

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007 ~ 2010

課題番号：19560759

研究課題名(和文) 高圧によるナノメータサイズ結晶核発生現象の解明とその新規生成法の開発

研究課題名(英文) New crystallization of nano-crystals by high pressure

研究代表者 福井 啓介(Fukui Keisuke)
(兵庫県立大学・工学研究科・教授)

研究者番号：50047635

研究成果の概要(和文)：

圧力晶析の特徴は、結晶核のみを生成させてその成長を抑制することにある。さらに、圧力により溶解度も効果的に変化する場合もある。圧力は、溶液内への過飽和の伝播が伝熱や拡散に比べて非常に速くなる(瞬時に起こる)ことから理論的には不均一な領域が生じないため、均一なナノメータサイズ結晶核が得られることが期待できる。本研究では、圧力操作による結晶核生成のユニバーサルな現象を明らかにして、その操作方法を開発すること目的とする。これまでの4年間の成果としては、4000気圧までのフリーピストンタイプの超高压装置を完成でき、カメラによる内部観察、レーザーによる高压下の標準粒子を使った粒径測定もできるようにした。そして、2種類のアンモニウム塩の水溶液中の核発生挙動を高压下で観察し、アンモニウム塩は圧力とともに溶解度が減少し、高压により結晶化することが分かった。さらに、エタノール水溶液で2種類のアンモニウム塩の核発生挙動では、冷却晶析と同様の準安定領域が存在し、溶解度の小さな溶液ほど準安定領域が大きくなることがわかった。また、核の成長に影響すると思われるエタノール水溶液の粘度を標準粒子を使って測定した結果、圧力を高くすると急激に高くなり、核の成長を抑制する効果が期待できた。また、新たに、電極を装着した高压セルの開発し、電解質溶液の高压の電気伝導度も測定できるようにした。

本研究成果より、高压による高速結晶核発生を利用した新しいバッテリー充電技術が期待できるようになったため、新たにこの研究を発展させる計画である。

研究成果の概要(英文)：

The advantages of high pressure crystallization are to distinguish the nucleation process from complicated crystallization processes, and to change the solubility of solute at atmosphere pressure. The pressure can expand into the system at speed of sound, and that is quite different from concentration and temperature which speeds are limited by diffusivity and thermal conductivity. We could have the new apparatus to investigate the solution at more than 4000 bar. The solution can be easily changed in the free-piston type vial. We first observed the nucleation of two ammonium salts at high pressure, and found that the solubility of two ammonium salts could be decreased as pressure increased. Those two salts could be crystallized by high pressure. Moreover, two ammonium salts in aqueous ethanol solution were nucleated at supersaturated solution by high pressure, and the metastable zones for two ammonium salts were found in high pressure crystallization. The width of metastable zone was large when the solubility of salt was small in the solution. The viscosity of ethanol solution that influences the growth of crystal nuclei was also measured at high pressure by DLS method. The viscosity of aqueous ethanol solution became very large as pressure increased, and that could limit the growth of crystal nuclei. In addition, electric conductivity of aqueous ethanol solution was also measured at high pressure. We could developed new high pressure cell having dipoles. The electric conductivities of two ammonium salts in aqueous ethanol solution decreased considerably at high pressure.

As a results of this project, we could have new method to charge electron in battery at high speed at high pressure by nucleation process for further project.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：化学工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・化工物性、移動操作、単位操作

キーワード：高圧力、晶析操作、核発生、ナノ結晶、溶液熱力学

1. 研究開始当初の背景

最近のIT、バイオ、エネルギーなどハイテク分野で高機能・高精度化が要求され、高機能性素材のサブミクロンサイズで均一性を持った超微粒子の役割は非常に大きい。圧力結晶核生成をブレイクスルーとして超微粒子製造プロセスが構築できれば、均一な粒子径の高精度化が達成されると同時に大幅な生産性の向上につながることを期待される。結晶化のようなビルドアップ法による超微粒子の製造は、ブレイクダウン法に比較して、粒子形状制御及び均一粒径粒子の製造が可能で、高機能性粒子の製造に適していると考えられている。液相からのビルドアップ法として、晶析法、沈殿法、加水分解法、およびゾルーゲルのような特殊反応場法があり、いくつかの適用例が報告されている。それらの方法の本質は結晶核のみを生成させてその成長を抑制することにある。しかしながら、これらの微粒子製造では、今後の高度なIT、バイオ、エネルギー産業を支える均一性の高い材料が供給できない。高圧下で圧力を周期的に変化させる操作により、均一な過飽和領域下で核発生と結晶成長の周期的操作が行える。その結果、単分散超微粒子製造が可能になり、ナノテクノロジーの高機能化に対応できる超微粒子を供給することができる。

本研究の独創性は圧力により物質の溶解度を変化させることにある。溶液から溶質を結晶化させる方法としては温度の冷却や溶媒の蒸発が一般的である。その方法では溶液内に伝熱と拡散の問題で温度や濃度の不均一な領域が必然的に生じ、それにより生成する結晶の核生成や成長度合いも不均一になる。そこで、本研究グループでは均一な結晶核のみの生成を可能とするために希薄溶解度の溶液から結晶核を生成させる新しい方法も検討中である。これらの研究では有機化合物を水溶液から生成させる方法において理論的、実験的にも生成することを示したが、

微量の生成量となるため回収法も検討しなくてはならないこととなった。現在は無機化合物をアルコールなど水溶性有機溶媒から生成させる方法とその回収法も含めた総合的検討を行っている。圧力による新しい結晶化方法では圧力の溶液内への伝播が伝熱や拡散に比べて非常に速い(瞬時)ので理論的には不均一な領域が生じない。よって、溶解度の高い溶液においても圧力操作によって結晶核のみの生成が可能となる。圧力操作による結晶化法は、大きな溶解度変化が期待できる一部の有機混合物の分離法として利用されているが、そのプロセスはナノメータサイズの結晶核を生成しようとするものではなく、省エネルギープロセスとして利用されている。

実際に予想される操作圧力は溶解度変化にもよるが、およそ100MPa-300MPa程度と考えられる。先ほども少し言及したが、圧力操作は温度操作と比較して熱的に優位な省エネルギープロセスと言える。気体の場合は高圧になると大掛かりな安全性を考慮した装置と必要とするが、液体や固体に圧力を加える場合はそのような心配は少ない。よって、技術的に特別な装置を必要とせず、結晶核サイズの超微粒子を生成することができると期待される。本研究のロジックは、圧力により結晶核のみが生成すればナノメータサイズの無機化合物結晶粒子が生成できるということにある。つまり、過飽和が核生成によりなくなる場合である。この論理を完結させるためには結晶核の大きさがナノメータサイズであることが前提となる。実は、この結晶核の大きさについての論理は未だに古典熱力学的考察の域を出ていない。つまり、Gibbs-Thomsonの臨界核半径の関係式である。その場合、核の構造的因子が反映されない等方性の液滴には適用できるであろうが、結晶のような方向性のある物体には適用できない。少なくとも若干の修正は必要である

う。新しい考え方ではあるが、圧力で結晶核を生成すれば溶液中の溶質濃度と関係して結晶核の大きさもコントロールできるかもしれない。そうなれば、本研究の成果として圧力操作により結晶核発生だけのプロセスが実現できるのみならず、結晶核の大きさも制御できることになる。そして、多くの無機化合物に対しても適用できるようになる。

2. 研究の目的

本研究では、社会的ニーズのあるチタニアや酸化鉄などをはじめ、金属酸化物、塩類を中心に無機化合物の水溶液中の溶解度を圧力依存性のデータとして体系化する必要がある。これまでの溶解度というものは大気圧下で測定されており、圧力依存性を含んだものは殆んど測定されていない。このような新しい物性を体系化するだけでも世界的に貴重な研究であるが、ナノメータサイズの結晶核の生成法まで開発することを目的としているため、4-5種類の限られた無機化合物の圧力下の溶解度を測定する。ここで選択する物質は、加圧により溶解度は下がるもの（正則）、溶解度が上がるもの（逆則）である。溶解度を測定するための圧力セルを作成し、圧力-溶解度測定装置を早期に完成させる。そして、個々の物質ごとに溶解度のデータを測定し、熱力学関係式で整理する。溶解度に基づいた圧力操作を行い、溶質濃度と結晶核発生速度および結晶核の大きさを測定する。ここで、加圧ポンプと高圧下で結晶核の発生とその大きさ、温度、圧力を測定するためのシステムが必要となる。このシステムは、間接的な測定装置となり、しかも微量の溶液中での観察となるため、レーザーによる測定法しかない。結晶核のような小さな粒子は、動的光散乱法(DLS装置)が考えられる。市販のDLS装置は、装置に組み込むことができず、レーザーの強度の変更できない。そこで、その場観察のできるDLS装置を開発して、結晶核発生と結晶核の大きさを測定する。本研究の微粒子生成法では装置の大きさなどスケールアップの考え方が必要としないため、最終的に加圧操作と溶解度の関係だけを体系化すれば目的は達成できる。

圧力操作による結晶化法は1980年代に日本で基礎研究が始められた。対象物質は有機混合物であり、圧力による融点上昇が大きい物質で操作圧力が30MPa程度でも融点が10K程度上昇した。有機混合物の固液平衡は単純共晶系が多く、加圧することによって固液平衡関係を変化させて、共晶組成をブレイクする方法として注目されていた。その後、いろいろなタイプの固液平衡の有機混合物に対して圧力効果が検討された。国外では圧力操作による結晶化の研究はほとんどないと言って良い。本研究は結晶核生成法として

圧力操作を考えたもので、そのような操作の開発はこれからの課題である。

3. 研究の方法

本研究は、非常に均一性の高い圧力操作により無機結晶の結晶核生成のみのプロセスを完成させることを目標としている。研究の具体的な内容は3つのセクションに分けられる。

- 1) 圧力下の無機化合物の溶解した水溶液の溶解度測定(温度、圧力、濃度の関係)
- 2) 圧力の加減による結晶核生成操作の確立(圧力範囲と減圧・加圧スピード)
- 3) 結晶核観察室システムの構築(On-line動的光散乱(DLS)システム)

まず、圧力セルと観察システムを完成させることに従事する。よって、上記のセクションでは3)を達成することになる。

動的光散乱(DLS)システムは既に購入済みであるので、

- 1) 加圧ポンプと高圧セル、ドレイン、圧力計の継ぎ手とバルブ(消耗品)のライン構築
 - 2) On-line DLSシステムの組み込み
- が早急の作業となる。

高圧セル内の情報は、温度、圧力、そして光散乱光子である。それらの測定システム(コンピュータを含む)を構築後、前述の3つのセクションの1)、2)という順番で実験を進める。

1)の溶解度実験では、簡単なKCl, NaClで高圧下の溶解度を測定し、その後金属酸化物などへ拡張して、系統的に測定する。高圧下の溶解度も熱力学関係式で整理し、これまで構築してきた電解質溶液モデルで体系化する。

このモデルでは圧力についての影響を考慮できないが、イオン強度や誘電率、また局所組成の相互作用における圧力の影響は理論的に導入できる目処がついている。高圧下の溶解度の体系化は上記の理論で整理することである。

2)の結晶核生成操作では、溶解度実験で終了した物質を取り上げて、動力学的な結晶核生成を試みる。もちろん、最重要課題はナノメータサイズの結晶核のみの生成操作も見つけ出すことである。まず、結晶核の生成がナノメータサイズでDLSで観察され、実際に取り出してSEM観察でも確認する。DLSでは直接結晶核の大きさを測定できるものではない。導入したレーザー光がセル内の結晶核によって散乱し、散乱光を光電子倍增管で増幅した電子信号にしてシステム(コンピュータ)で処理しなければならない。この処理の方法によっては、結晶核の大きさはもちろん生成プロセスまで解析できる可能性がある。

まず、結晶核の大きさを SEM と DLS 信号の間で相関をとって、On-line で結晶核の大きさを測定できるようにする。これでセクション 3) が達成されたことになる。なお、溶解度実験では、DLS の簡単な信号の変化で測定できるので結晶核の大きさは問題でない。

次に、高圧セルを含めた結晶核生成装置と観察システムが完成しているので、セクション 1) の溶解度、セクション 2) の結晶核生成操作の研究を推進していく。溶解度については、実験データをもとに高圧下のみならず一般的な溶解度を含めたユニバーサルな熱力学モデルを考える。

2) の結晶核生成操作では、研究目的でも少し言及したが、結晶核生成のメカニズムを解明する。圧力操作によって結晶核生成のみのプロセスが可能となるが、その結晶核の大きさがナノメータサイズであるということではない。もっと小さなものかもしれない。また結晶核の大きさが物質固有のものであるということでもない。では、何が結晶核の大きさを決定づけるかであるが、古典力学の Gibbs-Thomson 式から言えば過飽和度である。液滴の場合はそのまま適用できるが結晶の場合は結晶構造因子の導入が効果的であろう。圧力操作では極端に大きな過飽和が生成させるため、極端に小さな結晶核が生成するものと考えられる。次に示す関係式は修正 Gibbs-Thomson 式である。この関係式の特徴は、たとえ飽和溶液でも結晶核の大きさは無限大にならないところにある。つまり、最大結晶核サイズは、物質固有の値を持っていることになる。

この関係式で整理できれば、最大結晶核サイズは物質のナノメータサイズ結晶核の目安となり得る。しかし、圧力による影響を上記の関係式で表現する必要が出てくるかもしれない。そのような、状況も考えた新しい関係式を導いて無機結晶核の生成プロセスを体系化していく。

3) 核形成と結晶核への生育過程の解明
圧力操作により生成する初期の核と実際製造できるナノメータサイズの結晶核は異なるものと考えられる。熱力学的に推定される核の大きさと結晶構造を有する結晶核との違いは、分子シミュレーションにより検討したが、その実験的検証が不可欠である。レーザー光を用いた測定法の開発より、直接測定が可能になることにより、核と結晶核との相違点、その生育過程を解明する。また、ナノメータサイズの結晶核は凝集が起りやすく、その凝集プロセスの解明と微量物質の添加による防止方法を構築する。

4) 圧力操作による工業的生産技術の構築
社会的ニーズのあるチタニアや酸化鉄などをはじめ、金属酸化物、塩類を中心に無機化合物の水溶液中の溶解度を圧力依存性のデ

ータとして体系化し、その工業的生産技術を開発する。

5) ナノメータ粒子径の新規測定法の開発
従来のサブミクロン粒子径の測定は、主に動的散乱法として散乱光子数(散乱強度)の自己相関係数に基づきアルゴリズムが検討されてきたが、単分散系の測定には効果的であるが測定時間が長く、多分散系の測定や瞬時の核生育過程を捉えるには多くの問題がある。近年、微粒子のブラウン運動の速度をレーザードップラによる測定技術が開発されているが、基本的には散乱光子数の自己相関法と格段に測定精度が向上したものではない。ここで提案する測定法は、微粒子のブラウン運動それ自体の速度 2 成分を直接、瞬時に測定するもので、多分散系の測定精度が格段に向上させることができる。そのためには高出力のレーザーと高感度の光電子倍增管システムの追加が必要である。2 年次以降は、この測定法開発を行うことにより、圧力操作による核形成と結晶核への育成プロセスを解明し、ナノメータサイズ結晶の製造方法を構築する。

4. 研究成果

圧力晶析の特徴は、結晶核のみを生成させてその成長を抑制することにある。さらに、圧力により溶解度も効果的に変化する場合もある。圧力は、溶液内への過飽和の伝播が伝熱や拡散に比べて非常に速くなる(瞬時に起こる)ことから理論的には不均一な領域が生じないため、均一なナノメータサイズ結晶核が得られることが期待できる。本研究では、圧力操作による結晶核生成のユニバーサルな現象を明らかにして、その操作方法を開発すること目的とする。これまでの成果としては、4000 気圧までのフリーピストンタイプの超高圧装置を完成でき、カメラによる内部観察、レーザーによる高圧下の標準粒子を使った粒径測定もできるようにした。そして、2 種類のアンモニウム塩の水溶液中の核発生挙動を高圧下で観察し、アンモニウム塩は圧力とともに溶解度が減少し、高圧により結晶化することが分かった。さらに、エタノール水溶液で 2 種類のアンモニウム塩の核発生挙動では、冷却晶析と同様の準安定領域が存在し、溶解度の小さな溶液ほど準安定領域が大きくなることがわかった。また、核の成長に影響すると思われるエタノール水溶液の粘度を標準粒子を使って測定した結果、圧力を高くすると急激に高くなり、核の成長を抑制する効果が期待できた。また、新たに、電極を装着した高圧セルの開発し、電解質溶液の高圧の電気伝導度も測定できるようにした。

本研究成果より、高圧による高速結晶核発生を利用した新しいバッテリー充電技術が

期待できるようになったため、新たにこの研究を発展させる計画である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

(1) Determination of liquid viscosity at high pressure by DLS; K. Fukui, Y. Asakuma, K. Maeda, J. Phys. Conf. Ser., 215, 012073 (2010)

(2) Semi batch reactive crystallization of ammonium phosphates: an experimental study; J. Utomo, Y. Asakuma, K. Maeda, K. Fukui, N. Balliu, M.O. Tade, Chem. Eng. J., 156, 594-600 (2010)

(3) Experimental kinetics studies of seeded batch crystallisation of mono-ammonium phosphate; J. Utomo, N. Balliu, Y. Asakuma, K. Maeda, K. Fukui, M.O. Tade, Advanced Powder Technology, 21, 392-400 (2010)

(4) MSMR 晶析槽内での微小硬度評価による磨耗、断片化粒子サイズの予測; 朝熊裕介, 寺島知伸, 本田高大, 前田光治, 三木秀雄, 福井啓介, 粉体工学会誌, 46, 750-755 (2009)

(5) Separation of Fatty Acids from Binary Melts using Physical Vapor Deposition (PVD); Y-H. Kim, S-Y. Jeong, S. Nishitani, K. Maeda, Y. Asakuma, K. Fukui, J. Chem. Technol. Biotechnol., 84, 316-319 (2009)

(6) Kinetic and theoretical studies of metal ion adsorption in KDP solution; Y. Asakuma, S. Takeda, K. Maeda, K. Fukui, Applied Surface Science, 255, 4140-4144 (2009)

(7) Distribution of Cations in Ice Grown on a Rotating Cold Cylinder; K. Fukui, S. Kouuchi, Y. Asakuma, K. Maeda, J. Chem. Eng. Japan, 41, 344-349 (2008)

(8) Fragmentation behavior of aggregated particle in suspension crystallization processes; Y. Asakuma, T. Honda, K. Maeda, H. Miki, K. Fukui, Powder Technology, 181, 266-272 (2008)

(9) Melt crystallization - inclusion kinetics of mineral ions during ice formation; K. Fukui, Y. Asakuma, K. Maeda, Chemeca 2007, 1925-1930 (2007)

(10) PVD of fatty acids on a cold quartz crystal sensor; Y-H. Kim, H-W. Kang, D. Izumi, K.

Maeda, Y. Asakuma, K. Fukui, Chem. Eng. Processing, 46, 532-536 (2007)

[学会発表] (計 25 件)

(1) Seeded batch crystallization of ammonium phosphates by electrical conductivity measurement; J. Utomo, P. Shukla, T. Kotani, Y. Asakuma, K. Maeda, K. Fukui, N. Balliu, M.O. Tade; 化学工学第 75 年会, M106, 鹿児島 (2010)

(2) 超高压下の電解質溶液の電気電導度と結晶化の観察; 前野勝俊, 万壽本大嗣, 前田光治, 朝熊裕介, 福井啓介, 化学工学第 75 年会, L01, 鹿児島(2010)

(3) アルコール水溶液からのアンモニウム塩の核生成・成長挙動の解明; 朝熊裕介, 小谷剛, 前田光治, 福井啓介, 分離技術会年会 2010, S6-11P, 東京 (2010)

(4) 干渉計による結晶核発生と結晶成長の観察; 前田光治, 小山弘朗, 朝熊裕介, 福井啓介, 化学工学会第 42 秋季大会, G323, 京都 (2010)

(5) 高压下のアンモニウム塩を含むエタノール水溶液の電気伝導度と結晶化現象; 前田光治, 前野勝俊, 万壽本大嗣, 朝熊裕介, 福井啓介, 第 51 回高压討論会, 2P37, 仙台 (2010)

(6) メカノケミカル法によるグリシンの多形転移挙動の解明; 小松裕也, 朝熊裕介, 前田光治, 福井啓介, 第 11 回化学工学会学生大会, H17, 岡山(2009)

(7) 光子相関法による粘度測定に関する研究; 福田真之, 前田光治, 朝熊裕介, 福井啓介, 第 11 回化学工学会学生大会, I20, 岡山 (2009)

(8) 高压下の結晶成長に関する研究; 万壽本大嗣, 前田光治, 朝熊裕介, 福井啓介, 第 11 回化学工学会学生大会, J04, 岡山 (2009)

(9) 高压による電解質水溶液からの結晶化に関する研究; 万壽本大嗣, 前野勝俊, 前田光治, 朝熊裕介, 福井啓介, 化学工学会第 41 秋季大会, W218, 東広島(2009)

(10) 動的光散乱法による粒子径・流体粘度の計測技術; 福井啓介, 朝熊裕介, 前田光治, 化学工学会第 41 秋季大会, E123, 東広島(2009)

(11) KDP 飽和溶液中の不純物吸着メカニズムの解明; 中野茂樹, 朝熊裕介, 前田光治, 福井啓介, 化学工学会姫路大会 2008, C213, 姫路(2008)

(12) 無機塩の核発生に関する研究; 光岡昌典, 前田光治, 朝熊裕介, 福井啓介, 化学工学会 姫路大会 2008, C214, 姫路 (2008)

(13) SEEDED BATCH CRYSTALLISATION OF MONO-AMMONIUM PHOSPHATE; J. Utomo, Y. Asakuma, K. Maeda, K. Fukui, N. Balliu, M.O. Tade, 化学工学会第 40 秋季大会, M208, 仙台 (2008)

(14) 各種リン酸塩の溶解度に関する研究; 前田光治, 田中友治, 朝熊裕介, 福井啓介, 倉持秀敏, 分離技術会 2008, S5-1, 川崎市(2008)

(15) KDP 飽和溶液における各種金属イオンの吸着現象の解明; 朝熊裕介, 武田伸悟, 前田光治, 福井啓介, 分離技術会年会 2008, S5-P5, 川崎市(2008)

(16) Semibatch reactive crystallization of ammonium phosphates; J. Utomo, Y. Asakuma, K. Maeda, K. Fukui, N. Balliu, M.O. Tade, 分離技術会年会 2008, S5-3, 川崎市(2008)

(17) 計算化学による KDP 結晶成長に関する金属イオン吸着機構の解明; 朝熊裕介, 前田光治, 福井啓介
化学工学会第 7 3 回年会発表講演要旨集 Q303, 浜松 (2008)

(18) Challenges of Wavelet-Based Population Balance Solutions in Crystallization Modeling; J. Utomo, N. Balliu, M.O.Tade, Y. Asakuma, K. Maeda, K. Fukui, 化学工学会第 73 年会, Q305, 浜松(2008)

(19) 希薄溶液からの KCl 結晶の核化現象; 前田光治, 小島左樹男, 朝熊裕介, 福井啓介, 化学工学会第 73 年会, Q304, 浜松(2008)

(20) 懸濁晶析における微小破壊パラメーターからの磨耗現象の予測; 朝熊裕介, 寺島知伸, 前田光治, 福井啓介, 三木秀雄
化学工学会第 72 年会, C116, 京都(2007)

(21) キレート剤を含む KDP 水溶液における金属イオンの不純物効果の解明
西村元輔, 朝熊裕介, 前田光治, 福井啓介, 化学工学会第 7 2 回年会発表講演要旨集 C108, 京都(2007)

(22) 量子化学計算による KDP 結晶の着色メカニズムの解明; 朝熊裕介, 西村元輔, 前田光治, 福井啓介, 分離技術会 2007, S5-2, 名古屋(2007)

(23) クオーツセンサー上の飽和脂肪酸混合物の PVD の成長速度と純度の関係; 前田光治, 朝熊裕介, 福井啓介, 分離技術会 2007, S5-P17, 名古屋 (2007)

(24) 懸濁晶析における凝集粒子の磨耗、破壊メカニズムの解明; 朝熊裕介, 本田高大, 寺島知伸, 前田光治, 福井啓介, 三木秀雄
化学工学会第 39 秋季大会, H105, 札幌(2007)

(25) 光子相関法による KCl 希薄溶解度水溶液からの結晶核発生挙動の測定; 福井啓介, 光岡昌典, 朝熊裕介, 前田光治, 化学工学会第 39 秋季大会, H117, 札幌 (2007)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/mse/mse9/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福井 啓介 (Fukui Keisuke)

兵庫県立大学・工学研究科・教授

研究者番号: 50047635

(2) 研究分担者 ()

研究者番号:

(3) 連携研究者

前田 光治 (Maeda Kouji)

兵庫県立大学・工学研究科・準教授

研究者番号: 00264838

朝熊 裕介 (Asakuma Yusuke)

兵庫県立大学・工学研究科・準教授

研究者番号: 40364038