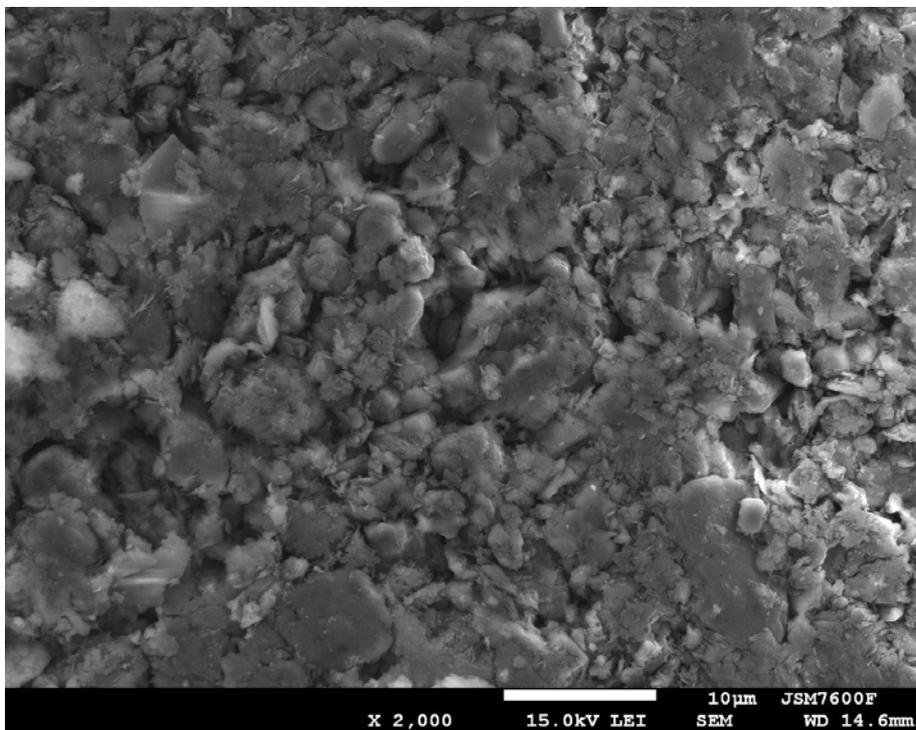


図 1.59-2 調査試料 Y の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

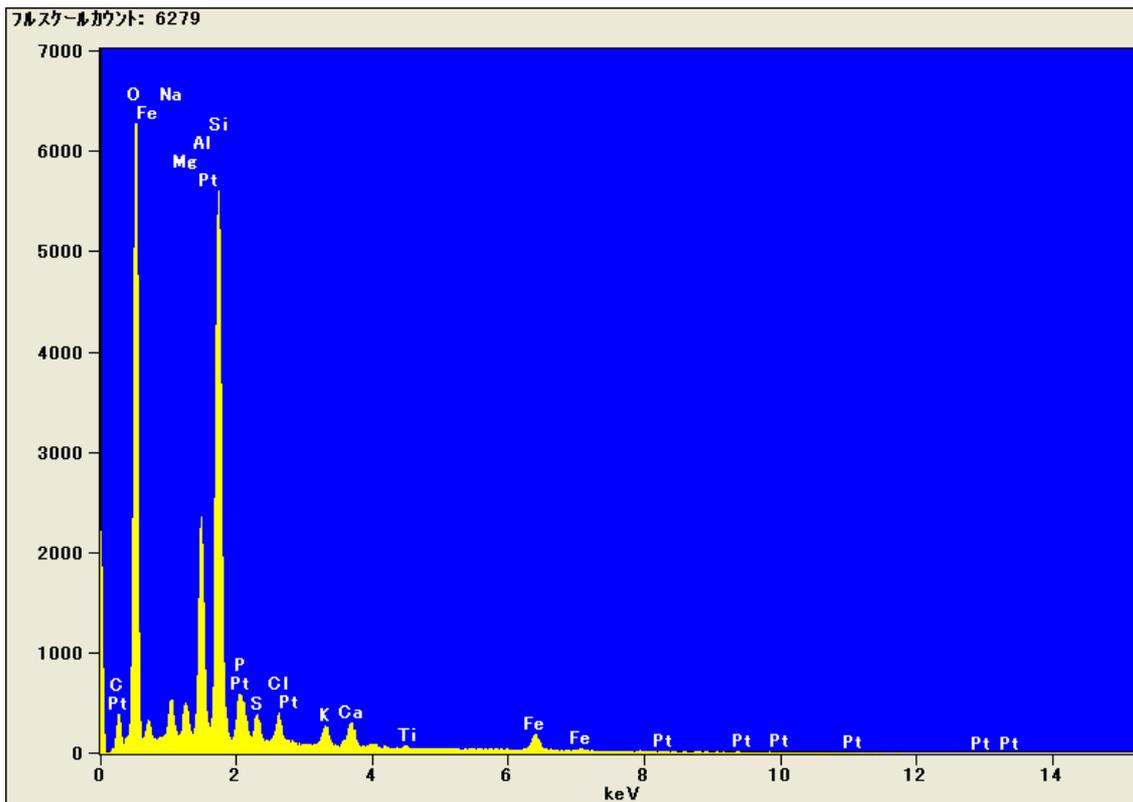


図 1.60 調査試料 Y の組成分析結果

表 1.20 調査試料 Y の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	4.7
酸素(O)	50.9
ナトリウム(Na)	2.0
マグネシウム(Mg)	1.3
アルミニウム(Al)	7.9
けい素(Si)	21.4
りん(P)	0.4
いおう(S)	1.4
塩素(Cl)	1.6
カリウム(K)	1.4
カルシウム(Ca)	2.1
チタン(Ti)	0.2
鉄(Fe)	4.7
合計	100.0

(13) 調査試料 AA

・形態観察結果

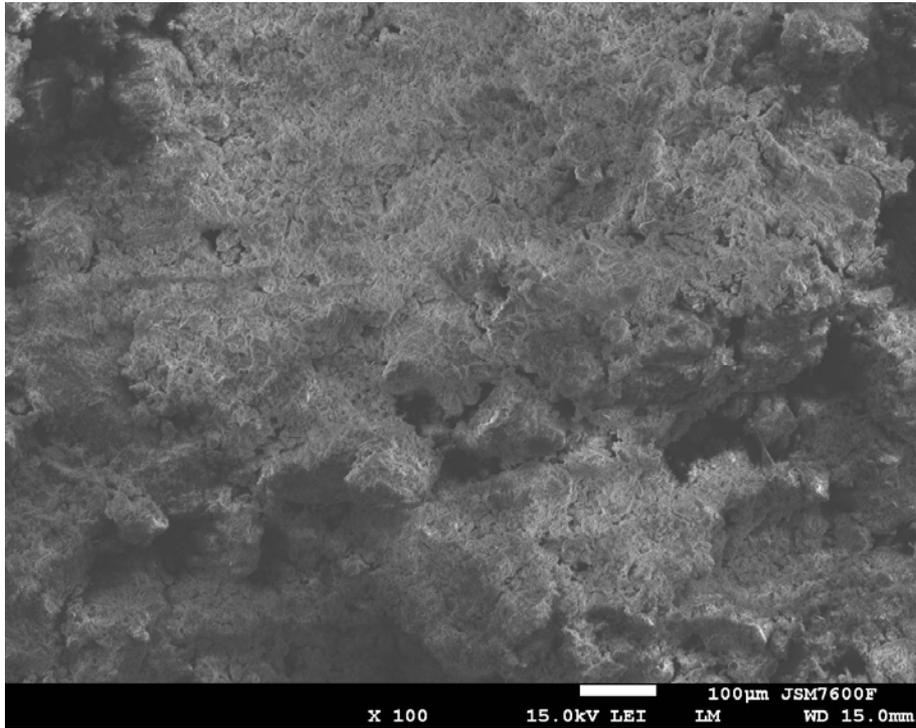


図 1.61-1 調査試料 AA の走査電子顕微鏡像(×100 倍)

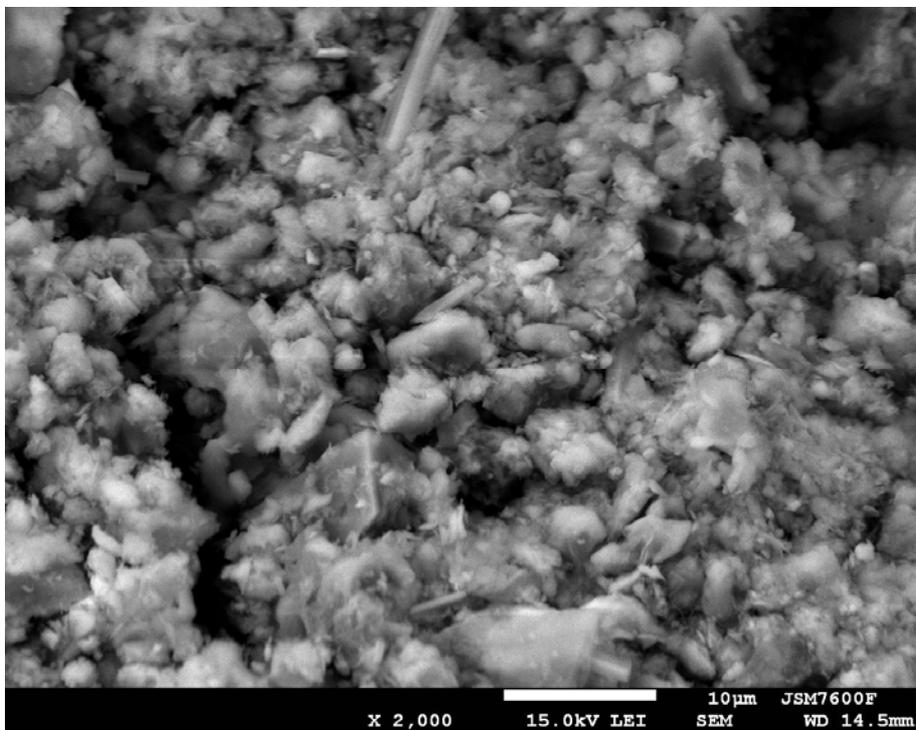


図 1.61-2 調査試料 AA の走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

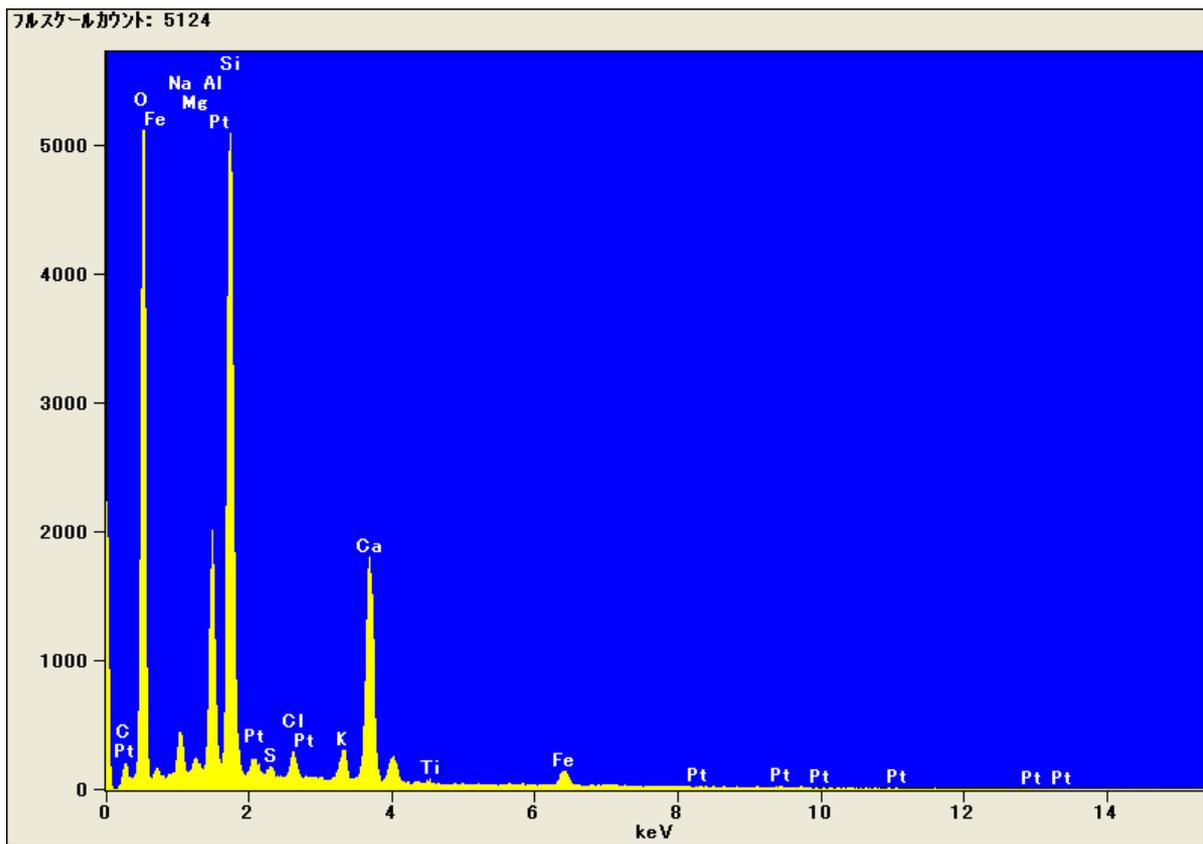


図 1.62 調査試料 AA の組成分析結果

表 1.21 調査試料 AA の組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	2.3
酸素(O)	50.4
ナトリウム(Na)	1.8
マグネシウム(Mg)	0.4
アルミニウム(Al)	6.2
けい素(Si)	18.6
いおう(S)	0.4
塩素(Cl)	1.1
カリウム(K)	1.4
カルシウム(Ca)	13.8
チタン(Ti)	0.2
鉄(Fe)	3.4
合計	100.0

1. 6 形態観察及び元素組成分析結果からの判定結果

表 1.22 形態観察及び元素組成分析結果からの判定結果

採取番号	採取場所	判定結果 ^{※1}	含有候補 ^{※2}
C	シールドマシントールブラシ後段 38 番部分内ブラシメッシュ間	イ単独	—
D	シールドマシントールブラシ後段 50 番部分外板外ブラシ間	ウを含む	イ
E	シールドマシントールブラシ後段 58 番部分外板外ブラシ間	イ単独	—
F	シールドマシントールブラシ後段 77 番部分外板外ブラシ間	カとウを含む	不明
H	シールドマシントールブラシ後段 96 番部分外板外ブラシ間	ウを含む	イ
M	シールドマシントールブラシ前段 4 番部分外板外ブラシ間	ウを含む	イ
O	シールドマシントールブラシ前段 38 番部分スキンプレート外板間	ウを含む	イ
Q	シールドマシントールブラシ前段 58 番部分スキンプレート外板間	ア又はウを含む	イ
R	シールドマシントールブラシ前段 148 番部分外ブラシ外板間	ウを含む	イ
U	シールドマシントールブラシ前段 178 番部分スキンプレート外板間	カとアを含む	—
X	シールドマシントールブラシ前段 62 番部分スキンプレート外板間	ウを含む	イ
Y	シールドマシントールブラシ前段 78 番部分スキンプレート外板間	ウを含む	不明
AA	シールドマシンフードチャンバー内	アとウを含む	不明

※1 判定結果欄の例

イ単独：比較試料イの材料のみと考えられるもの。

ウを含む：比較試料ウが含まれていると考えられるもの。

カとウを含む：比較試料カと比較試料ウが含まれていると考えられるもの。

カとアを含む：比較試料カと比較試料アが含まれていると考えられるもの。

ア又はウを含む：比較試料ア又は比較試料ウが含まれていると考えられるもの。

アとウを含む：比較試料アと比較試料ウが含まれていると考えられるもの。

※2 共存候補欄の例

—：判定結果欄に示した材料のみと考えられるもの。

イ：比較試料イが共存していると考えられるもの。

不明：共存物の存在の有無を含め判断できなかったもの。

1. 7 裏込め注入材と止水材の混合物の分析

本節では、裏込め注入材と止水材の混合物を分析した。裏込め注入材が混合物の質量比でどの程度まで含まれると、赤外吸収スペクトル、形態観察及び成分分析により、裏込め注入材を検出できるか検討した。

1. 7. 1 赤外吸収スペクトルによる分析

(1) 比較試料オ (裏込め注入材+止水材) (裏込め注入材 50%を含む)

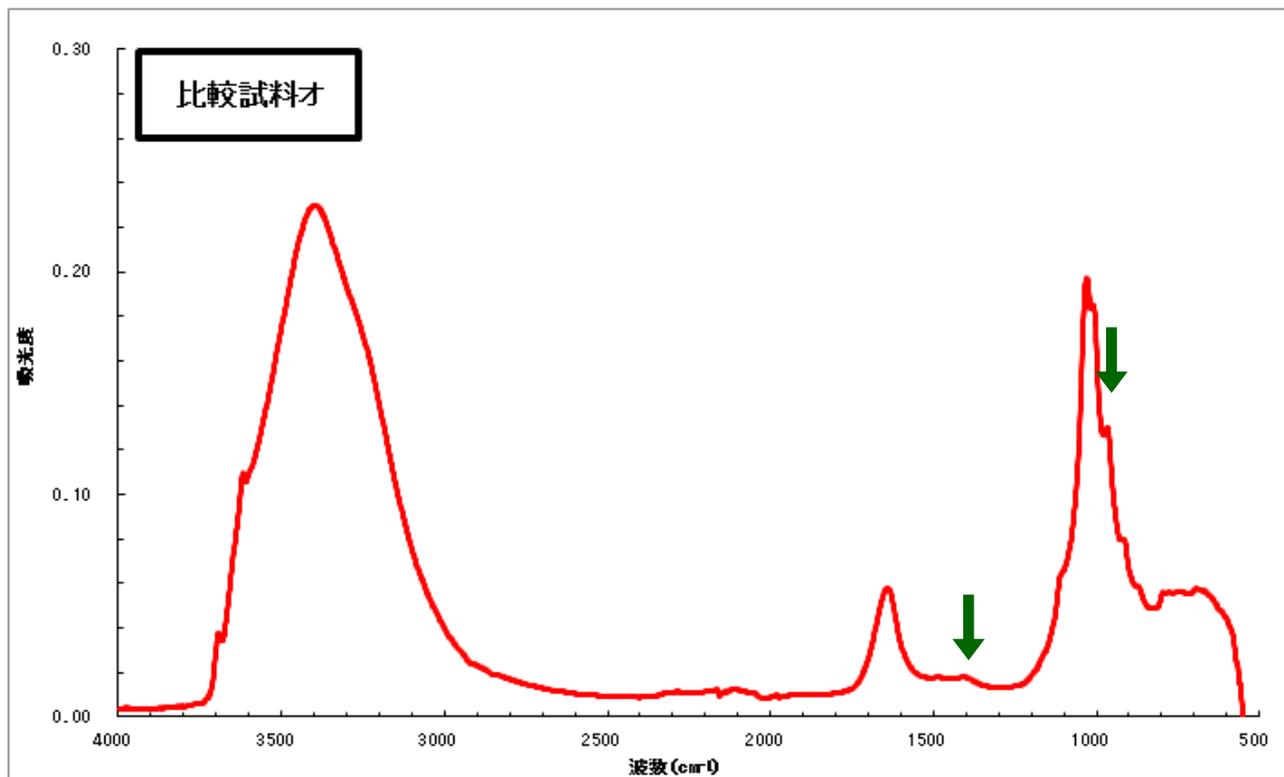


図 1.63 比較試料オの赤外吸収スペクトル

表 1.23 比較試料オの赤外吸収スペクトルのうち、裏込め注入材の存在を表すと考えられる吸収

No.	吸収帯又は吸収 (cm ⁻¹)	ピークトップの波数(cm ⁻¹)	備考
1	1,408	1,408	CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ に由来する吸収及び不飽和脂肪族の=CH 基による吸収。炭酸塩及び樹脂の存在が示唆される。
2	968	968	不明。

(2) 混合試料-1 (止水材に裏込め注入材を 1% 混合)

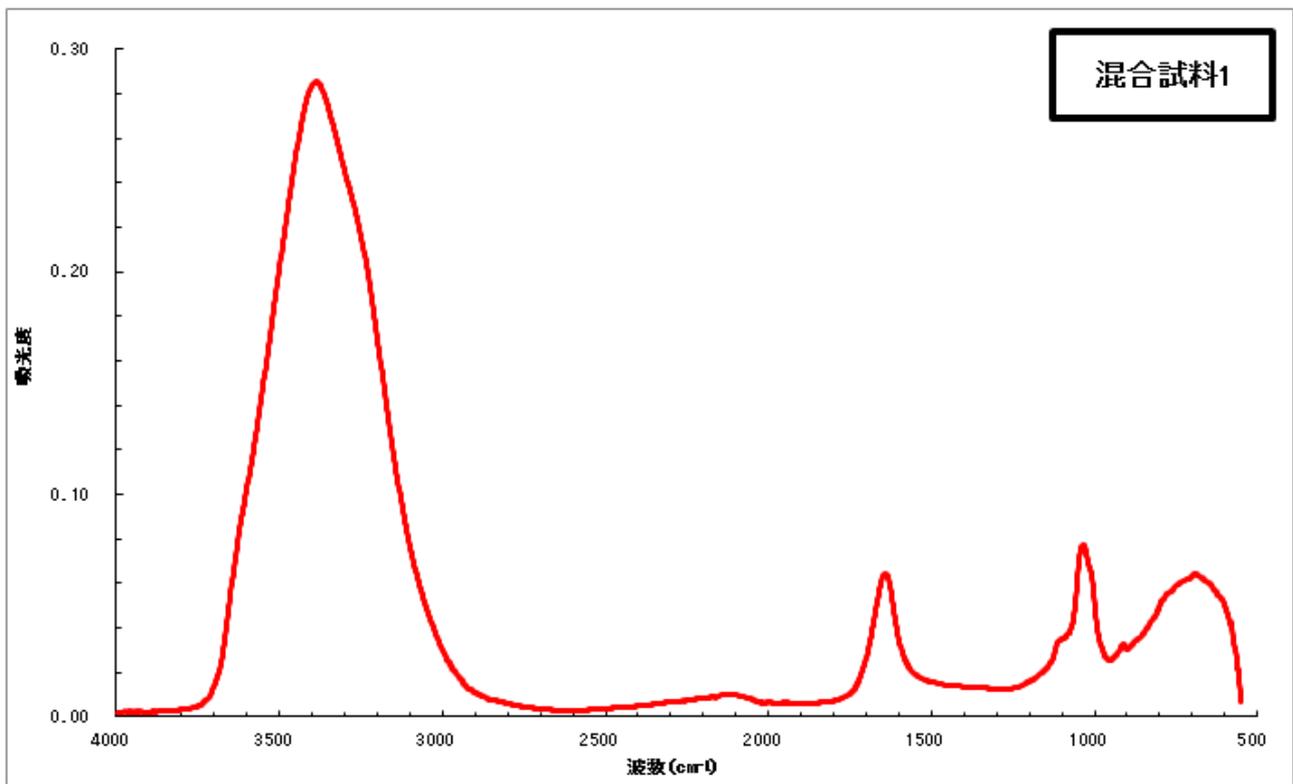


図 1.64 混合試料-1 の赤外吸収スペクトル

(3) 混合試料-2 (止水材に裏込め注入材を 10% 混合)

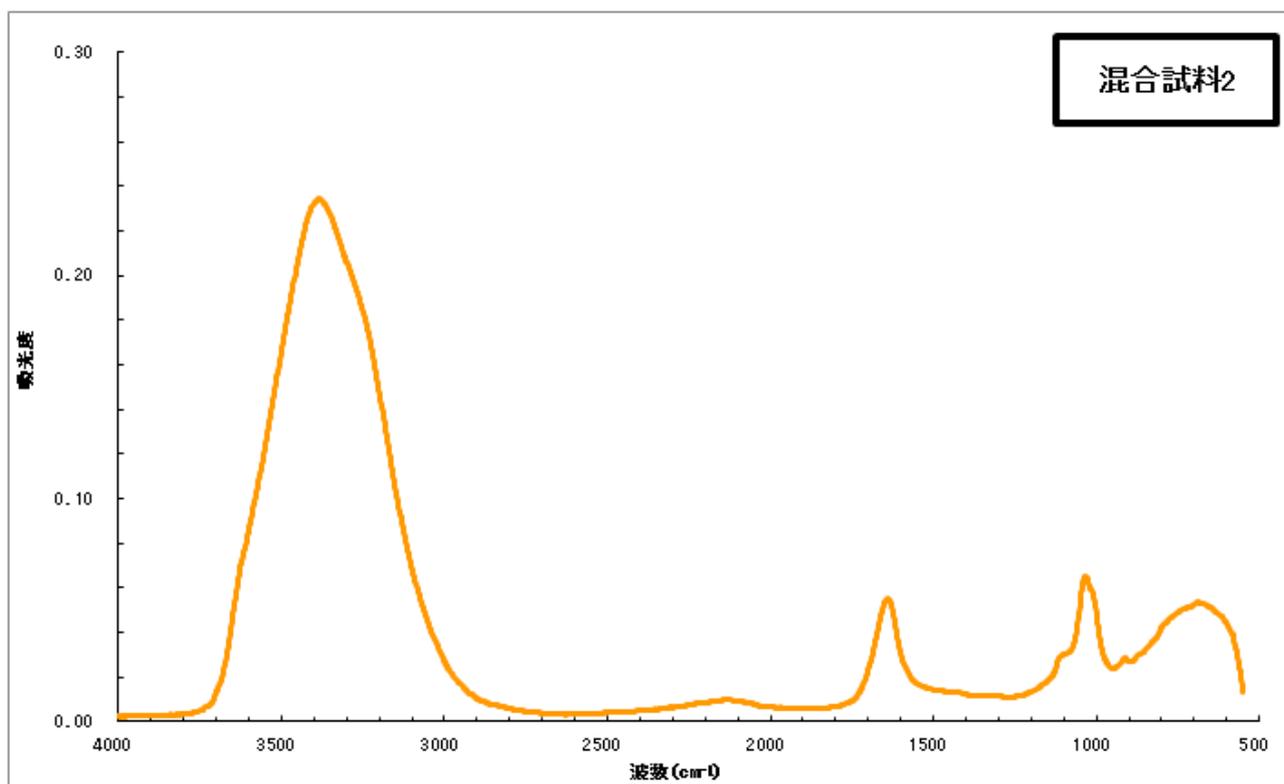


図 1.65 混合試料-2 の赤外吸収スペクトル

(4) 混合試料-3 (止水材に裏込め注入材を 20% 混合)

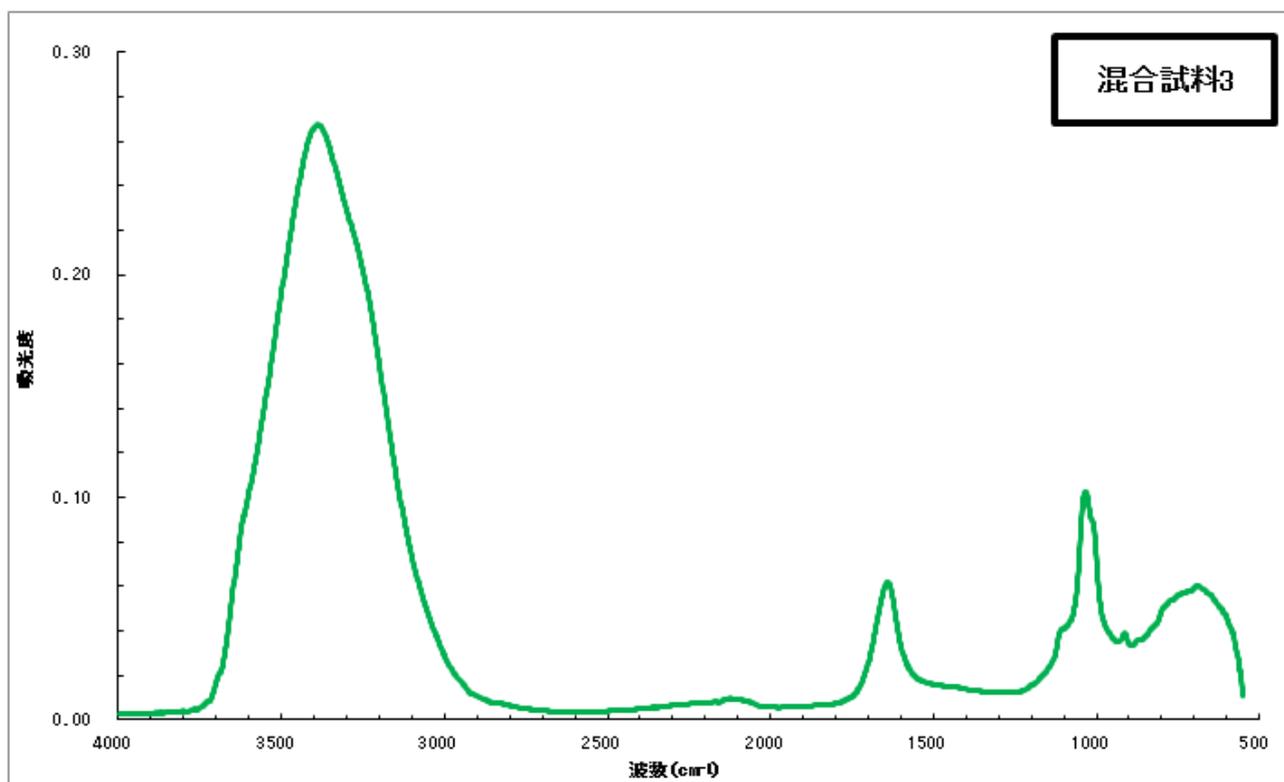


図 1.66 混合試料-3 の赤外吸収スペクトル

(5) 混合試料-4 (止水材に裏込め注入材を 50% 混合)

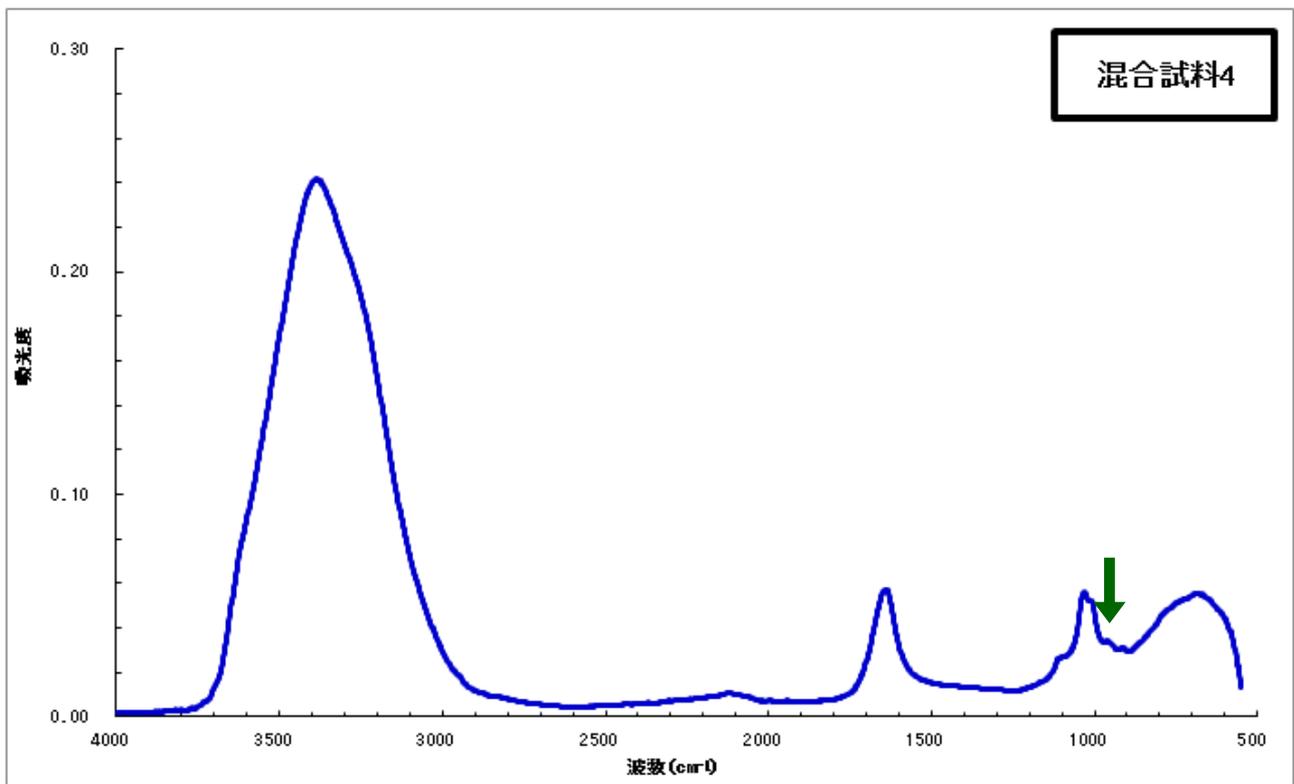


図 1.67 混合試料-4 の赤外吸収スペクトル

1. 7. 2 比較試料の形態観察及び元素組成分析結果

(1) 比較試料オ (裏込め注入材+止水材)

・形態観察結果

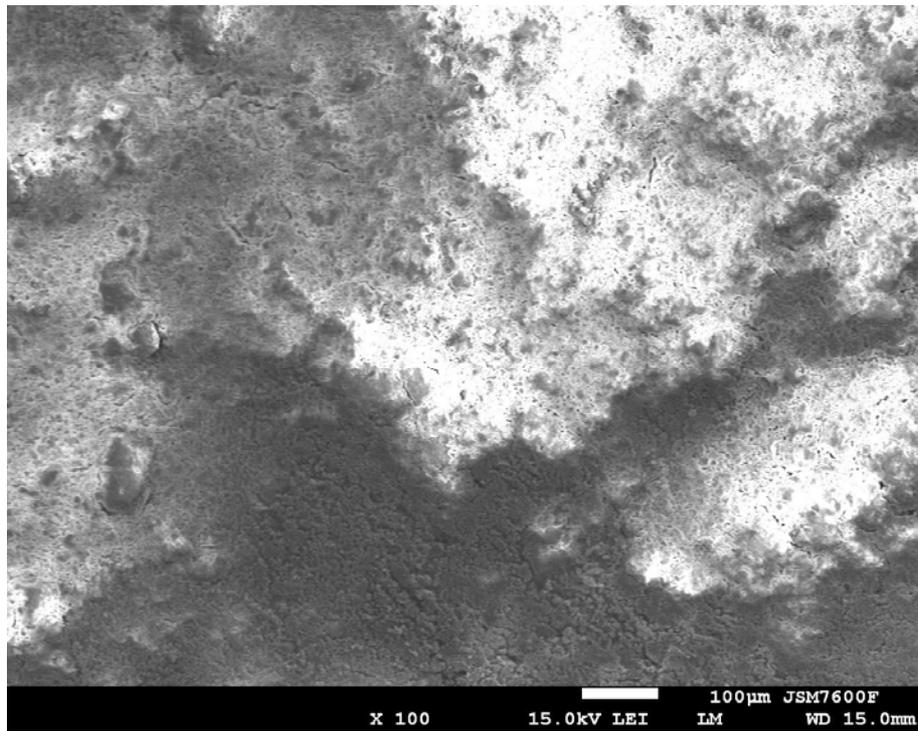


図 1.68 比較試料オの走査電子顕微鏡像(×100 倍)

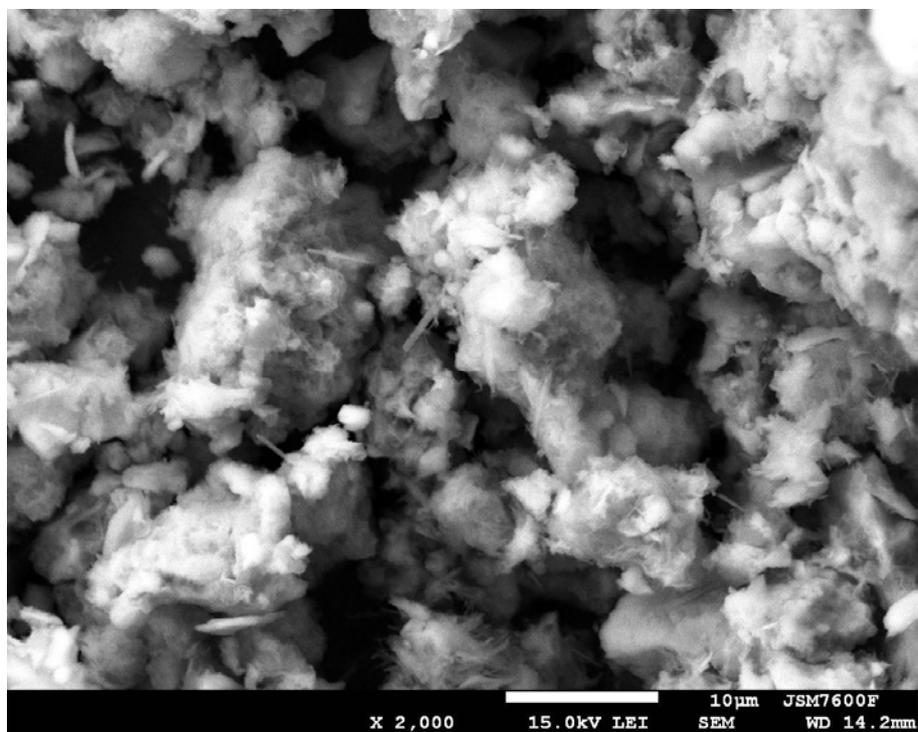


図 1.69 比較試料オの走査電子顕微鏡像(×2,000 倍)

・ 元素組成分析結果

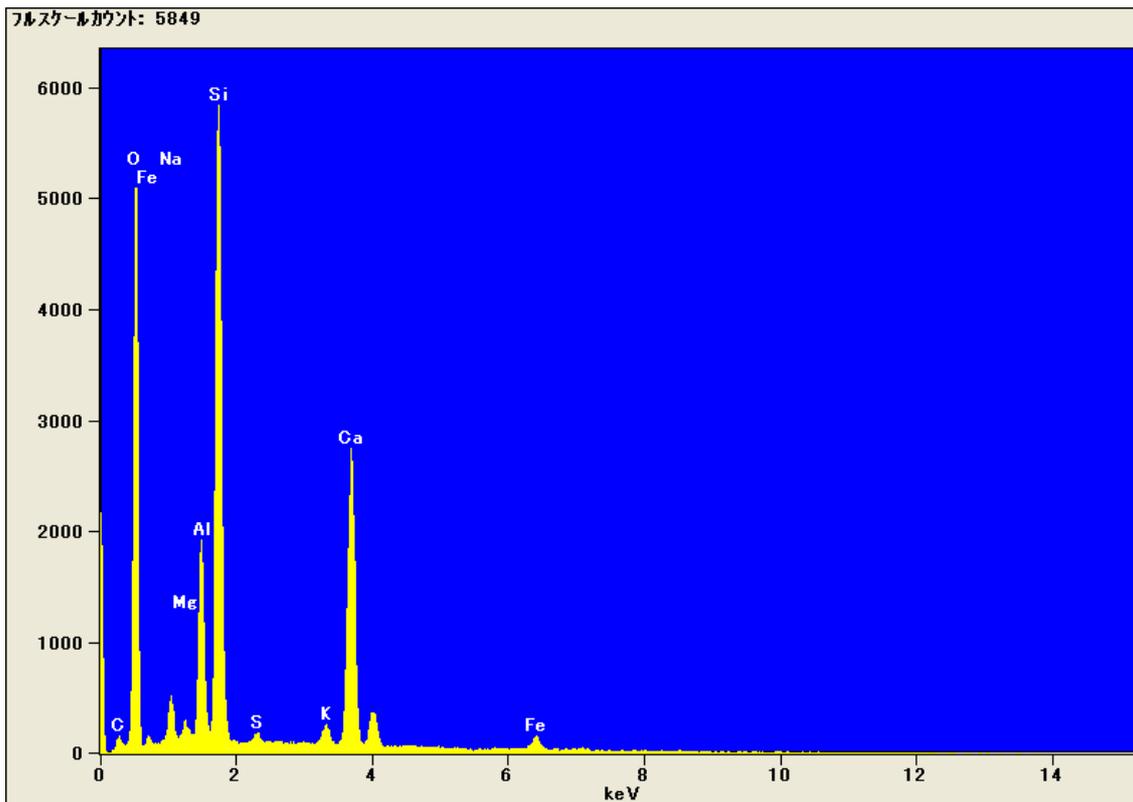


図 1.70 比較試料オの組成分析結果

表 1.24 比較試料オの組成分析結果

元素名(原子記号)	半定量値 (w/w%)
炭素(C)	1.4
酸素(O)	49.0
ナトリウム(Na)	1.9
マグネシウム(Mg)	0.6
アルミニウム(Al)	5.5
けい素(Si)	18.8
いおう(S)	0.4
カリウム(K)	1.0
カルシウム(Ca)	18.4
鉄(Fe)	3.0
合計	100.0

注)測定結果は、検出された元素の計数値に係数をかけて算出し、合計が100%となるように計算された値であり、検量線を用いた化学分析のような正確な濃度を示したものではない。なお、測定を行ったX線分析装置の測定対象は、原子量が8（ほう素）以上の元素であり、それ以下の元素は含まれていても検出されない。以下、組成分析結果下については同様。

1. 7. 3 混合試料の外観

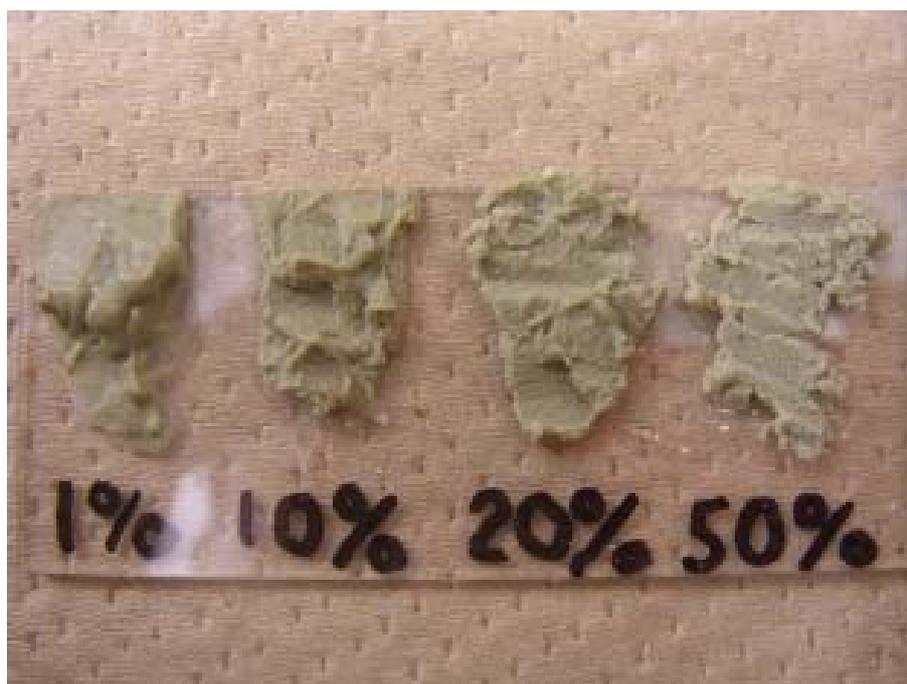


図 1.71 混合試料の外観

1. 7. 4 裏込め注入材と止水材の混合物の分析のまとめ

止水材に裏込め注入材を指定の割合で混合した場合の赤外吸収スペクトル(以下、「IRスペクトル」という。)の収集等を行った結果、以下の所見を得た。

- 1) 比較試料オのIRスペクトルは、止水材のIRスペクトルによく似ていたが、 $1,410\text{cm}^{-1}$ 付近や 970cm^{-1} 付近に裏込め注入材に由来すると考えられる吸収がわずかにみられた。
- 2) 混合試料のIRスペクトルでは、50%混合の試料(混合試料-4)で 970cm^{-1} 付近に裏込め注入材に由来すると考えられる吸収がわずかにみられたが、他の試料では裏込め注入材の存在を裏づけるような吸収は認められなかった。
- 3) 比較試料オの形態観察の結果、裏込め注入材で特徴的だった繊維状の結晶の存在がみられた。
- 4) 比較試料オの組成分析の結果、主成分は酸素、けい素、カルシウムであった。止水材の主成分は酸素、けい素で、カルシウムの含有率は非常に低かったことから、比較試料オに含まれるカルシウムの大部分は裏込め注入材に由来するものと考えられた。
- 5) 止水材に裏込め注入材を混合した場合、裏込め注入材を20%以上混合したものについては止水材の流動性が明らかに低下するようであったが、10%以下の混合では大きな差異は感じられなかった。

1. 8 総合判定結果

総合判定結果については、本文中第9章 p.9-25 表 9.2.9 に示す。同表から切羽に向かって4時と10時の方向のテールブラシ（前段，切羽側）から裏込め注入材が確認された（本文中第9章 p.9-17 図 9.2.10 及び p.9-18 図 9.2.11 参照）。なお，裏込め注入材の混入割合が50%より少なくなると，裏込め注入材を検出できないことが確認された。

本文中第9章 p.9-26 図 9.2.13 にテールシール注入管の詳細図を示す。切羽に向かって4時の方向のテールシール注入管がテールグリス A でいっぱいであったことを確認している。計8箇所からテールグリスを油圧ジャッキにより手動で注入していく構造であり、1本の管から8箇所のテールシール注入管に分岐しているため、どこか1箇所入りにくい管があると、他の箇所へとテールグリスが流入するものと推察される。したがって、切羽に向かって4時の方向の注入管がテールグリス A でいっぱいであったことから、止水材が流入していかなかったものと推察される。そのため、十分な止水効果が得られず、裏込め注入材が切羽側のテールブラシにまで到達したと推察される。

切羽側のテールブラシにまで裏込め注入材が到達していること、85リング掘進中に裏込め注入材が坑内にまで漏れて来ていたことから、切羽側のテールブラシは全周にわたって裏込め注入材により固結していた可能性が考えられる。

2. 材料単体及び混合物（裏込め注入材、止水材 B、テールグリス A）の一軸圧縮試験

一軸圧縮試験は、材料の最も基本的な力学特性を求める試験であるとともに、比較的簡便な試験で実施頻度が高く、その試験結果は多方面に利用されている。

2. 1 材料の配合について

裏込め注入材については、本文中第 2 章表 2.1 のとおり配合しており、すでに配合方法について前述したため、ここでは止水材 B (特殊繊維材 PP 有り) の配合方法について示す。

表 2.1 に止水材 B の配合表及び配合方法を示す。同配合を参考に必要量の止水材 B を配合した。配合後の止水材 B を図 2.1 に示す。

表 2.1 止水材 B の配合表及び配合方法

	A 液(1m ³) 65kg/水 100L		特殊繊維材	塑強調整剤
材料名 (真比重)	a 液 (2.6)	水 (1.0)	PP (1.30)	b 液 (1.37)
数量	520kg	800L	50kg	50L
計 1.137m ³	1m ³		38.5L	50L
(配合例)	1300g	2000mL	125g	125mL
2.721mL	2.5L		96mL	125mL

1. a 液 1300g を水 2000mL にて予めダマがなくなるまで混練する。(家庭用ハンドミキサーなどで約 2 分間十分に攪拌する。) → 1 時間静置する。(a 液を水との膨潤を十分に行う。)
2. PP125g を 1. の a 溶液にハンドミキサーで攪拌しながら少しずつ添加する。(均一になるよう混練する。)
3. 2. の溶液に b 液 50mL を同じく均一になるようハンドミキサーで攪拌しながら少しずつ添加して完成させる。
4. 3. で完成した試料は 1 日の経過で粘性が増大する。よってその性状確認は水分が蒸発しないよう密閉容器に 1 日保管後、確認する。



图 2.1 止水材 B

2. 2 一軸圧縮試験の供試体作製方法

一軸圧縮試験に供する供試体は、直径 50mm、高さ 100mm とし、表 2.2 に示す条件の下、作製した。

表 2.2 一軸圧縮試験供試体の作製条件

	空气中 5 日養生	海水中 5 日養生	海水中 28 日養生
裏込め注入材単体	○	○	○
裏込め注入材 (50%) + 止水材 B (50%)	○	○	○
裏込め注入材 (20%) + 止水材 B (80%)	○	○	—
裏込め注入材 (50%) + テールグリス A (50%)	—	○	—

裏込め注入材単体については、本文中第 2 章表 2.1 のとおり配合後、直径 50mm、高さ 100mm のプラスチック製モールドに流し込み、供試体を作製した (図 2.2 参照)。

裏込め注入材と止水材 B を混合させた場合 (図 2.3 参照) 及び裏込め注入材とテールグリス A の混合物の場合 (図 2.4 参照)、混合物をスプーンですくい、モールド内に混合物を詰め、供試体を作製した。実際の状況を想定して、混合物は比較的緩い状態となるよう作製した。密にした場合には、一軸圧縮強度が上昇することも想定されるためでもある。

供試体作製後、空气中又は海水中に所定の日数ほど、供試体を養生させた。空气中に養生する場合、試料が乾燥しないよう、ラップで密閉した。海水中に養生する場合、水道水に所定量の海水の素を加え、人工海水を作製し、同海水を満たした水槽内にモールドごと供試体を水浸した (図 2.5 参照)。

5 日養生を選択した理由として、2012 年 2 月 2 日の 85 リング掘進中又は組み立て中にテール部から裏込め注入材が漏れ出したとの記載が掘進日報にあることから、災害発生日である 2012 年 2 月 7 日までに 5 日の日数が経過しているためである。28 日養生を選択した理由は、一般的にコンクリート等の設計基準強度が 28 日強度として規準化されているためである。



図 2.2 裏込め注入材



(a) 裏込め注入材 50%と止水材 B50%の混合物



(b) 裏込め注入材 20%と止水材 B 80%の混合物
図 2.3 裏込め注入材と止水材 B の混合物



図 2.4 裏込め注入材 50%とテールグリス A50%の混合物



図 2.5 供試体を海水中に養生している様子



図 2.6 プラスチック製のモールドから供試体を脱型

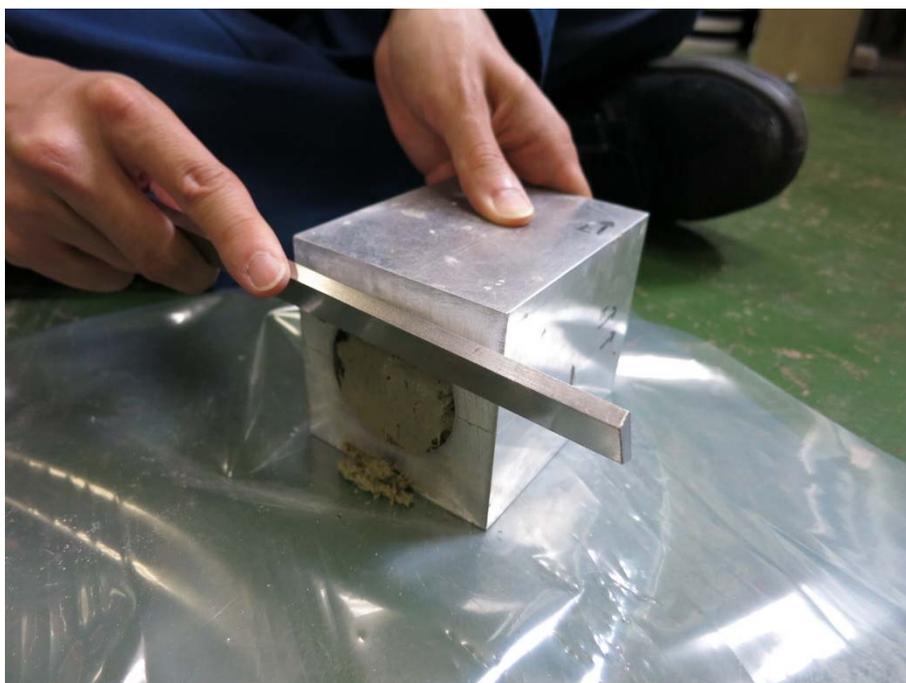


図 2.7 ストレートエッジを用いた供試体端面の成形

所定の日数養生した後、プラスチック製のモールドから供試体を取り出し（図 2.6 参照）、供試体端面をストレートエッジにより平坦にした（図 2.7 参照）。供試体の直径、高さ、質量を計測し、湿潤単位体積重量を計算した。

6. 3 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験は、JIS A 1216:2009「土の一軸圧縮試験方法」¹⁾に従い実施した。
図 2.8 に一軸圧縮試験の様子を示す。

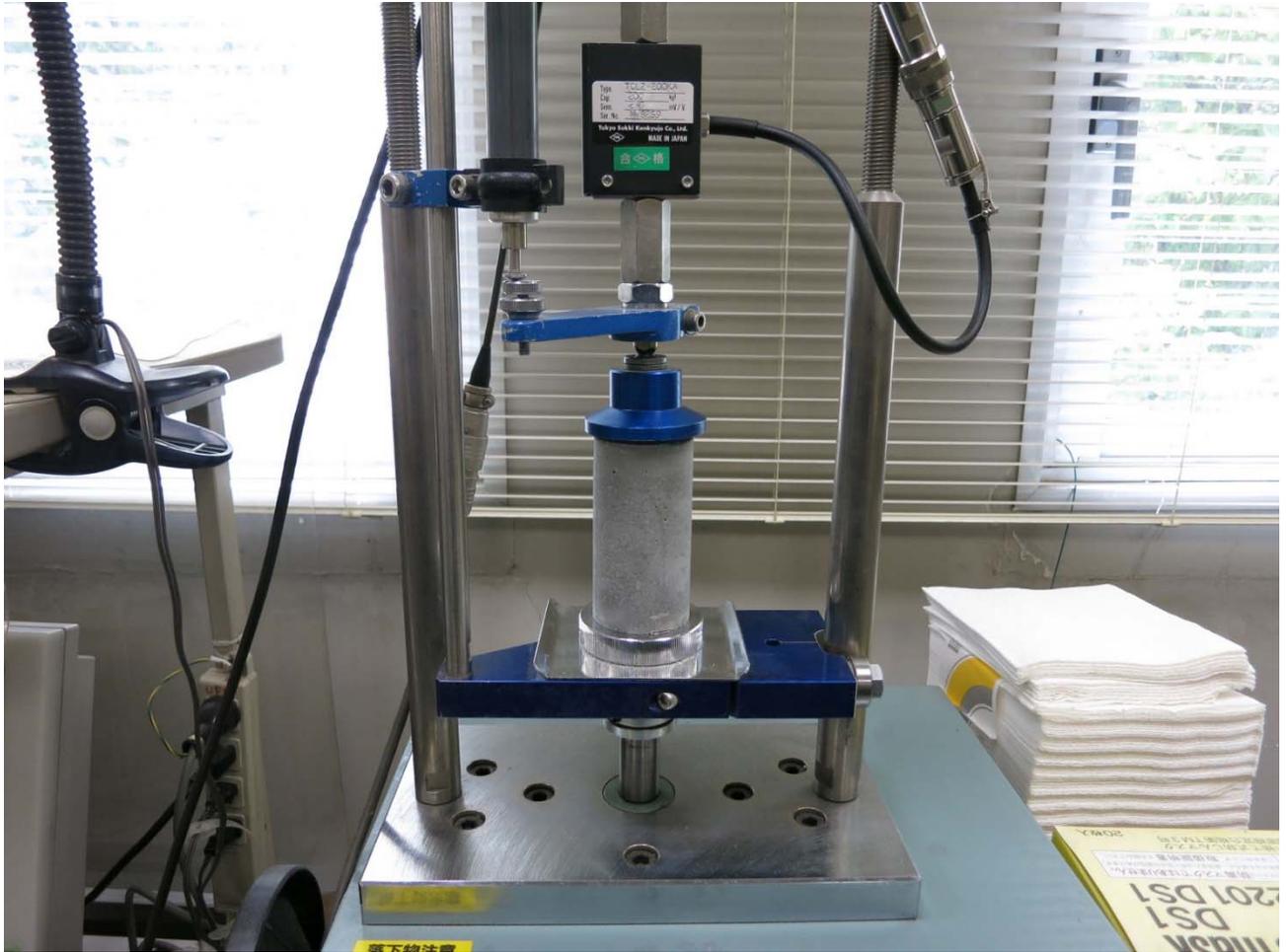
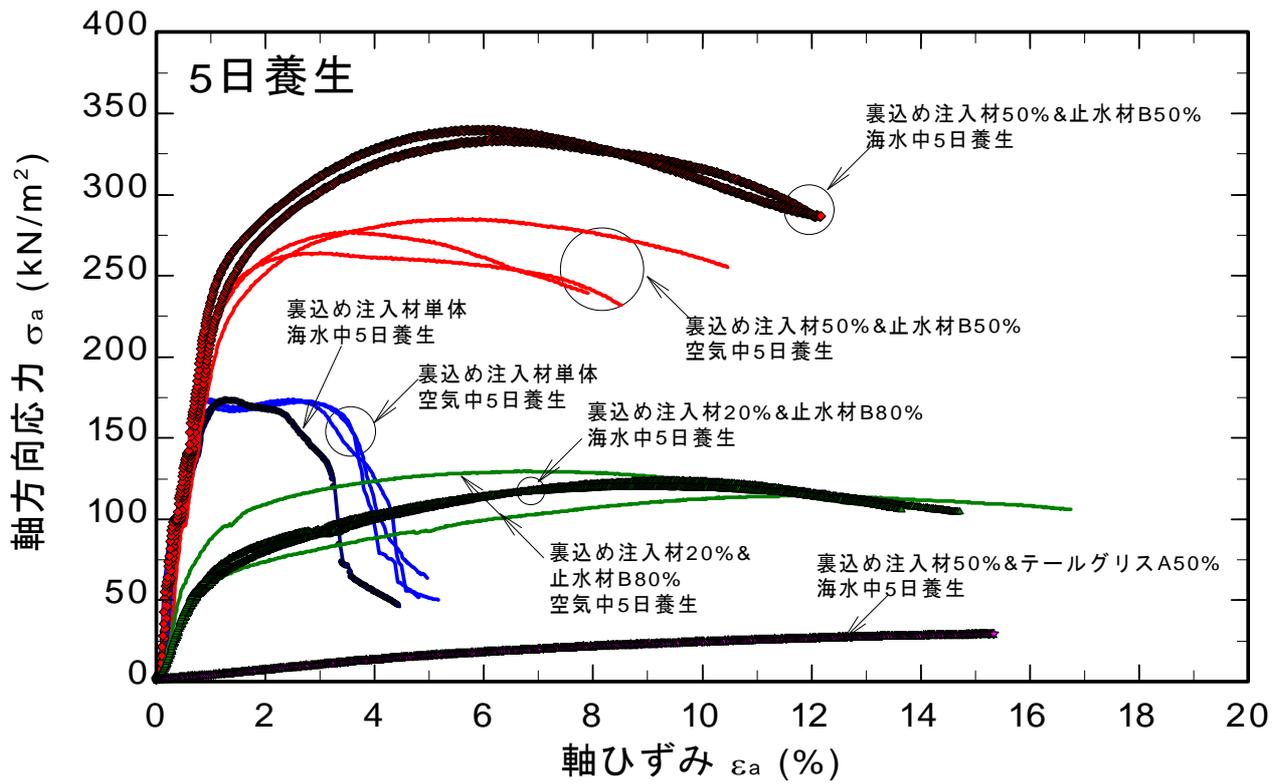


図 2.8 一軸圧縮試験の様子

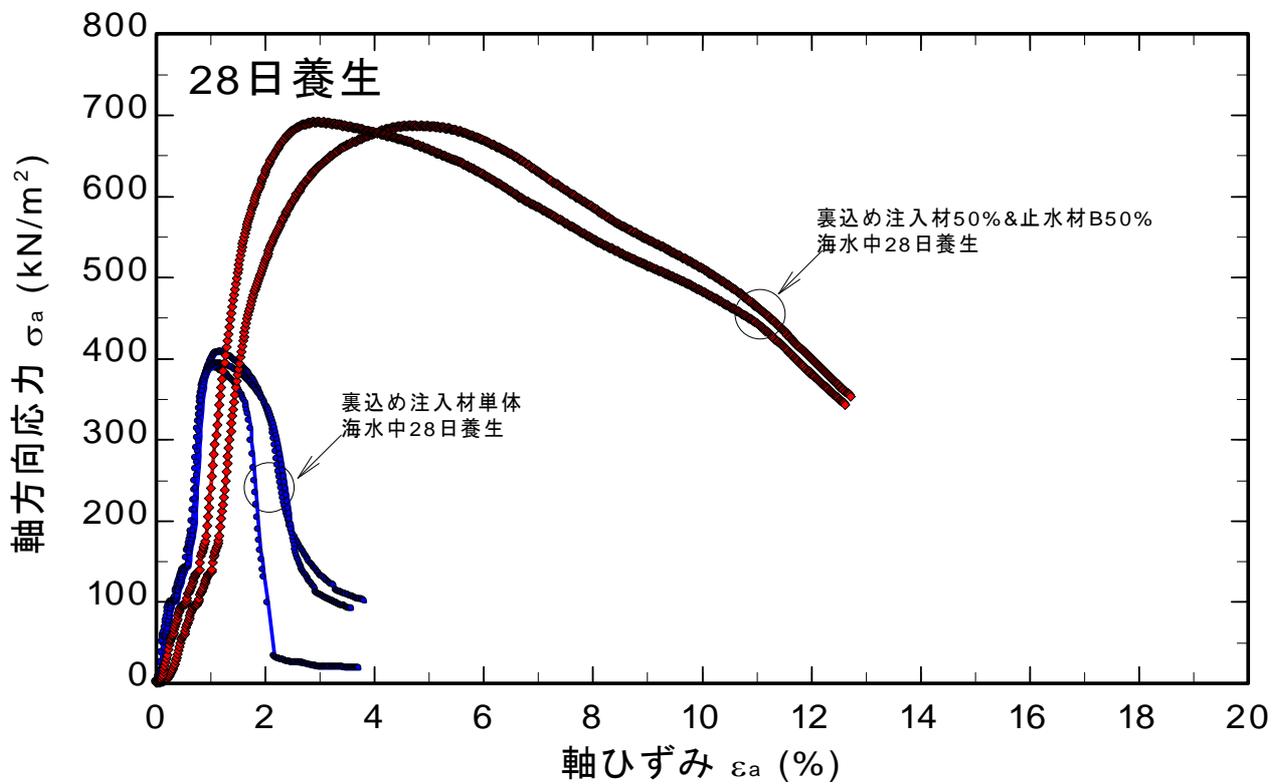
図 2.9 に各供試体の軸方向応力と軸ひずみの関係を示す。

軸方向の応力は、軸方向に加えた力を供試体の断面積で除した値である。

軸方向のひずみは、変位計により計測した軸方向の変位を初期の供試体の高さで除し、百分率で示した値である。



(a) 5日養生



(b) 28日養生

図 2.9 一軸圧縮試験時の応力ひずみ関係

表 2.3 一軸圧縮試験結果

		供試体No.1		供試体No.2		供試体No.3		平均	
		湿潤 単位体積 重量 kN/m ³	一軸圧縮強度 kN/m ²						
裏込め注入材単体	空气中 5日養生	11.6	172	11.7	174	11.7	174	11.7	173
	海水中 5日養生	11.7	172	/	/	/	/	11.7	172
	海水中 28日養生	11.2	408	11.1	389	11.3	393	11.2	396
裏込め注入材 (50%) + 止水材B (50%)	空气中 5日養生	11.6	277	11.7	285	11.6	264	11.6	275
	海水中 5日養生	12.0	333	12.1	340	/	/	12.0	337
	海水中 28日養生	12.0	688	11.9	692	/	/	11.9	690
裏込め注入材 (20%) + 止水材B (80%)	空气中 5日養生	12.0	130	11.7	115	/	/	11.9	122
	海水中 5日養生	12.2	124	12.2	120	/	/	12.2	122
裏込め注入材 (50%) + テールグリスA (50%)	海水中 5日養生	12.5	29	/	/	/	/	12.5	29

一軸圧縮試験結果を表 2.3 に示す。図 2.9 と合わせて考察する。

図 2.9(a)から、裏込め注入材単体の一軸圧縮強度について、空气中養生と海水中養生で差は見られない。裏込め注入材 20%と止水材 B80%の混合物の一軸圧縮強度についても同様に海水による影響は見受けられない。

一方、裏込め注入材 50%と止水材 B50%の混合物の一軸圧縮強度は、海水中養生の方が空气中養生よりも強度が大きい。海水を含み湿潤単位体積重量が大きいこと、海水によるサクションも影響していると推察されるが、少なくとも海水により強度が低下することはないことが確認できる。

裏込め材単体の場合よりも、止水材 B を 50%混合した場合、著しく強度が大きい。人工海水に 5 日間養生した場合、裏込め注入材単体の一軸圧縮強度 (172kN/m^2) に比べ、止水材 B を 50%混合した場合の一軸圧縮強度 (337kN/m^2) は、約 2 倍である。これは、セメント改良土のように、裏込め注入材がセメント、止水材 B が粘土の役割を果たし、セメント単体よりも強度が大きくなる関係と類似していると推察される。裏込め注入材の質量が少ない場合 (20%)、セメントの量が少ないことと類似しており、強度が発現されないものと推察される。

一方、裏込め注入材 50%とテールグリス A50%を混合した場合では、著しく強度が小さく、テールグリス A は主に油脂であるため、セメント改良土のような働きをしないと推察される。人工海水中に 5 日間養生した場合、裏込め注入材単体の一軸圧縮強度 (172kN/m^2) に比べ、テールグリス A を 50%混合した場合の一軸圧縮強度 (29kN/m^2) は、0.17 倍程度である。

図 2.9(b)から、28 日間養生させた後も裏込め材単体の場合よりも、止水材 B を 50%混合した場合、著しく強度が大きく、1.7 倍の一軸圧縮強度を有する。

参考文献

- 1) 地盤工学会 地盤調査法改訂編集委員会 編：地盤材料試験の方法と解説—二分冊の 2—, 土の一軸圧縮試験, pp. 541~551, 社団法人地盤工学会, 2009 年.