

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年6月8日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20760522

研究課題名(和文) コロイド溶液乾燥過程に於ける粒子薄膜形成機構の動的理解と粒子薄膜の構造制御

研究課題名(英文) Formation kinetics of drying-induced colloidal films and manipulation of film structures.

研究代表者

稲澤 晋 (INASAWA SUSUMU)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：30466776

研究成果の概要(和文)：様々な乾燥方法でコロイド粒子分散液から粒子膜を作製し、乾燥条件が粒子膜の複屈折や亀裂形成に与える影響を明らかにした。乾燥の異方性に起因して、粒子膜内部にナノスケールの歪みが生じている可能性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Colloidal films were formed by various drying processes and we revealed effects of drying conditions on both birefringence and crack formation in colloidal films. We found that drying anisotropy results in nanometer-scale anisotropy in film structure.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：ナノ粒子、粒子膜構造、光学物性、亀裂

## 1. 研究開始当初の背景

申請者は、球形のコロイド粒子からなる粒子膜が複屈折を示すことを発見した。個々の粒子が等方的であっても、「粒子群」として非等方的な物性を示す例であり、ナノ粒子と光の相互作用の新たな側面が現れていると考えられた。また、粒子分散液からの粒子膜の形成は、分散状態にある粒子の「凝縮」過程とも考えられる。乾燥による塗布液膜からの固体形成は身近に溢れた現象であるが、乾燥条件が生成する膜の形状や構造、物性にどのように影響するのか不明な点が多かった。

## 2. 研究の目的

粒子群として何故複屈折を生じるのかを解明し、粒子膜構造と光物性との相関を明らかにする。また、粒子膜の形成過程に着目し、乾燥条件が粒子膜の不具合モードである亀裂形成にどのように影響を与えるかも検証する。

## 3. 研究の方法

コロイド粒子分散液を様々な方法で乾燥させ、主にガラス基板上で粒子膜を作製した。粒子膜の構造を電子顕微鏡で観察し、光物性を偏光顕微鏡で定量的に評価した。また、粒

子膜が形成する動的過程を光学顕微鏡で観察した。

#### 4. 研究成果

複屈折現象には、粒子の規則的な構造が不要であることを明らかにした(図 1)。詳細は割愛するが、膜内部のナノメートルスケールの歪みが複屈折の主因であることが示唆される結果を得ている。これは、規則的な構造を必要とする「コロイド結晶」とは全く異なる粒子膜の物性発現メカニズムである。

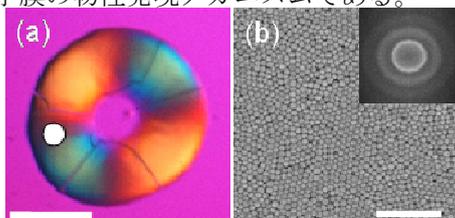


図 1 シリカ粒子(120 nm)とポリスチレン粒子(140 nm)の混合粒子膜の偏光顕微鏡像(a)と表面の粒子像(b)。スケールバーはそれぞれ、(a) 1 cm、(b) 1 ミクロン。偏光顕微鏡像の撮影には、鋭敏色版を用いて屈折率の差異を干渉色で可視化してある。(b)中右上の挿入図は、(b)のフーリエ変換像。リング上のパターンが見られることから、粒子配列の規則性がよくない粒子膜であることが分かる。

また、粒子膜の形成過程に着目すると、乾燥速度に応じて様々な周期的な幅を持った亀裂が形成することを明らかにした(図 2)。また、粒子膜内部に「負圧」が生じ、ガラス基板の変形を起こすことも発見した。この歪みは周期的に起こり、基板の歪みが緩和される際に亀裂が形成する。一種の圧力の自励振動系である。簡易な乾燥作業で引き起こされる粒子充填と粒子膜の形成に、これらの複雑な現象が密接に関与していることを明らかにした。

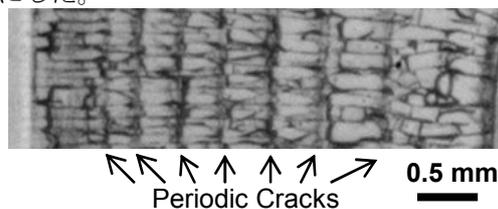


図 2 粒子膜形成時に形成する周期的な亀裂の例。この例では縦の亀裂が周期的に形成している。図の左端が乾燥界面であり、左から右に向かって粒子膜が形成した場合の観察像である。

#### 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 2 件)

#### 1. "Formation of Optically Anisotropic Films from Spherical Colloidal Particles"

Susumu Inasawa and Yukio Yamaguchi  
*Langmuir* 2009, 25 11197-11201.

#### 2. "Self-organized pattern formation of cracks perpendicular to the drying direction of a colloidal suspension"

Susumu Inasawa and Yukio Yamaguchi  
*Soft Matter* 2012, 8, 2416-2422.

[学会発表] (計 17 件)

1. 稲澤晋、若林智紀、山口由岐夫  
「コロイド分散液乾燥過程における二次粒子形成過程メカニズム」  
化学工学会第 40 回秋季大会, 2008 年 9 月

2. 稲澤晋、山口由岐夫  
「シリカナノ粒子薄膜の屈折率異方性発現と構造評価」  
高分子材料開発のための俯瞰的シンポジウム, 2009 年 1 月

3. 稲澤晋、山口由岐夫  
「屈折率異方性をもつシリカナノ粒子膜の構造評価」  
化学工学会第 74 年会, 2009 年 3 月

4. Susumu Inasawa and Yukio Yamaguchi  
“Formation of optically anisotropic silica colloidal films by a simple drop drying method”  
Asian coating workshop 2009, 2009, Aug.

5. 稲澤晋、山口由岐夫  
「屈折率異方性を発現するコロイドシリカ粒子膜の構造評価」  
第 70 回応用物理学会学術講演会, 2009 年 9 月

6. 稲澤晋  
「コロイド粒子分散系における自己組織的構造形成と物性評価」  
化学工学会 第 41 回秋季大会, 2009 年 9 月

7. Susumu Inasawa and Yukio Yamaguchi  
“Formation of optically anisotropic films by spherical colloidal silica particles”  
ACS 239th National Meeting, 2010 March

8. Susumu Inasawa and Yukio Yamaguchi  
“Periodic lateral crack formation in particulate films during unidirectional drying of silica colloidal suspension”  
Asian Coating Workshop 2010, 2010, July

9. Kohei Yamaguchi, Susumu Inasawa and Yukio Yamaguchi

“Birefringent particulate films formed via drying of spherical colloidal suspension”  
Asian Coating Workshop 2010, 2010, July

10. 稲澤晋、神建太郎、山口幸平、山口由岐夫

「コロイド粒子集合体形成：液乾燥過程での構造形成と粒子群としての物性評価」  
粉体操作に伴う諸現象に関する勉強会、2010年8月

11. Susumu Inasawa and Yukio Yamaguchi

“Drying phenomena during the formation of particulate films from colloidal suspension”  
15<sup>th</sup> International Society of Coating Science and Technology, 2010 Sep.

12. 山口幸平、稲澤晋、山口由岐夫

「球状粒子薄膜の複屈折発現メカニズム」  
化学工学会第42会秋季大会、2010年9月

13. 稲澤晋、山口由岐夫

「分散液からのシリカ粒子膜形成と周期的亀裂形成メカニズム」  
化学工学会第76年会、2011年3月

14. Susumu Inasawa and Yukio Yamaguchi

“Self-organized periodic pattern formation of cracks during drying of silica colloidal suspension”  
Asia Coating Workshop 2011, 2011, July

15. Kohei Yamaguchi, Susumu Inasawa and Yukio Yamaguchi

“Control of anisotropic refractive indices of colloidal particulate films formed by drying of colloidal suspension”  
Asia Coating Workshop 2011, 2011, July

16. 稲澤晋

「粒子から粒子膜へ：コロイド分散液の乾燥ダイナミクス」  
材料化学システム工学討論会、2011年8月

17. 稲澤晋、山口由岐夫

「乾燥で形成するコロイド粒子膜内の圧力変動と周期的な亀裂形成」  
化学工学会第77年会、2012年3月

〔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://ymfs.chem.t.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲澤 晋 (INASAWA SUSUMU)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：30466776

(2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：