

2025年度カーボンニュートラル研究助成制度・
文理融合研究スタートアップ制度実施報告書

カーボンニュートラル推進センター 御中

以下のとおり研究実施報告書を提出します。

基 本 情 報	研究課題名：新規ナノ粒子スラリー高濃縮システムによる輸送時排出 CO ₂ 削減への挑戦
	研究代表者 氏名： 森 隆昌
	【在籍者】 研究科・専攻・学年： 【修了者等】 所属・職種：
	指導教員（所属・職・氏名）： （※在籍者のみ記入）
	共同研究者（所属・職・氏名）：法政大学生命学部・助教・北村研太 （※指導教員と同人の場合は記入不要）
	その他 研究分担者：
	研究期間： 2025 年度
年 間 の 研 究 実 施 概 要	<p>※研究計画の進捗状況を中心に今年度の研究実施状況を記載してください。</p> <p>本研究では、水中で極めて沈降が遅い微粒子（特にナノ粒子）を、凝集剤を使用することなく拘束で沈降濃縮する技術を開発している。より具体的には、微粒子を含むスラリー（懸濁液）に、粒子の沈降方向とは垂直に直流電場を印加することにより、粒子の沈降促進を実現する。直流電場による沈降促進メカニズムについてはすでに解明済みであり（小池ら、粉体工学会誌、61, 536–543, 2024.）、本研究ではナノ粒子スラリー特有の沈降促進阻害要因の克服に取り組んだ。</p> <p>まず市販されているナノ粒子スラリーは、ナノ粒子の分散を維持するために様々な分散剤が使用されており、その結果、溶液中のイオン濃度が比較的高いスラリーとなっていることが多い。我々が開発した凝集剤を使用しない沈降促進技術においては、直流電場を使用するため水の電気分解反応は避けられず、特に高イオン濃度のスラリーでは、水の電気分解による気泡の発生が著しい。気泡の発生は、先述の沈降促進メカニズムに照らして考えると、沈降促進のキーポイントである電極近傍の無粒子領域の形成（粒子が電気泳動することで粒子の帯電と同符号の電極近傍に粒子が存在しない領域が形成される）が阻害されるため、高速な沈降濃縮実現のためには好ましくない。そこでまず本研究では、図1のような装置の改良（試作）を行い、電気分解による気泡の発生の影響を抑えることを検討した。図1に示す装置の概要としては、通常の直流電場印加装置の電極近傍に、限外濾過膜もしくは透析膜を設置したというものである。高イオン濃度水溶液中での直流電場印加実験では、水の電気分解そのものを抑制することは困難であるため、電極とスラリー本体を仕切ることができるように膜を設置し、電極表面から水の電気分解反応によって発生した気泡がスラリー本体と混じり合わないようにすることで、粒子の電気泳動による無粒子領域の形成及び密度差解消のために生じる密度対流（沈降促進効果）を維持することがねらいである。</p>

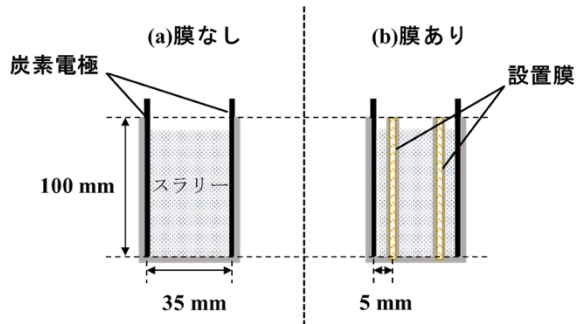


図1 電場印加セルの概要

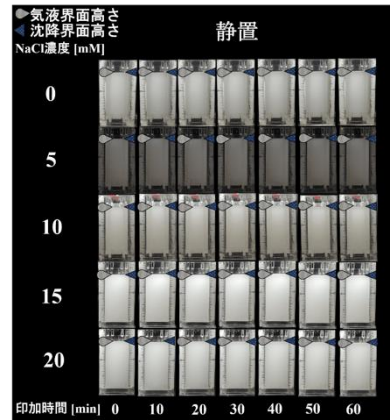


図2 使用したスラリーの沈降実験結果

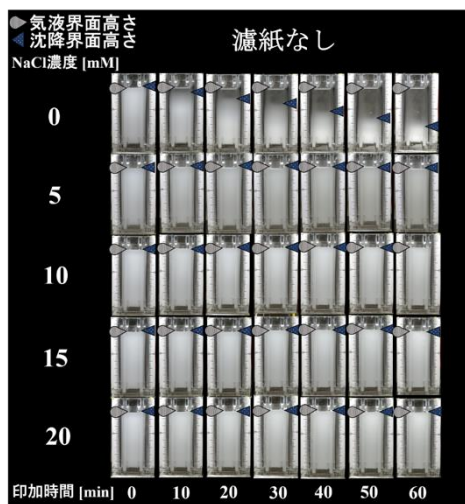


図3 電場印加による沈降促進実験結果 (左) 膜なし (右) 膜あり

まず図2に示したように今回使用したサンプル（シリカスラリー：粒子径 $0.5 \mu\text{m}$ 、粒子濃度 $0.1 \text{ vol}\%$ 、 NaCl 濃度 $0\text{--}20 \text{ mM}$ ）は、重力場では極めて沈降しにくく、最もイオン濃度が高く粒子が凝集しやすい条件（ 20mM ）においても、粒子が凝集し 60 min で自然沈降する様子は確認できなかった。図3には直流電場（ 15 V ）を濾紙を挟まず印加した場合と、濾紙を挟んで印加した場合のスラリーの沈降挙動の違いを示している。図から明らかなように、濾紙を挟まなかった場合は NaCl 無添加の場合のみしか沈降促進効果が得られていないのに対して、濾紙を挟んだ場合は、いずれの NaCl 濃度の場合も明確な沈降促進効果が確認できた。よって、これまで沈降濃縮が難しかった高イオン濃度スラリーにおいても、濾紙を利用することで、直流電場印加によって粒子の沈降促進が可能であることが分かった。

さらに、沈降濃縮後のスラリーをサンプリングして、動的光散乱測定法で粒子径分布を確認したところ、メジアン径はいずれも数百 nm 付近にあり、直流電場印加による粒子の凝集は確認されなかった。これは濃縮スラリーを利用する上で重要な実験結果であり、濃縮後もナノ粒子をナノ粒子として使用することが可能であることを示唆している。

一方で、直流電場の印加は自重の効果が小さいナノ粒子の場合、極板表面への顕著な粒子の堆積を引き起こす可能性がある。この効果は濾紙を挟んだ場合も同様に、濾紙への堆積によって、濃縮層の粒子濃度低下につながる可能性があるため、濃縮層の粒子濃度も測定した。この時、電場の方向を一定時間間隔で入れ替える実験も行った。その結果、粒子濃度は、電場の方向を入れ替えるまでの時間が長いほど増加することが分かった。これは、電場印加による粒子の極板（濾紙ありの場合は濾紙）への堆積によって粒子濃度が低下する効果よりも、電場の方向を切り替えることで形成された無粒子領域が乱れる効果の方が大きく影響したためと考えられる。

以上の実験結果から、ナノ粒子スラリーを高濃縮するために必要な装置条件・運転条件の指針が確立できた。今後は、より大きなスケールでナノ粒子スラリーを濃縮できることを示し、産学連携による実用化を目指す。

研 究 業 績	成果発表（学会・論文・研究会等）			
	学会・論文・研究会等の別	タイトル	発行または発表年月	
	粉体工学会 2025 年度 春期 研究発表会	粒子濃度が直流電場による沈 降促進効果に及ぼす影響	2025 年 5 月 22 日	
	14th World Filtration Congress	Study on the settling acceleration phenomenon due to density current and particle aggregation by applying horizontal DC electric field to fine particle slurry	2025 年 7 月 3 日	
	分離技術会年会 2025	直流電場による液中微粒子の 沈降促進技術の高イオン濃度 スラリーへの応用	2025 年 11 月 1 日	
	その他（アピールすることがあればご記入ください。） 粉体工学会 2025 年度 春期研究発表会においては、粉体工学会から BP（ベストプレゼンテーション）賞を授与されています（発表者：博士課程 2 年小池風輝）。			
支 出 報 告	費目	計画時金額	実績額	備考
	設備備品費	0	0	
	消耗品費	400,000	500,000	
	旅費	0	0	
	謝金等	100,000	0	期間中には間に合いませんでしたが、現在、論文投稿準備中です
	その他	0	0	
	合計	500,000	500,000	