

Terrawell 微細構造観察

走査型電子顕微鏡観察および細孔径分布測定

試料	Terrafuoco-109square (Pro) 破断面
硬化方法	大気養生
観察日	2026年8月18日
観察倍率	×500 – ×110,000 (10条件)
細孔径分布	水銀圧入法
測定機関	岐阜県セラミックス研究所

試料および測定条件

1-1 試料

製品名	Terrafuoco-109square (Pro)
種別	非焼成鈹物系建材
硬化方法	大気養生（大気中の二酸化炭素による炭酸化）
観察・測定面	破断面

1-2 走査型電子顕微鏡観察

装置	日本電子株式会社 電界放出形走査型電子顕微鏡 JSM-7001GC
前処理	カーボン蒸着
加速電圧	15.0 kV
検出信号	二次電子像 (SEI)
作動距離	10.0 – 10.1 mm
観察倍率	×500 / ×1,000 / ×2,000 / ×3,000 / ×5,000 / ×10,000 / ×20,000 / ×30,000 / ×50,000 / ×110,000
観察日	2026年8月18日
観察機関	岐阜県セラミックス研究所

1-3 細孔径分布測定

測定法	水銀圧入法
装置	アントンパール社製 POREMASTER 60
前処理	40℃ 24時間乾燥
測定下限	約 3.5 nm（装置最高圧力に基づく）
測定機関	岐阜県セラミックス研究所

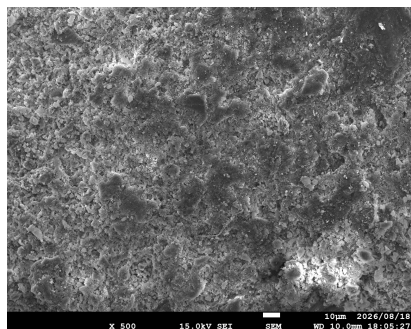
本資料の位置づけ

- ・本資料は試料の微細構造を記録したものであり、性能値を示すものではありません。
- ・各種性能については、別途の性能試験結果をご参照ください。
- ・掲載写真は取得した画像に加筆・修正を加えていない原画像です。

2.

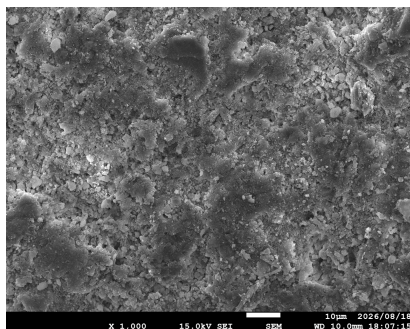
観察倍率一覧

同一試料の破断面を ×500 から ×110,000 まで連続的に観察した。各倍率の詳細は次ページ以降に示す。



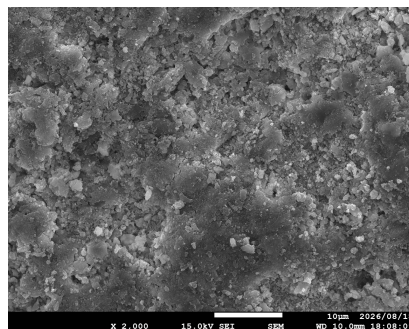
×500

bar 10 µm



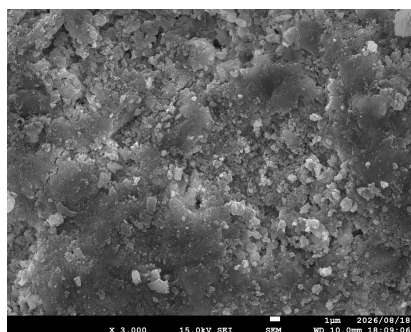
×1,000

bar 10 µm



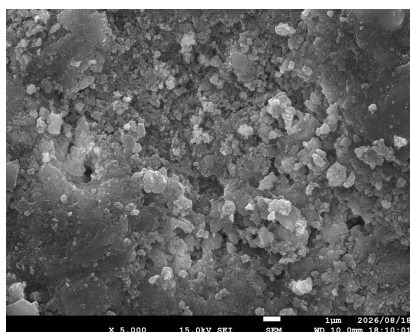
×2,000

bar 10 µm



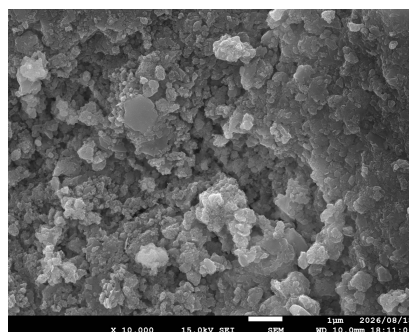
×3,000

bar 1 µm



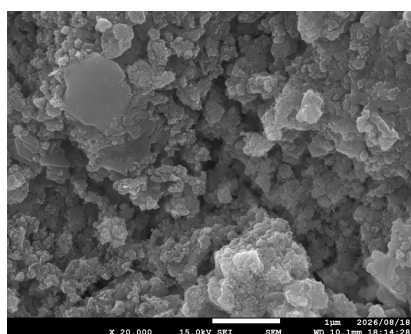
×5,000

bar 1 µm



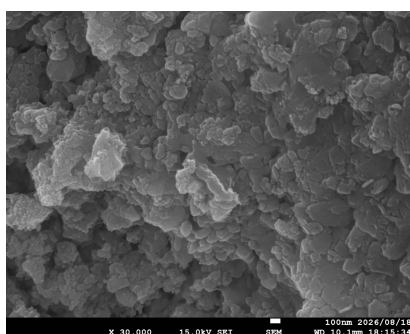
×10,000

bar 1 µm



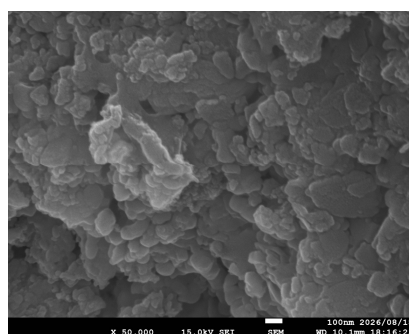
×20,000

bar 1 µm



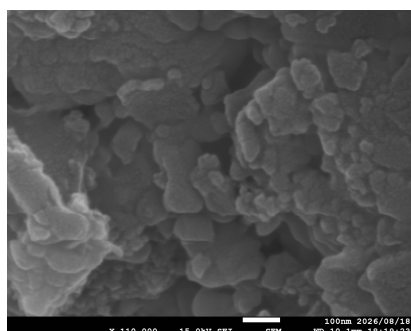
×30,000

bar 100 nm



×50,000

bar 100 nm



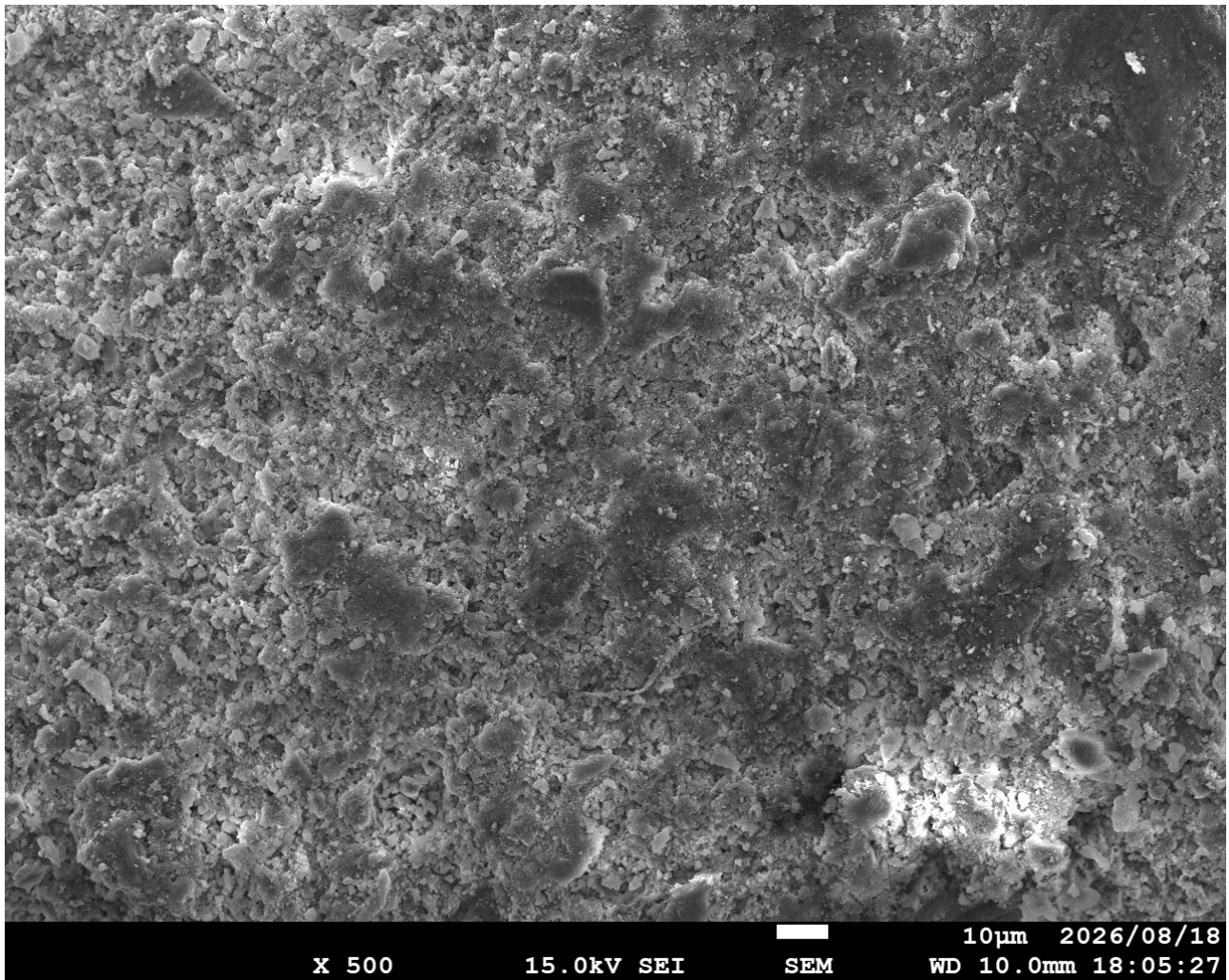
×110,000

bar 100 nm

走査型電子顕微鏡観察

図 1 倍率 ×500

スケールバー 10 μm



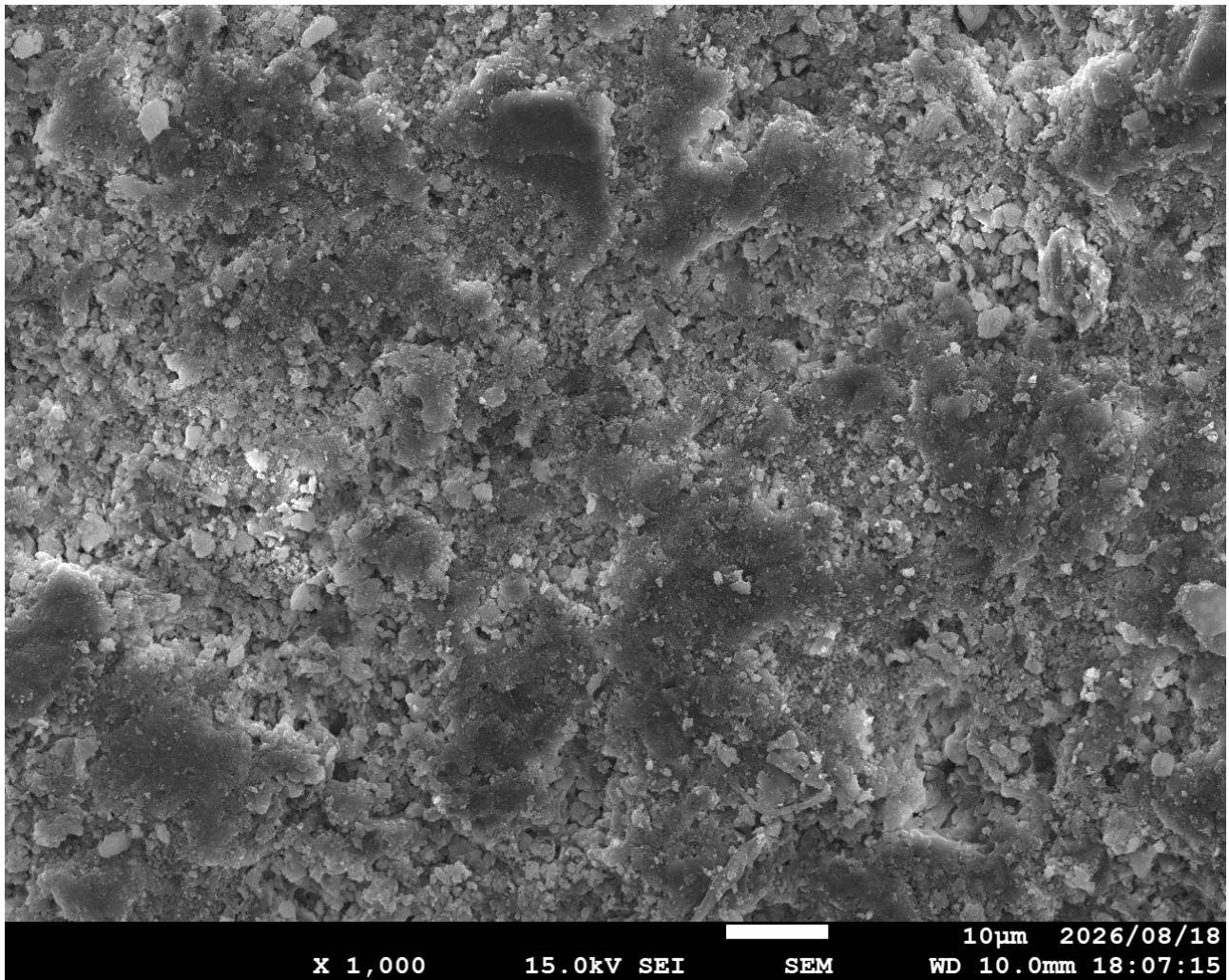
観察所見

破断面の全体像。層状の剥離や大きな空隙といった巨視的な欠陥は認められず、視野内の組織はおおむね均質である。

走査型電子顕微鏡観察（続き）

図2 倍率×1,000

スケールバー 10 μm



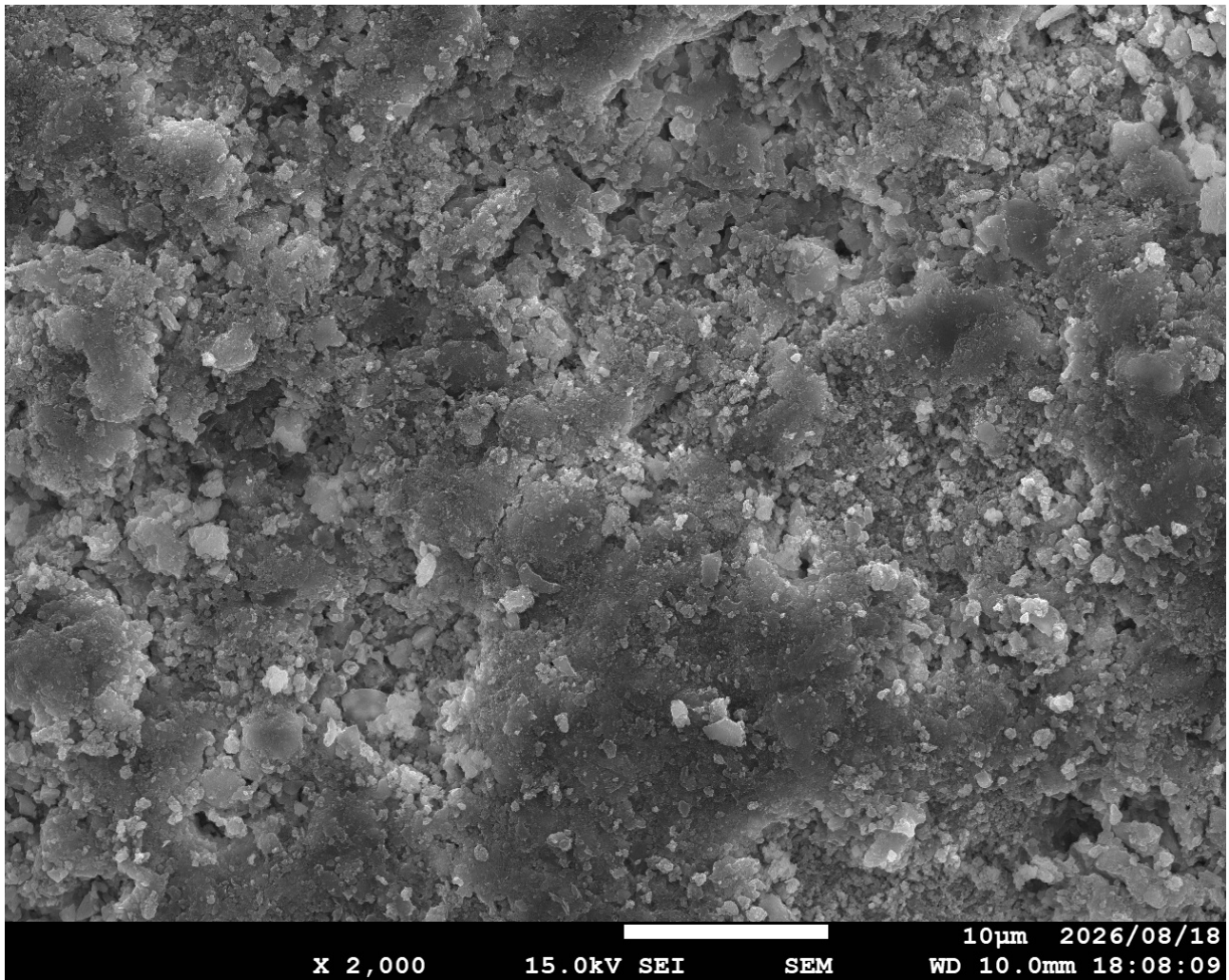
観察所見

数 μm 程度の粒子が緻密に充填された組織が観察される。粒子の配向に偏りはなく、特定の方向に沿った層構造も認められない。

走査型電子顕微鏡観察（続き）

図3 倍率×2,000

スケールバー 10 μm



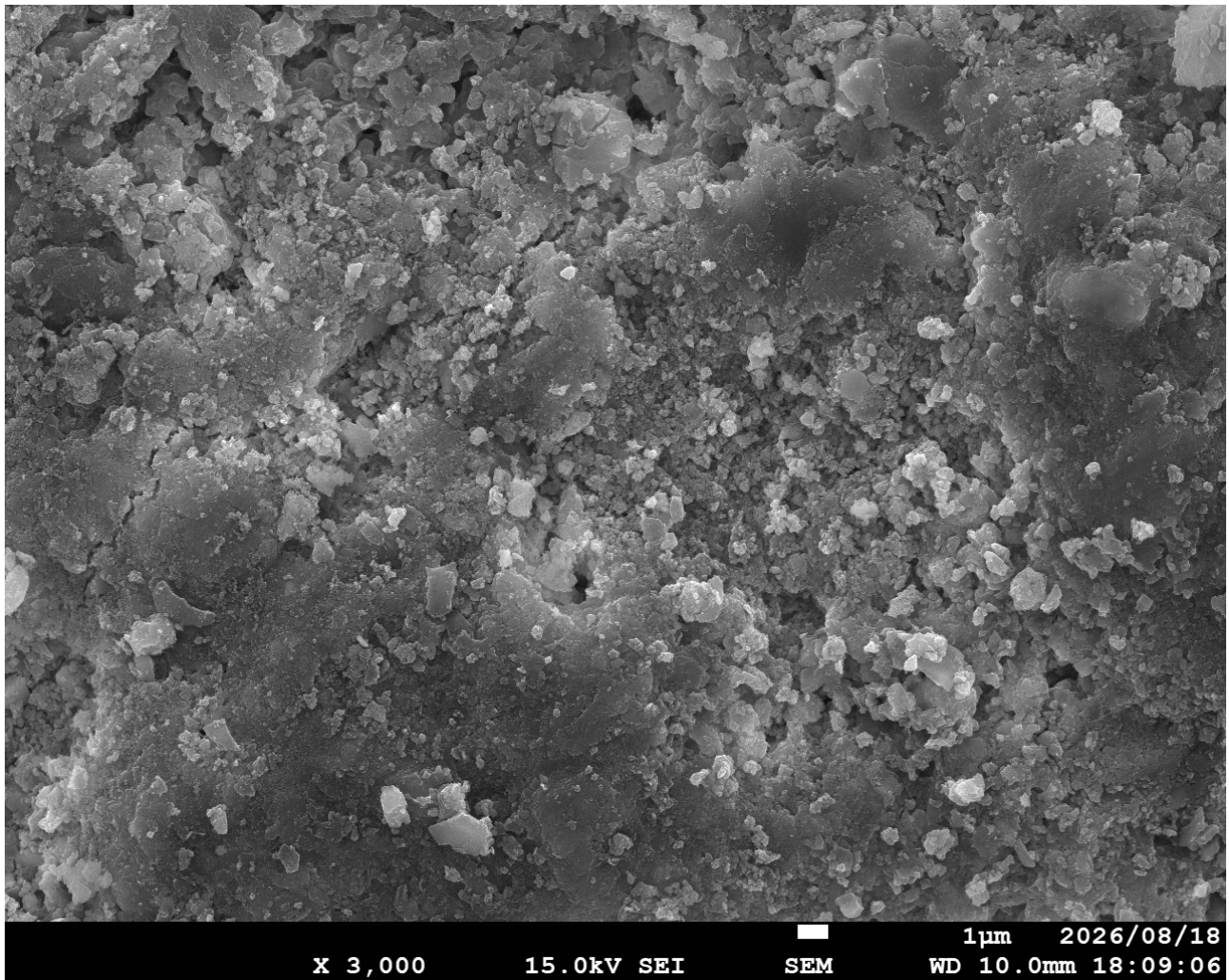
観察所見

粒子の間に空隙が確認できる。個々の細孔は1 μm 前後かそれ以下の大きさで、視野内に散在している。

走査型電子顕微鏡観察（続き）

図 4 倍率 ×3,000

スケールバー 1 μm



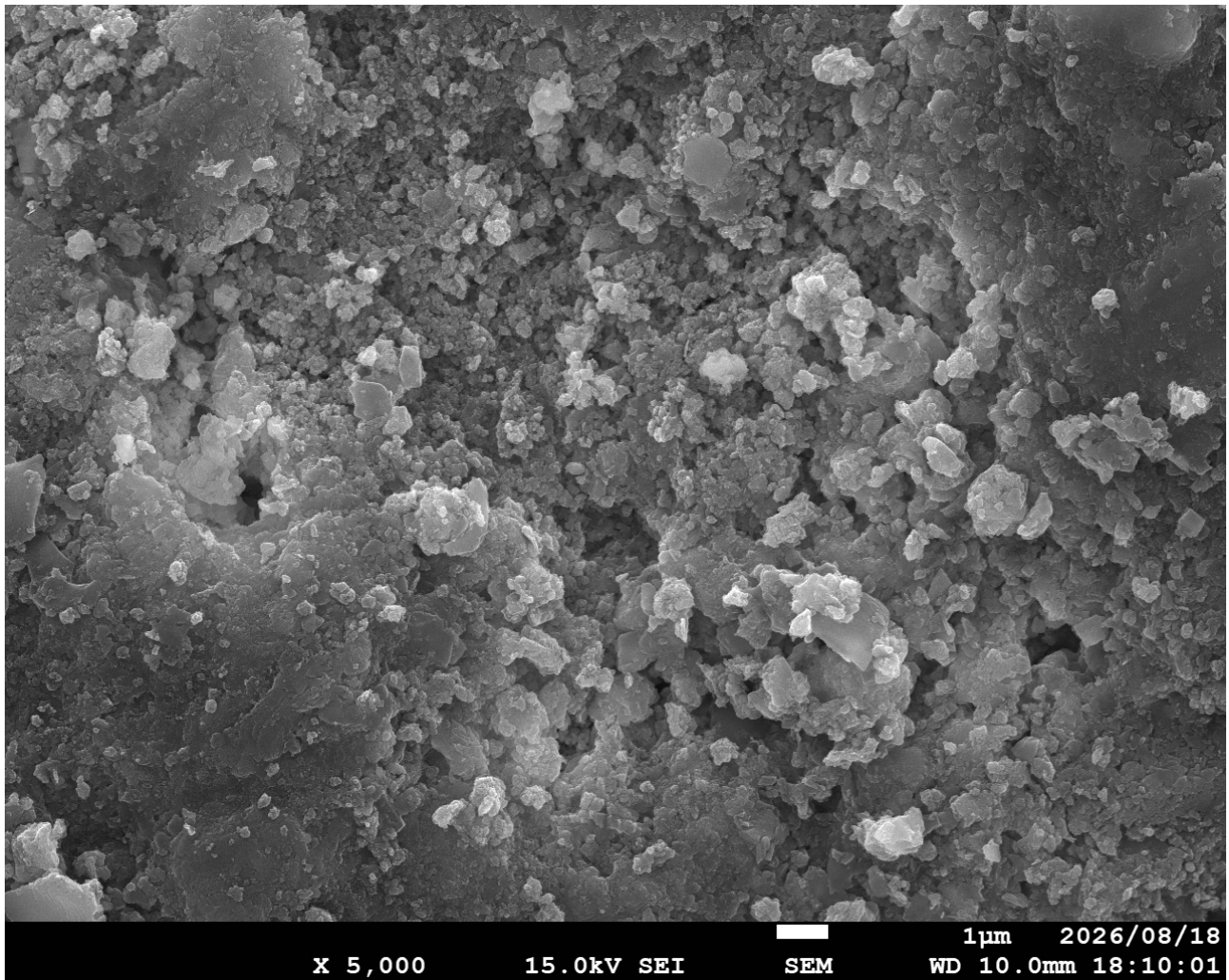
観察所見

数百 nm から 1 μm 程度の細孔が、視野内に分散して分布している。細孔は粒子が密に接している領域にも、粗く積み重なった領域にも見られる。

走査型電子顕微鏡観察（続き）

図5 倍率×5,000

スケールバー 1 μm



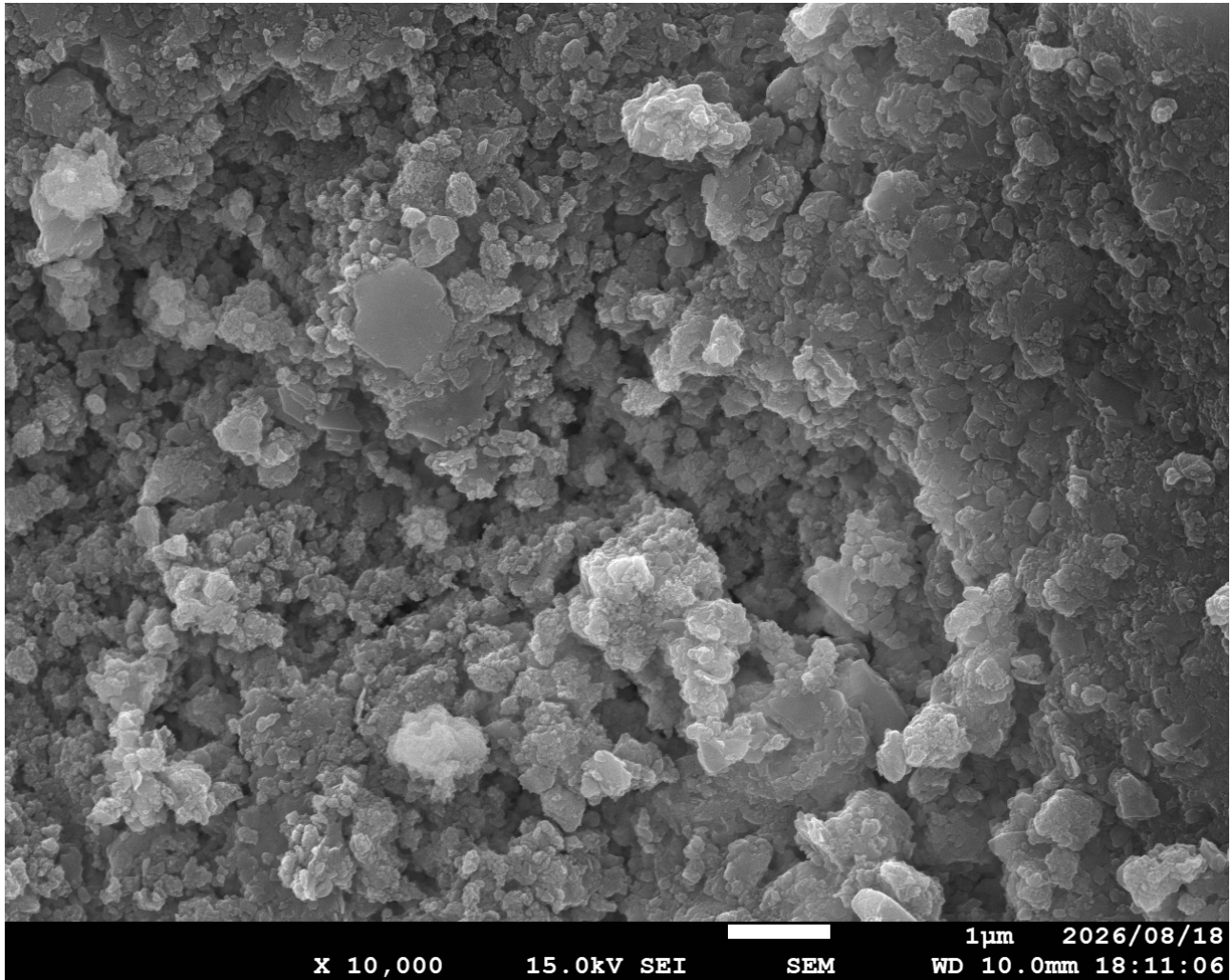
観察所見

微細な粒子が入り組んで積み重なった構造。粒子どうしの隙間がそのまま細孔となっており、粒子の充填の仕方が細孔の形状を決めていることが分かる。

走査型電子顕微鏡観察（続き）

図6 倍率×10,000

スケールバー 1 μm



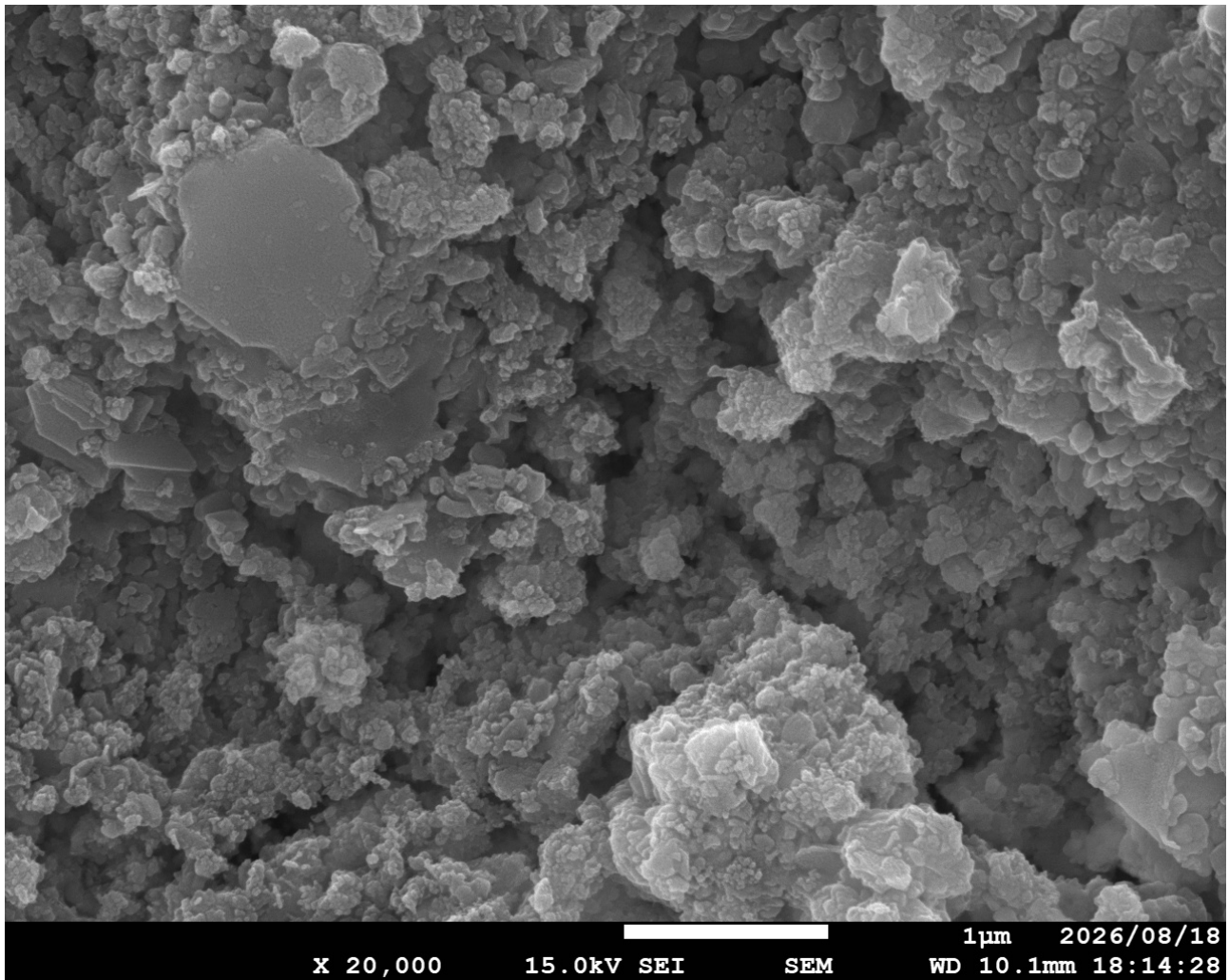
観察所見

粒子の集合体と、その間隙に生じた細孔。細孔は特定の箇所に集中せず、視野全体に散在している。個々の細孔の形状は不定形である。

走査型電子顕微鏡観察（続き）

図 7 倍率 ×20,000

スケールバー 1 μm



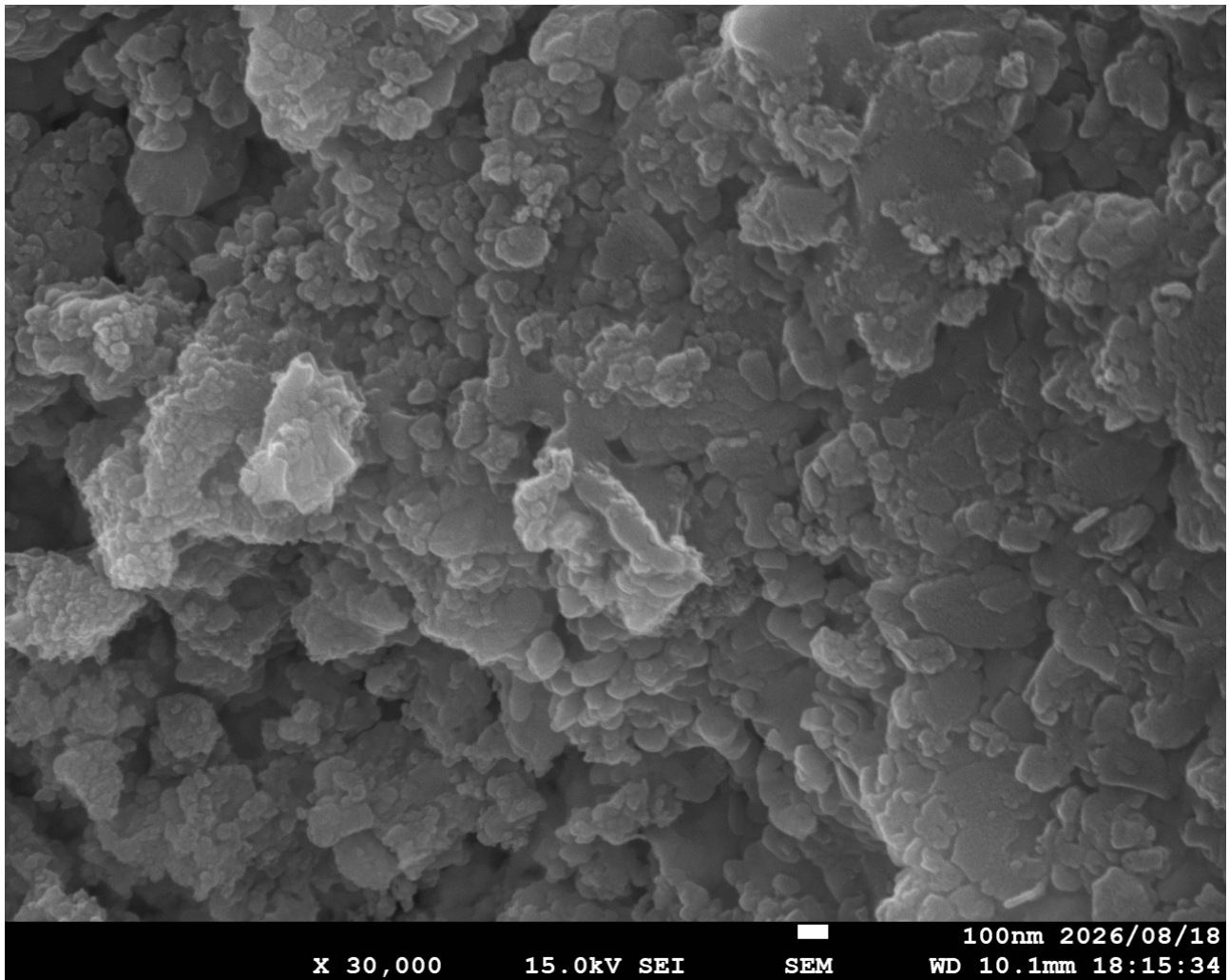
観察所見

100 nm 前後の細孔が多数観察される。粒子どうしは点および面で接触しており、接触部の周囲に細孔が残されている。

走査型電子顕微鏡観察（続き）

図 8 倍率 ×30,000

スケールバー 100 nm



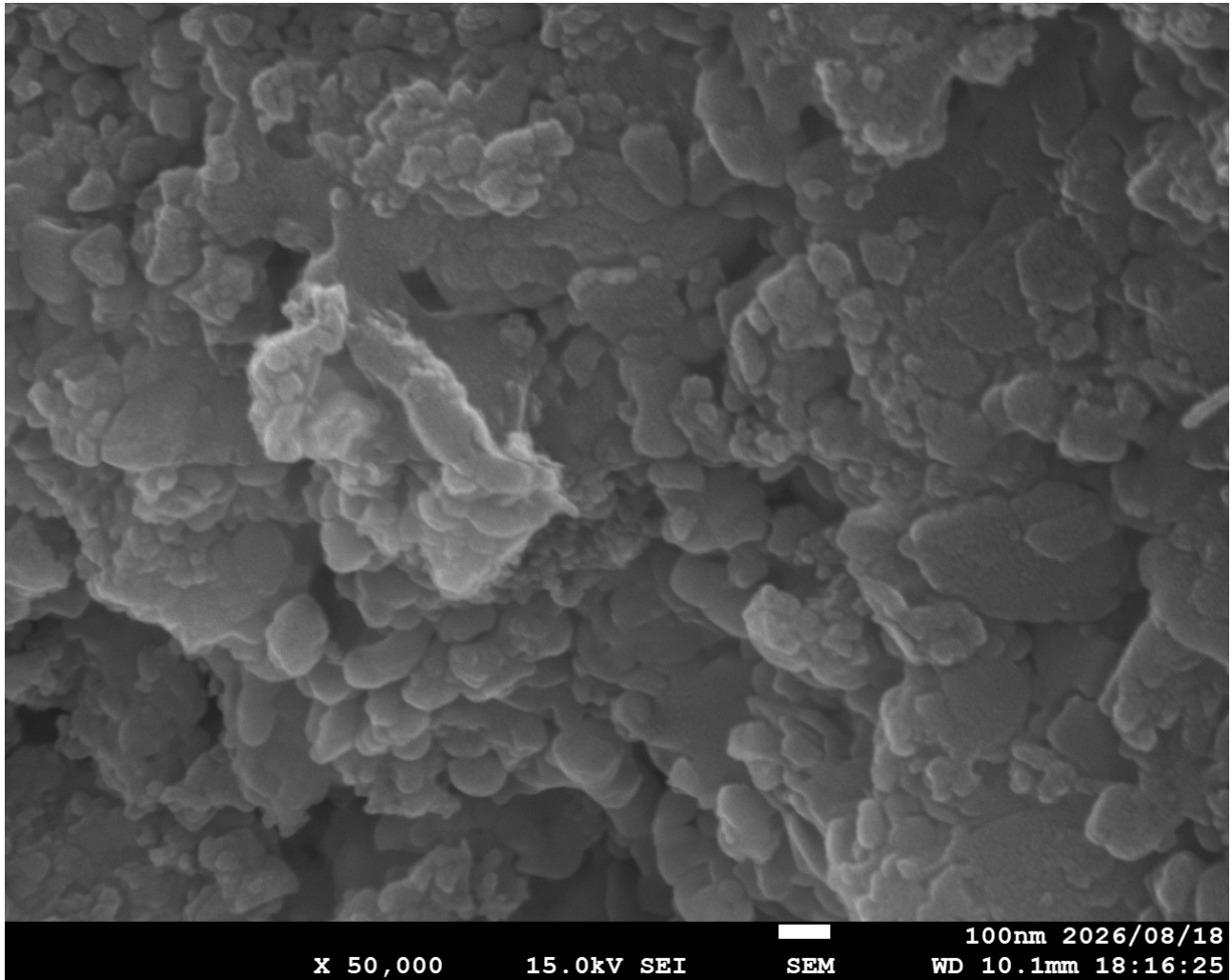
観察所見

粒子表面の凹凸と、粒子間に残る細孔。細孔が互いに連なっているように見える箇所があり、内部で連通している可能性がうかがえる。

走査型電子顕微鏡観察（続き）

図9 倍率×50,000

スケールバー 100 nm



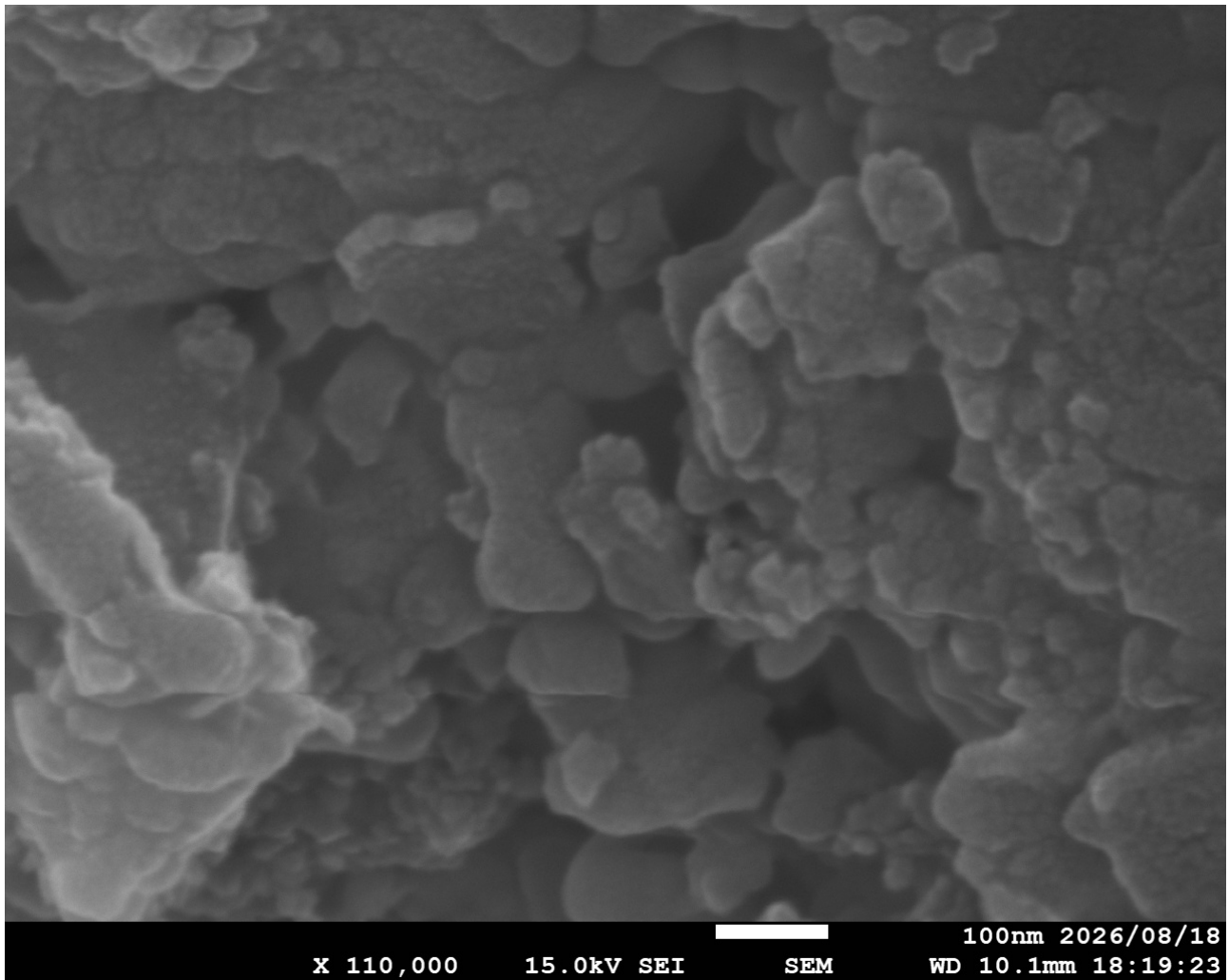
観察所見

数十 nm から 100 nm 程度の細孔が明瞭に確認できる。この大きさの細孔が、より大きな細孔の周囲にも分布している。

走査型電子顕微鏡観察（続き）

図 10 倍率 ×110,000

スケールバー 100 nm



観察所見

最高倍率。個々の粒子の輪郭と、その間に残された細孔が観察される。粒子の表面は滑らかではなく、細かな凹凸を伴う。

細孔径分布測定

水銀圧入法により測定した細孔径分布を図 11 に示す。黒丸は微分細孔容積（左軸）、白丸は積算細孔容積（右軸）である。

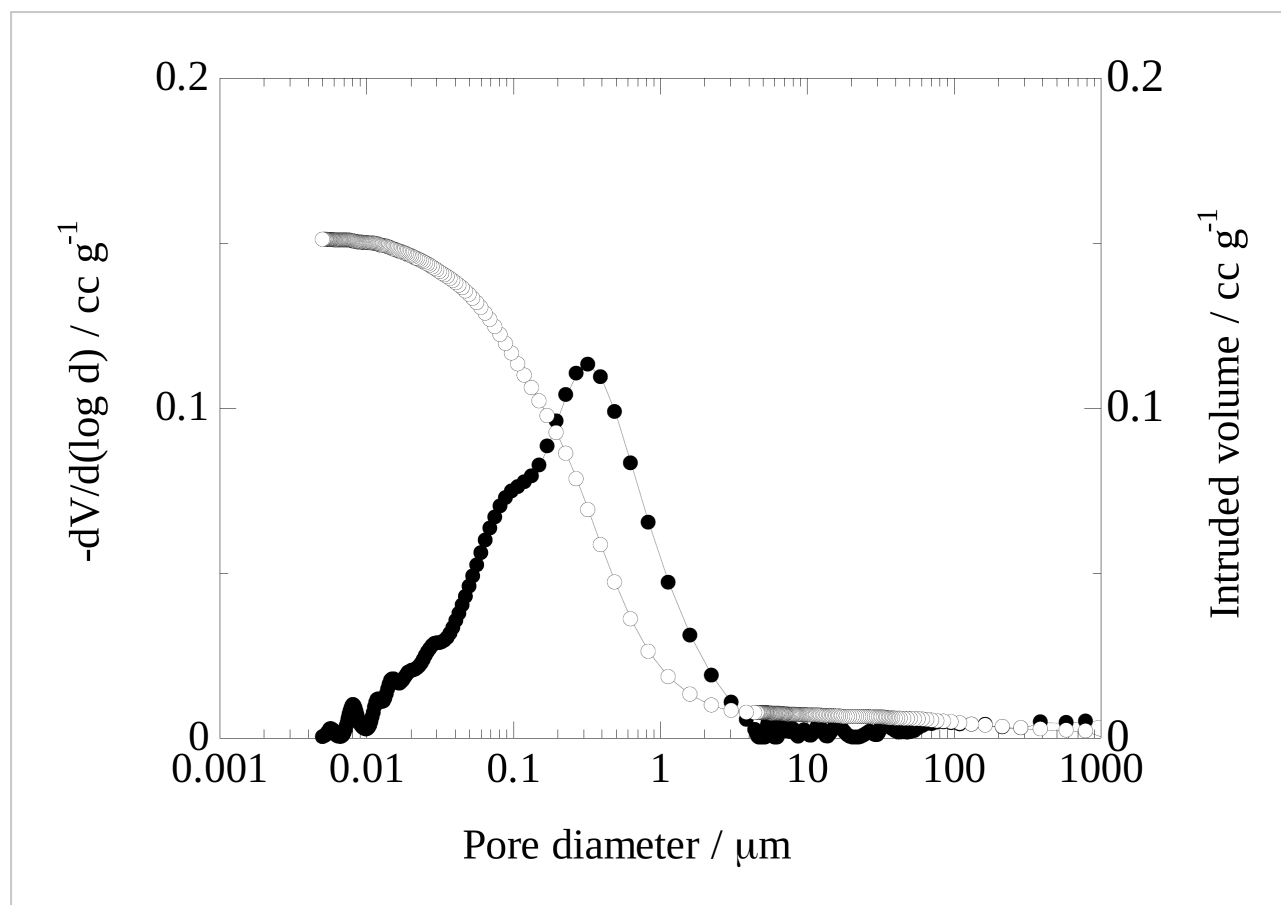


図 11 細孔径分布（水銀圧入法）

本図から読み取れる主な特徴

- 細孔径分布は 0.1 – 1 μm 付近にピークを持つ。この領域は IUPAC の分類ではマクロ孔（50 nm 超）に相当する。
- 0.1 μm 以下の領域にも分布が連続して伸びており、測定下限（約 3.5 nm）まで細孔が存在する。
- 10 μm を超える粗大な空隙の寄与は小さい。
- 積算細孔容積は約 0.15 cm³/g である（分布曲線からの読み取り値）。

観察結果の要約

走査型電子顕微鏡観察

TerraFuoco-109square (Pro) の破断面を $\times 500$ から $\times 110,000$ まで観察した。巨視的には均質な組織を示し、微視的には微細な粒子が緻密に積み重なった構造をとる。粒子どうしの間隙が細孔として残り、数十 nm から $1\text{ }\mu\text{m}$ 程度の細孔が試料内部に分散して存在することを確認した。

細孔径分布測定

水銀圧入法による細孔径分布は $0.1 - 1\text{ }\mu\text{m}$ 付近にピークを持ち、この領域は IUPAC の分類ではマクロ孔に相当する。これより小さい領域にも測定下限まで連続して分布が伸びており、 $10\text{ }\mu\text{m}$ を超える粗大な空隙の寄与は小さい。積算細孔容積は約 $0.15\text{ cm}^3/\text{g}$ である。

- ※ IUPAC の分類では、細孔は径 2 nm 未満をミクロ孔、 $2 - 50\text{ nm}$ をメソ孔、 50 nm 超をマクロ孔と区分する。本測定で主要域として観察されたのはマクロ孔の領域である。メソ孔以下の領域については、本測定とは別の手法による評価が必要である。

両手法の整合

電子顕微鏡で観察された細孔の大きさは、水銀圧入法で得られた細孔径分布のピーク域と対応している。いずれも破断面すなわち試料内部を対象としており、同一の内部構造を異なる手法で捉えたものである。

測定上の留意事項

- ※ 水銀圧入法の測定下限は装置最高圧力により約 3.5 nm である。これより小さい細孔は本測定の対象外である。
- ※ 前処理の乾燥条件 (40°C 24時間) は、硬化生成物への影響を避けるため保守的に設定している。このため微細な細孔の容積は過小に評価されている可能性がある。
- ※ 本資料に掲載した観察および測定は、いずれも岐阜県セラミックス研究所において実施されたものである。
- ※ 本資料は単一試料の測定結果であり、製品全体の代表値を示すものではない。
- ※ 積算細孔容積の数値は分布曲線から読み取った概値である。
- ※ 掲載した電子顕微鏡写真は、取得した画像に加筆・修正を加えていない原画像である。

お問い合わせ

株式会社加納 サステナブルマテリアル事業部