

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 基盤研究(B)
 研究期間： 2007 ～ 2009
 課題番号： 19360351
 研究課題名（和文） ソフトナノコロイドの超精密分離におけるメカニズムの解明
 研究課題名（英文） Elucidation of Mechanism for Ultraprecise Separation of Soft Nano-Colloids

研究代表者
 入谷 英司 (IRITANI EIJI)
 名古屋大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号： 60144119

研究成果の概要（和文）： 種々のソフトナノコロイドを対象とした一連の粒子・流体系分離の複雑なメカニズムの解明を試みた。ソフトナノコロイドとしてタンパク質を用い、超遠心分離特性および膜濾過特性を究明し、ハードナノコロイドとの比較を行ったところ、変形能が大きいというソフトナノコロイドの特徴がケーキの透過性すなわち脱液特性に大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。また、ソフトマテリアルの複雑な圧密挙動を記述することが可能な新規多段クリープモデルを提案した。

研究成果の概要（英文）： The main purpose of this research is to clarify the complicated mechanism for particle-fluid separation of various soft nano-colloids. Ultracentrifugation and membrane separation properties of protein as soft nano-colloids were clarified. It was revealed that the deformability of soft nano-particles play a major role on deliquoring properties such as the cake permeability, compared with experimental results of hard nano-particles,. Moreover, a multi-stage creep model has been newly developed in order to elucidate the complex consolidation behaviors of soft materials.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2008 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2009 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：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：ソフトナノコロイド，膜濾過，圧搾，超遠心分離，脱液特性，流動比抵抗，空隙率，変形能

1. 研究開始当初の背景

濾過、圧搾、沈降、遠心分離などの粒子・流体系分離操作は、近年における利用分野の著しい拡大により、分離の対象となる粒子や溶媒はますます多岐にわたり、従来の化学工

業や環境保全分野だけでなく、バイオテクノロジーやバイオマス産業、機能性食品、医療、生物・生体関連の分離にも積極的に利用されるようになっている。また、一方では、各種産業におけるファイン化志向に伴い、分離の

対象となる粒子はますます微細化し、ナノ領域にまで至るようになってきている。このため、ナノゲル（マイクロゲル）、ナノエマルジョンやタンパク質等の生体高分子、ハードナノ粒子が緩く凝集したナノ粒子など、粒子のサイズが微小なことに加えて、その変形能が大きく、そのため、分離が極めて困難な“ソフトナノコロイド”とも称すべき新たなカテゴリーのコロイドを対象とする高精度な分離技術の確立が強く切望されている。

従来から、粒子・流体系分離は国の内外において活発に研究されており、その技術は高い水準にあるが、それらは主として剛体粒子が分散したハードコロイドを対象としている。一方、ソフトコロイドについては、その重要性にもかかわらず、研究例は極めて少ないのが現状である。近年、ソフトコロイドの分離についても、従来技術の適用が試みられているが、粒子が高い圧縮性を示すため、十分な分離性能は得られていない。理論面においても、ソフトコロイドの特異な挙動のため、未だ手つかずの状態である。また、そのサイズがナノに及ぶナノコロイドの分離については、最近僅かな研究例が見られるが、ソフトナノコロイドに至っては、まったく未踏の研究領域である。

研究代表者は、これまで粒子・流体系分離に関して長年来研究を続けており、ソフトコロイドの分離の重要性に着目し、ソフトコロイドに特徴的な粒子の変形能が分離特性に多大の影響を及ぼすことを他に先駆けて明らかにした。こうした研究実績を背景に、人間の生命や生活に密接に関連する分野において重要性が高まっているソフトナノコロイドの分離に関する研究に着手しようとする次第である。

2. 研究の目的

本研究では、種々のソフトナノコロイドを対象とした一連の粒子・流体系分離の複雑なメカニズムを解明することにより、最適な分離手法、装置や操作の設計のための基礎的な知見を得ることを目標とする。ナノゲル（マイクロゲル）、ナノエマルジョンやタンパク質のような生体高分子、ハードナノ粒子が緩く凝集したナノ粒子などのソフトナノコロイドを実験試料として、限外濾過、超遠心濾過・沈降、超高压圧搾実験を行う。ソフトコロイドに特徴的な粒子の変形能やナノコロイドに特徴的な水和（束縛水）等のマイクロな特性を明らかにして、分離性能に多大な影響を及ぼす、限外濾過や超遠心濾過、超高压圧搾において分離膜面上に生成するケーキ層や超遠心沈降において生成する沈殿堆積層などのゲル状を呈するソフトナノ粒子集合体のマクロな特性を究明し、ソフトナノコロイドの脱液分離過程におけるメカニズムを

解明する。

3. 研究の方法

(1) ソフトナノコロイドの超遠心分離

実験試料には、代表的なタンパク質である等電点 5.1、 $MW = 67,000$ の牛血清アルブミン (BSA) (密度 $\rho_s = 1,364 \text{ kg/m}^3$, 片山化学工業製) を用い、これを純水 (密度 $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$) に溶解させて、種々の濃度の BSA 溶液を pH 5.1 および 7.0 で調製した。超遠心沈降実験は、分析用超遠心機 (282 型, 日立製) を使用し、55,000 および 60,000 rpm (角速度 $\Omega = 5760, 6283 \text{ rad/s}$) の回転数、293 K の温度で行った。この際、試料の吸光度を測定する吸収法と屈折率勾配を測定するシュリーレン法を併用し、セル内の各位置の溶質濃度と濃度勾配の経時変化を測定した。濃度勾配のピークの位置から沈降界面の位置が求められる。

(2) ソフトナノコロイドとハードコロイドの脱液特性

実験試料には、ソフトコロイドとして牛血清アルブミン (BSA) を、ハードコロイドとしてコロイダルシリカ ST-XS ($\rho_s = 2,270 \text{ kg/m}^3$, 日産化学製) を用い、これらを純水中に分散させ所定濃度の試料液を調製した。濾過面積急縮小型限外濾過試験は、膜面からの距離 $h = 0.4 \text{ mm}$ の位置で濾過面積が急縮小する濾過器を用いて、 $p = 49 \sim 490 \text{ kPa}$ の各一定圧力で行い、濾液量の経時変化を測定した。分離膜には、公称分画分子量 10,000 の再生セルロース製 UF 膜 (Millipore 製) を使用した。

(3) ソフトナノコロイドの膜濾過

ソフトナノコロイドには、牛血清アルブミン (BSA) を用い、pH 7.0 のリン酸緩衝液に溶解させて、質量濃度 $s = 0.01$ に調製した。膜面傾斜限外濾過実験は、一辺が 4 cm の角型濾過面をもつ濾過器を用いて、膜面を種々の傾斜角 ψ (濾液の流れ方向が重力の方向となす角度) に保って $p = 98 \text{ kPa}$ の一定圧力で行い、濾液量とケーキ厚さの経時変化を測定した。分離膜には、公称分画分子量 10,000 の再生セルロース製限外濾過膜 (Millipore 製) を使用した。

(4) ゲル状物質の圧搾

ゲル状物質の例として、実験試料には、大豆 (佐賀県産フクユタカ) と凝固剤の塩化マグネシウムを用いて常法により作製した豆腐と、その製造過程で副生するおからを使用した。圧搾実験には、セル断面積が 28.3 cm^2 の圧縮試験セルを用い、セル内に豆腐、またはおからを充填し、材料試験機により $p_1 = 49, 98 \text{ kPa}$ の荷重圧を加えて両面排水で予め圧密した後、一定の圧搾圧力 ($p_2 = 980 \text{ kPa}$) を作用させて圧搾脱水実験を行い、ケーキ厚さ L の

経時変化を測定した。

4. 研究成果

(1) ソフトナノコロイドの超遠心分離

ソフトナノコロイドの限外濾過の機構解明には、膜面上に形成される濾過ケーキの透過特性を明らかにすることが重要である。通常の粒子懸濁液については、圧縮透過試験を行うことによって濾過の理論推定が可能であるが、タンパク質溶液にこの手法を適用することは事実上不可能である。そこで、タンパク質溶液の超遠心沈降試験を行い、沈降と濾過（透過）のアナロジーを利用して、BSA 圧密層の透過特性を求め、その妥当性を検討した。

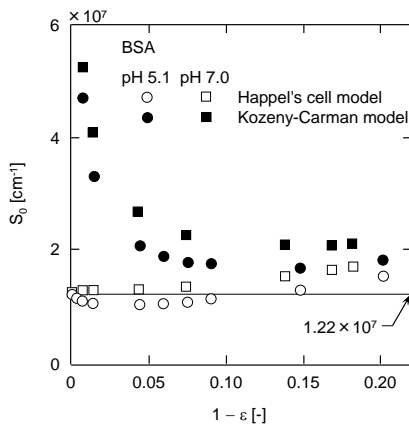


Fig. 1 比表面積の濃度依存性

BSA 溶液の超遠心沈降において、BSA の沈降界面と沈降時間との関係を示す遠心沈降曲線の初期勾配から決定される BSA の沈降速度 u_0 を用い、沈降定数 $S (= u_0 / (r_0 \Omega^2))$ を求めた。 r_0 は回転中心から BSA 溶液・空気層界面までの距離である。次に、流動比抵抗 α と沈降定数 S との関係式および Kozeny-Carman 式に基づいて α と BSA 溶液の初期空隙率 ϵ との関係求めた。両者の関係は、低濃度域を除けば Kozeny-Carman 式で記述できたが、低濃度域では整理できなかったため、Happel のセルモデルに基づく解析の適用を試みた。 α 対 ϵ の実験値に基づき、有効比表面積 S_0 対 ϵ の関係を計算し、 S_0 と溶質の体積分率 $(1 - \epsilon)$ との関係を Fig. 1 に示した。図中に示した実線は、BSA を回転楕円体として、BSA 粒子（長軸 14 nm、短軸 4 nm で長軸を回転中心とする回転楕円体）の体積、表面積から計算される比表面積の値 ($1.22 \times 10^7 \text{ cm}^{-1}$) である。プロットはこの計算値と大略同程度の値を示し、また無限希釈への外挿値が計算値と一致することから、Happel のセルモデルの適用が妥当であることがわかる。実測値では初期濃度の増大に伴い比表面積が漸増傾向にあった。これは、試料濃度が大きくなると BSA 高分子

同士が接触・変形し、比表面積が大きくなり、その結果、流動比抵抗が大きくなることを示している。なお、比較のため Kozeny-Carman 式に基づく計算値も Fig. 1 に示した。この場合には、低濃度域で体積分率の低下と共に S_0 は顕著に増加する傾向となった。

(2) ソフトナノコロイドとハードコロイドの脱液特性

ソフトナノコロイドとハードコロイドの濾過面積急縮小型限外濾過試験を種々の濾過圧力で行い、部分比抵抗 α 、部分空隙率 ϵ と分散相圧縮圧力 p_s との関係を表す圧縮透過特性を求め、圧縮圧力による充填構造の変化と分散相の変形のそれぞれが濾液流動挙動に及ぼす影響について考察した。

BSA とコロイダルシリカ ST-XS の濾過面積急縮小型限外濾過試験から得た濾過ケーキの平均濾過比抵抗 α_{av} および平均充填率 $(1 - \epsilon_{av})$ と濾過圧力 p との関係は、べき乗式 ($\alpha_{av} = \alpha_1 p^n$ 、 $1 - \epsilon_{av} = B p^\beta$) で近似できた。BSA の方が透過性の圧力依存性を示す圧縮性指数 n は大きい、充填構造の圧力依存性を示す β については ST-XS より小さくなった。これは、BSA では、充填構造の変化のほか、分散相の変形も、より顕著に透過性に影響を及ぼしていることを示唆する。そこで、分散相比表面積の圧縮圧力依存性を評価する。 α_{av} 対 p 、 ϵ_{av} 対 p の関係に基づき、部分比抵抗 α 及び部分充填率 $(1 - \epsilon)$ と分散相圧縮圧力 p_s との関係は次式で表される。

$$\alpha = \frac{\alpha_1}{1-n} p_s^n \quad (1)$$

$$1 - \epsilon = \frac{B(1-n)}{1-n-\beta} p_s^\beta \quad (2)$$

Eqs. (1), (2) を連立させて p_s を消去すると、 α と $(1 - \epsilon)$ との関係が求まる。しかし、この関係式は、低濃度域 ($\epsilon \rightarrow 1$) では適用できないので、一個粒子の自由沈降にも適用できる Michaels-Bolger 式で近似した。Michaels-Bolger 式に Happel のセルモデルで与えられる α と $(1 - \epsilon)$ との関係を併せて用いると、ケーキを構成する分散相の部分有効比表面積 S_0 を各圧縮圧力（または、部分充填率）毎に算出することができる。Fig. 2 には、このようにして得た部分比表面積 S_0 を圧縮圧力 p_s に対してプロットした。なお、粒子径と形状から求めた無負荷時の BSA と ST-XS の比表面積は、それぞれ 1.22×10^9 、 $1.25 \times 10^9 \text{ m}^{-1}$ である。圧縮圧力の増加とともに比表面積は次第に増大するが、同じ圧力を作用させた場合、BSA の方が比表面積の変化は大きく、変形能が大きなソフトコロイドの特徴が確認された。また、BSA の結果は、図に示すように、「(1) ソフトナノコロイドの超遠心分離」

で示した超遠心沈降法による推算結果ともほぼ一致した。

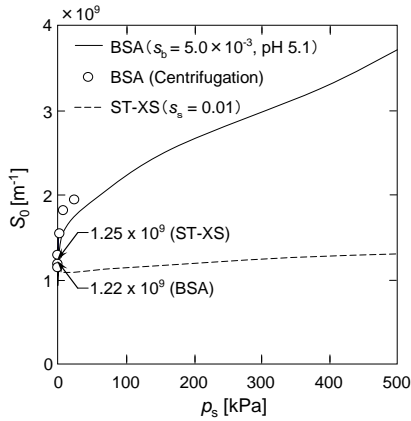


Fig. 2 比表面積の圧縮圧力依存性

(3) ソフトナノコロイドの膜濾過

膜面を傾斜させる膜面傾斜濾過や重力の方向と逆方向に濾液が流れる上向流濾過をナノコロイドに適用すると、外部から膜面に剪断力を加えなくても、通常の下向流濾過と比べて濾過速度の低下を著しく抑制することができる。これは、重力の作用による膜面からのケーキの剥離によるものと理解されるが、その詳細な機構については未だ不明のままである。そこで、タンパク質溶液の膜面傾斜限外濾過におけるケーキの堆積挙動を直接観察し、その結果に基づく種々の傾斜角度における濾過流束のダイナミクスの考察から、ケーキ剥離機構を解明するための有用な手がかりを得る。

角度 $\psi = 7\pi/18$ rad での濾過開始 19.5 時間後の BSA ケーキを Fig. 3 に示した。濾過が進行すると、膜面下方に褐色の濃厚 BSA ケーキ層が現れ、ケーキ表面を水平に保って、層厚は次第に増加する傾向を示した。これは、対流で膜面に運ばれたタンパク質層が、それ自身に働く重力の影響を受け、膜面下方へずり落ちるためと推察される。この層厚の経時変化を目視測定すると、単位膜面積毎のずり落ちたケーキ体積 v_c を実験的に得ることができ、ケーキ体積 v_c は濾液量 v にほぼ比例するという重要な実験事実を得た。色の違いによる目視測定のため、実際のケーキ体積は測定値より大きいと予測されるが、本測定結果から考え、実際のケーキ質量も濾液量に比例するものと推測される。Fig. 4 には、種々の傾斜角で得た比較的長時間に及ぶ濾過実験の結果を、濾過速度の逆数 $(d\theta/dv)$ 対 濾液量 v としてプロットした。濾過の進行とともに $d\theta/dv$ は増大し、濾過速度が低下する傾向を示すが、その傾向は傾斜角が小さいほど顕著となる。

デッドエンド濾過の物質収支に基づき、ずり落ちたケーキ質量が濾液量に比例して増大し、そのケーキが次第に膜面を覆って、有効濾過面積 A が減少することにより、濾過速度が低下するものと考え、次式から濾過速度を推算できる。

$$\frac{d\theta}{dv} = \frac{A_0}{A} \left(\frac{d\theta}{dv} \right)_t \quad (3)$$

ここで、 $d\theta/dv$ は濾過面積 A での濾過速度の逆数値、 A_0 は膜面積、 $(d\theta/dv)_t$ は図中の濾過速度の逆数値である。ずり落ちたケーキ層で覆われた部分の流動抵抗はそうでない部分の流動抵抗に比べて著しく大きく、濾過速度は堆積ケーキ層で覆われていない濾過に有効な濾過面積 A によって大略決定されるというのが、Eq. (1) の物理的意味である。図中の実線は、濾過面積急縮小型濾過で求めたケーキの空隙率を用いた計算値であり、角度変化による濾過速度の挙動を良く説明できた。

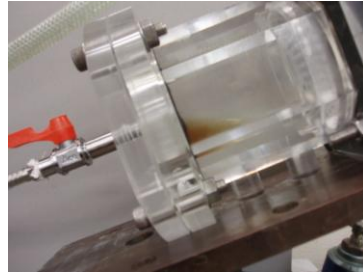


Fig. 3 膜面傾斜濾過の BSA ケーキ

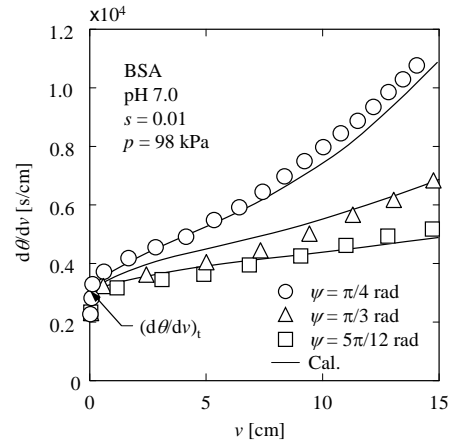


Fig. 4 濾過速度の推算

(4) ゲル状物質の圧搾

ソフトマテリアルの一つであるゲルは、ナノサイズの網目からなる三次元網目構造を有しており、ゲルの変形に伴う網目サイズの変化がその脱水挙動に大きく影響するものと考えられるが、ゲル状物質の脱水特性については現在のところ充分な知見が得られて

いない。そこで、ゲル状物質の例として、大豆原料から豆腐およびおからを作製して、それらの定圧圧搾実験を行い、圧密脱水モデルを提案するとともに、その妥当性について検証した。

Fig. 5 に一例として豆腐の平均圧密比 $U_c (= (L_1 - L)/(L_1 - L_\infty))$ の経時変化を示した。ここで、 L_1 は ケークの初期厚さ、 L は時間 θ_c での ケーク厚さ、 L_∞ は圧密ケークの平衡厚さである。実線は一次圧密のみを考えた Terzaghi モデル、破線は二次圧密も考慮した Terzaghi-Voigt モデルによる従来の圧密解析法のフィッティング結果であるが、いずれも実験結果を良好に表現できないことがわかった。そこで、次式で表されるように、Terzaghi モデルに Voigt モデルを複数個直列に接続した多段クリープモデルを圧密解析に適用することを本研究で提案する。

$$U_c = \left(1 - \sum_{k=1}^K B_k\right) \left[1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8}{(2n-1)^2 \pi^2} \cdot \exp\left\{-\frac{(2n-1)^2 \pi^2}{4} \cdot \frac{i^2 C_e \theta_c}{\omega_0^2}\right\}\right] + \sum_{k=1}^K B_k \{1 - \exp(-\eta_k \theta_c)\} \quad (4)$$

ここで、 i は排水面数、 C_e は修正圧密係数、 ω_0 は単位断面積毎の固体体積、 B_k は全圧密量に対する各クリープ圧密量の割合、 η_k はクリープの進行速度を表す定数である。Fig. 5 の実線で示したように、Eq. (4)で四次圧密 ($k=3$) まで考慮することにより脱水過程を精度良くモデル化できた。各 η_k は 1 オーダー以上違うことから、クリープ現象が段階的に生じていることがわかる。図中に一次～四次の各圧密量の寄与を示した。なお、おからの場合にも豆腐と同様のモデル式で整理できた。

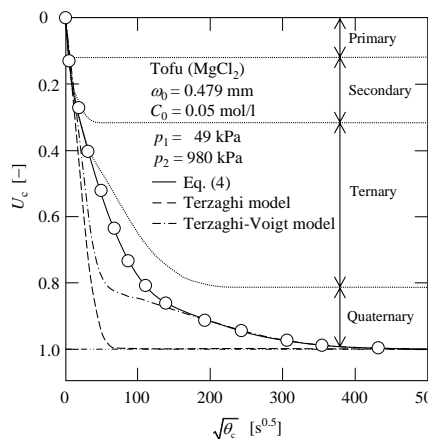


Fig. 5 豆腐の圧密挙動の推算

(5) まとめ

本研究では、超遠心分離データや限外濾過試験データを用いて、ケーク内の部分濾過比抵抗や部分空隙率と分散相圧縮圧力との関

係を求め、Happel のセルモデルに基づく解析を適用して、ケークの充填構造や分散相の変形挙動をそれぞれ評価可能なことを示した。ハードナノコロイドとの比較から、変形能が大きいというソフトナノコロイドの特徴がケークの透過性すなわち脱液特性に大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。また、ソフトマテリアルの複雑な圧密挙動を記述することが可能な新規多段クリープモデルを提案した。

現在においてもソフトナノコロイドの分離に関する知見は、国の内外において十分には得られているとは言い難く、これらの一連の研究成果が、当分野に与えるインパクトは大きい。今後は、得られた知見を基にして最適な分離手法、装置や操作の設計に繋げることが必要とされる。

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 15 件)

- (1) E. Iritani, T. Sato, N. Katagiri and K.J. Hwang, Multi-Stage Creep Effect in Consolidation of Tofu and Okara as Soft Colloids”, *J. Chem. Eng. Japan*, **43**(2), 140-149, 2010, 査読有
- (2) E. Iritani, T. Hashimoto and N. Katagiri, Gravity Consolidation-Sedimentation Behaviors of Concentrated TiO₂ Suspension, *Chem. Eng. Sci.*, **64**(21), 4414-4423, 2009, 査読有
- (3) K. J. Hwang, Y. T. Wang, E. Iritani and N. Katagiri, Effects of Porous Gel Particle Compression Properties on Microfiltration Characteristics, *J. Membrane Sci.*, **341**(1-2), 286-293, 2009, 査読有
- (4) E. Iritani, N. Katagiri, T. Kawabata and Y. Takaishi, Chiral Separation of Tryptophan by Single-Pass Affinity Inclined Ultrafiltration Using Hollow Fiber Membrane Module, *Sep. Purif. Technol.*, **64**(3), 337-344, 2009, 査読有
- (5) 入谷英司, 膜濾過における膜細孔閉塞のモデル化と評価, 化学工学論文集, **35**(1), 1-11, 2009, 査読有
- (6) 向井康人, 山口 忍, 木目浩之, 入谷英司, 高分子を含む微粒子懸濁液のデッドエンド限外濾過特性, 化学工学論文集, **35**(1), 87-93, 2009, 査読有
- (7) 片桐誠之, 中条訓子, 竹内 旭, 入谷英司, 川崎健二, 活性汚泥の固液分離特性に及ぼすBOD汚泥負荷の影響, 化学工学論文集, **35**(1), 99-104, 2009, 査読有
- (8) E. Iritani, H. Nagaoka and N. Katagiri, Determination of Filtration Characteristics of

- Yeast Suspension Based upon Multistage Reduction in Cake Surface Area under Step-up Pressure Conditions, *Sep. Purif. Technol.*, **63**(2), 379-385, 2008, 査読有
- (9) E. Iritani, S. Matsumoto and N. Katagiri, Formation and Consolidation of Filter Cake in Microfiltration of Emulsion-Slurry, *J. Membrane Sci.*, **318**(1-2), 56-64, 2008, 査読有
- (10) E. Iritani, N. Katagiri, T. Sengoku, K. M. Yoo, K. Kawasaki and A. Matsuda, Flux Decline Behaviors in Dead-End Microfiltration of Activated Sludge and Its Supernatant, *J. Membrane Sci.*, **300**(1-2), 36-44, 2007, 査読有
- (11) E. Iritani, N. Katagiri, K. Aoki, M. Shimamoto and K. M. Yoo, Determination of Permeability Characteristics from Centrifugal Flotation Velocity of Deformable Oil Droplets in O/W Emulsions, *Sep. Purif. Technol.*, **58**(2), 247-255, 2007, 査読有
- (12) E. Iritani, N. Katagiri, Y. Sugiyama and K. Yagishita, Analysis of Flux Decline Behaviors in Filtration of Very Dilute Suspensions, *AIChE J.*, **53**(9), 2275-2283, 2007, 査読有
- (13) 入谷英司, 片桐誠之, 青木 梢, 島本美穂, 趙 駿衡, ソフトおよびハードコロイドの遠心分離における圧密推積層の圧縮特性, 化学工学論文集, **33**(6), 553-560, 2007, 査読有

[学会発表] (計5 1 件)

- (1) E. Iritani, T. Sato and N. Katagiri, Multi-Staged Creep Effect in Consolidation of Tofu and Okara as Soft Colloids, Filtech 2009, October 14, 2009, Wiesbaden (Germany)
- (2) N. Katagiri, T. Hashimoto and E. Iritani, Evaluation of Consolidation-Sedimentation Properties in Batch Gravity Sedimentation of Concentrated Suspension, Filtech 2009, October 13, 2009, Wiesbaden (Germany)
- (3) 片桐誠之, 高石有希子, 入谷英司, 限外濾過で生成したケーキの充填構造と分散相変形挙動の評価, 化学工学会第41回秋季大会, 2009年9月16日, 広島
- (4) N. Katagiri, and E. Iritani, New Method for Obtaining Filtration Characteristics Based upon Step-up Pressure Membrane Filtration Tests, The 5th Conference of Aseanian Membrane Society (AMS5), July 14, 2009, Kobe (Japan),
- (5) N. Katagiri, T. Sengoku and E. Iritani,

- Membrane Fouling in Dead-End Microfiltration of Activated Sludge and Its Supernatant, The 5th Conference of Aseanian Membrane Society (AMS5), July 14, 2009, Kobe (Japan)
- (6) 柳景旻, 入谷英司, エマルションスラリーの精密濾過における2層ケーキの圧搾油滴透過特性, 化学工学会第40回秋季大会, 2008年9月26日, 仙台
- (7) Y. Mukai, S. Shida and E. Iritani, Properties of Downward and Upward Ultrafiltration of Nanoparticle Suspensions, The 10th World Filtration Congress (WFC10), April 15, 2008, Leipzig (Germany)
- (8) E. Iritani, Evaluation of Compression-Permeability Characteristics of Soft and Hard Colloids Using Analytical Centrifuge, The 4th Joint China/Japan Chemical Engineering Symposium (CJCES), December 19, 2007, Chengdu (China)
- (9) E. Iritani, Evaluation of Pore Plugging of Membrane and Formation of Filter Cake in Membrane Filtration, Filtration and Separation Symposium 2007, November 7, 2007, Tokyo (Japan)

[図書] (計6 件)

- (1) 入谷英司, 朝倉書店, 化学工学会分離プロセス部会教育委員会編 “分離プロセス工学の基礎”, 2009, 228p
- (2) 入谷英司, 世界濾過工学会日本会編 “濾過工学ハンドブック”, 2009, 351p
- (3) E. Iritani, Elsevier, “Nanoparticle Technology Handbook”, 2007, 622p

6. 研究組織

(1) 研究代表者

入谷 英司 (IRITANI EIJI)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：60144119

(2) 研究分担者

向井 康人 (MUKAI YASUHITO)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：30303663

片桐 誠之 (KATAGIRI NOBUYUKI)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：00345919

(3) 連携研究者

()
研究者番号：