

# 超臨界CO<sub>2</sub>を利用した晶析による 材料創製技術

内田 博久 (Hirohisa Uchida)  
 金沢大学 理工研究域 フロンティア工学系 教授  
 〒920-1192 石川県金沢市角間町  
 TEL: 076-234-4820 FAX: 076-234-4829  
 E-mail: uchida@se.kanazawa-u.ac.jp

## 超臨界CO<sub>2</sub>の特徴

有機溶媒類似  
 の溶解能力  
 (温度・圧力で調整可能)

超臨界CO<sub>2</sub>

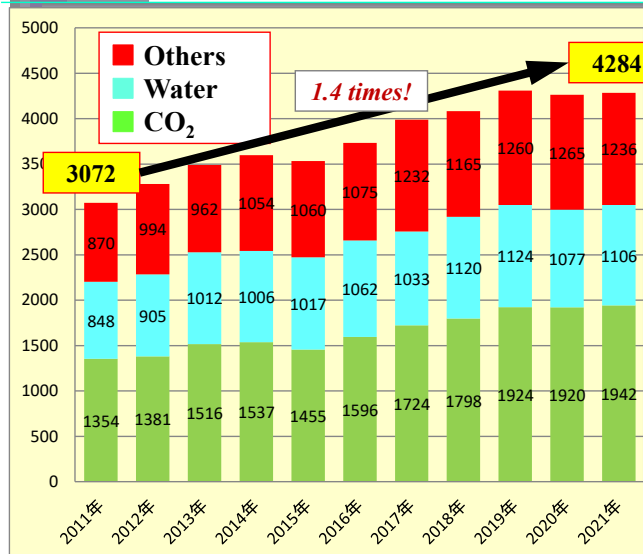
高拡散性  
 低粘性

生体調和型  
 環境調和型

## 講演内容

1. はじめに
2. 晶析媒体としての超臨界CO<sub>2</sub>の特徴
3. 超臨界CO<sub>2</sub>を利用した晶析技術の種類
4. 急速膨張法 (RESS法, RESS-SC法, PGSS法)
5. 貧溶媒添加晶析法 (GAS法, SAS法, SAS-MD法, SAS-CTAR法, ASAIS法)
6. 超臨界CO<sub>2</sub>利用微細化法 (CAN-BD法, SAA法, SAA-SD法, CPF法)
7. 超臨界溶体緩速膨張 (SESS) 法
8. 超臨界流体堆積 (SCFD) 法
9. おわりに

## 世界の超臨界流体関連研究の動向



超臨界CO<sub>2</sub>を利用  
 した研究報告の約1/3  
 は材料製造・処理に  
 関するものである。

超臨界流体に関する研究の論文発表数の10年間の動向  
 (Web of Knowledgeによる検索結果)

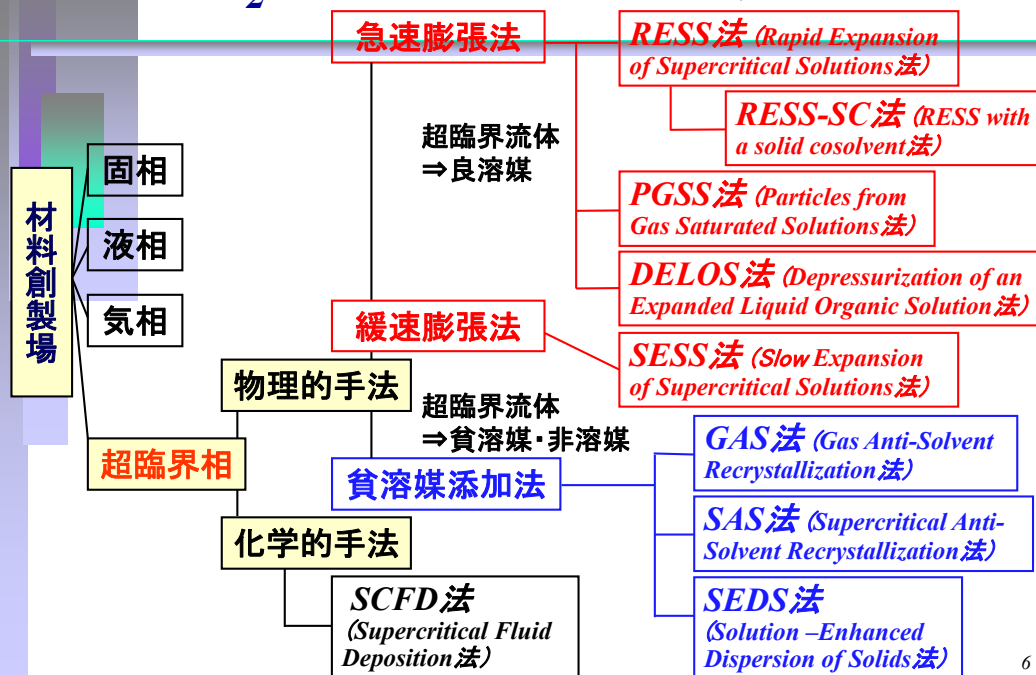
# 晶析媒体としての超臨界CO<sub>2</sub>の特徴

## 晶析に着目した超臨界CO<sub>2</sub>の溶媒特性とは？

- ◆ 温度・圧力の変化により結晶化成分の溶解度，つまり核発生・結晶成長の推進力である「**過飽和度**」を精密に制御可能であり，さらに臨界点近傍では大きく変化させることも可能
- ◆ **表面張力が無い** → ・マイクロ・ナノ空間への高い浸透性  
・超臨界CO<sub>2</sub>中の晶析溶媒利用 → 溶媒除去に伴う凝集防止
- ◆ CO<sub>2</sub> (溶媒) - 溶質間の相互作用を圧力変化により迅速(瞬時)に調整可能 → 急激な素子(分子)化が可能
- ◆ 減圧操作のみにより溶媒と溶質の完全分離が可能  
→ 固液分離工程・残留溶媒の問題の解消
- ◆ **生体調和型溶媒・環境調和型溶媒** → **グリーンテクノロジー**

**ボトムアップ型マテリアルデザイン場として期待**

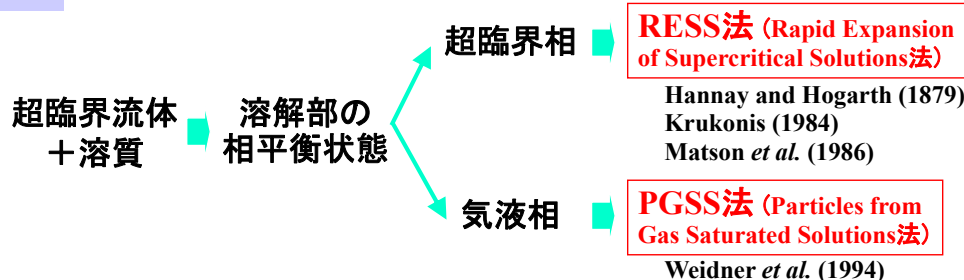
# 超臨界CO<sub>2</sub>を利用した材料創製技術



## 急速膨張法とは

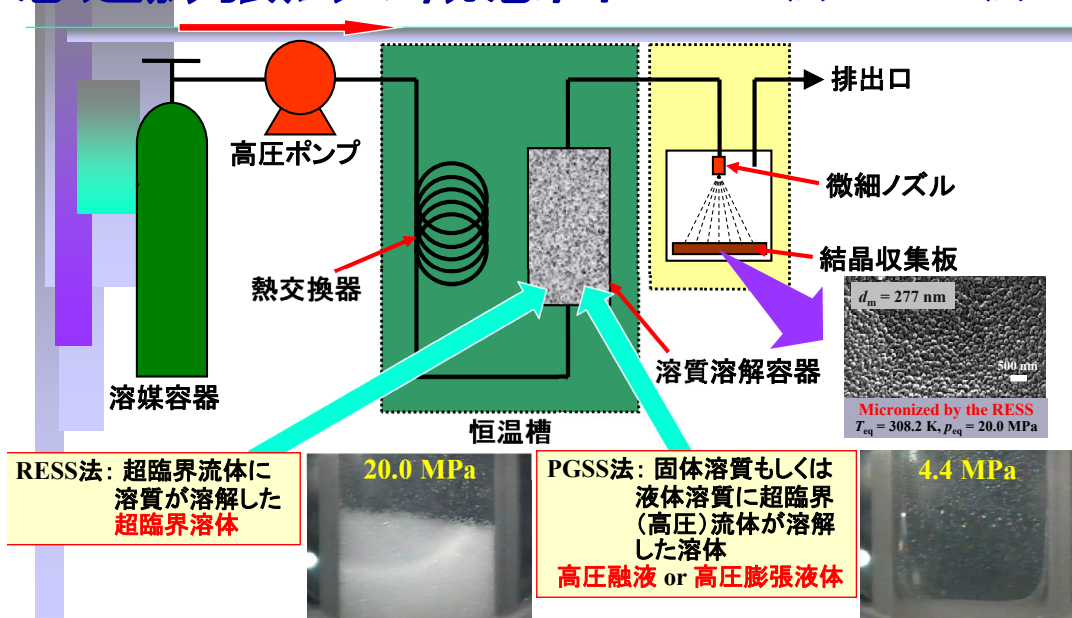
超臨界流体 + 溶質 (または溶液) 系をノズルなどを通して常圧状態に噴射し，系の状態 (溶媒 - 溶質間の相平衡) を急激に変化させることにより結晶を得る手法

急速膨張法



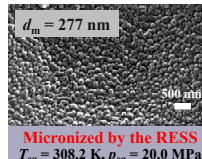
内田博久，躍進する超臨界流体技術，コロナ社，pp.91-115 (2014)

## 急速膨張法の概念図 - RESS法とPGSS法 -



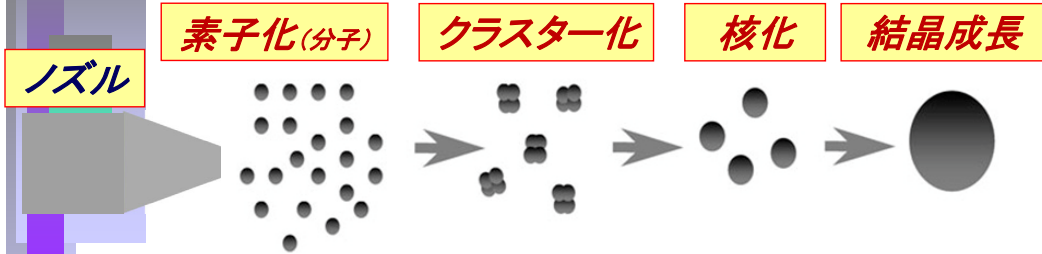
RESS法: 超臨界流体に溶質が溶解した超臨界溶体

PGSS法: 固体溶質もしくは液体溶質に超臨界(高圧)流体が溶解した溶体  
高圧融液 or 高圧膨張液体



内田博久，躍進する超臨界流体技術，コロナ社，pp.91-115 (2014)

# 急速膨張法による結晶化メカニズム

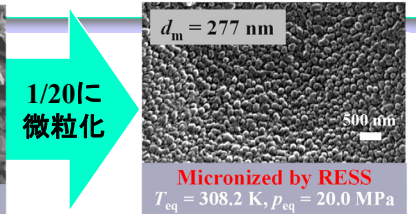
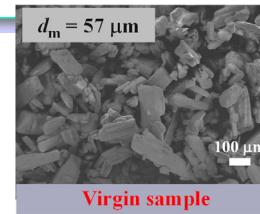
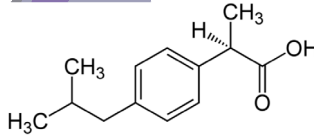


**自己集合(エントロピー減少)を引き起こす要因:**  
 系の圧力減少による溶質溶解度の大きな減少(化学ポテンシャル変化)  
 溶質の素子化(分子状態へ) → 大きな過飽和度の付与  
 二酸化炭素の膨張(分子の離散: 圧力減少)による大きな温度低下  
 ジュール・トムソン効果 → 結晶化熱の除去(冷却効果)

上記の効果が短時間(音速程度)で発生  
 → ナノレベルの材料創製が期待できる!

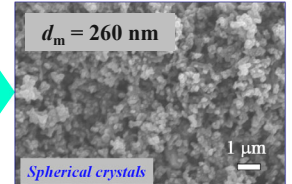
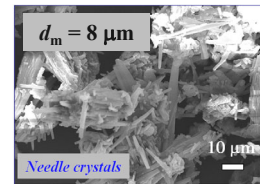
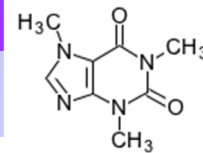
# RESS法による薬物の微粒化の例

## RS-(±)-Ibuprofen



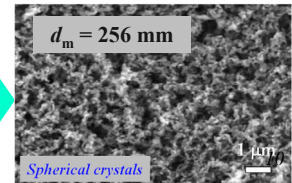
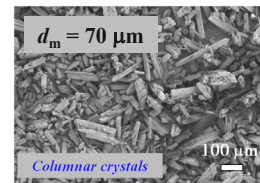
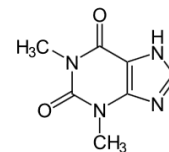
1/20に微粒化

## Caffeine



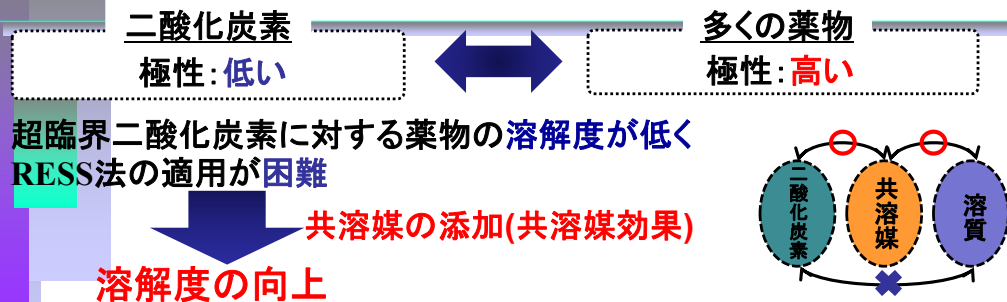
1/30に微粒化

## Theophylline



1/273に微粒化

# 固体共溶媒を利用したRESS法(RESS-SC法)



一般的には液体溶媒が共溶媒として添加される  
 例) 水, エタノール など  
 × 微粒子の特性(粒径・形態・結晶構造・純度)への悪影響  
 × 液体共溶媒の分離工程の必要性

固体共溶媒を利用したRESS法が提案されている<sup>1)</sup>  
**RESS with Solid Cosolvent (RESS-SC)法**

1) R.Thakur, R.B.Gupta, *Ind.Eng.Chem.Res.*, **44**, 7380-7387 (2005) <sup>11</sup>

# RESS法とRESS-SC法の比較

—テオフィリンの微粒化の例—

|                   | RESS法 <sup>1)</sup>  | RESS-SC法 <sup>2)</sup> |
|-------------------|--|------------------------|
| ◆実験条件◆            | $T_s = 313.2 \text{ K}$<br>$p_s = 22.0 \text{ MPa}$<br>$T_{pre-exp} = 338.2 \text{ K}$<br>$T_{noz} = 343.2 \text{ K}$<br>$T_{col} = 273.2 \text{ K}$<br>$L_s = 3 \text{ cm}$ |                        |
| 粒子形態(モルフォロジー)     | 球形及び柱状   | 球形                     |
| 平均粒径              | 235 nm   | 約1/3に微粒化 → 85 nm       |
| 微粒子回収部温度の粒子創製への影響 | 影響は小さい   | 影響は小さい                 |
| 噴霧距離が粒子創製に及ぼす影響   | 噴霧距離に従い、粒径が大きくなる。  | 粒径に帯する噴霧距離の影響はない。      |

1) J. Sakabe, H. Uchida, *Adv. Powder Technol.*, **33**, 103413 (2022)  
 2) H. Uchida et al., *J. Supercrit. Fluids*, **105**, 128-135 (2015)

# RESS法による有機薄膜創製と薄膜トランジスタ性能

**超臨界溶体**  
(超臨界二酸化炭素 + 有機半導体材料)

急速膨張: 圧力と温度の急激な低下  
→ 二酸化炭素に対する有機半導体材料の溶解度の急激な低下

微細ノズル

有機半導体材料の分子クラスター形成

基板

結晶粒

RESS法による薄膜創製のプロセス:

- 1) 基板上での結晶の核化・成長 → 基板上での結晶粒の形成
- 2) 結晶粒の成長による薄膜形成

RESS法による薄膜創製のプロセス図

◆ RESS法により種々の有機半導体材料の薄膜創製(製膜)に成功!

◆ テトラセン, TIPSペンタセン及びPh-BTBT-10で薄膜トランジスタを創製し, 電気的特性を評価

⇒ 本法で作製した薄膜がp型トランジスタとして作動することを確認

キャリア移動度(デバイスとしての性能指標)の測定

$\mu = 5.1 \times 10^{-4} \sim 8.2 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$

⇒ 実用化の目安:  $\mu = 1.0 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ を超えている!

RESS法による創製した薄膜のSEM写真

Antracene, Tetracene, Rubrene, TIPS-pentacene, Ph-BTBT-10, Ph-BTBT-10 SPM image, Transistor

作製した有機薄膜トランジスタ

キャリア移動度: 電子(または正孔)の移動のしやすさ 13

# PGSS法によるエマルジョン微粒化技術

超臨界CO<sub>2</sub>を利用した急速膨張(PGSS)法の利用

「超臨界CO<sub>2</sub>利用アトマイゼーション(PGSS)技術」

微細ノズルを通る際の剪断力

CO<sub>2</sub>の膨張によるバースト(破裂)効果

超臨界CO<sub>2</sub>の分散相への高い溶解性と拡散性を利用

超臨界アトマイゼーション法の概念図

エマルジョン分散相

二酸化炭素分子

噴霧の際の剪断力

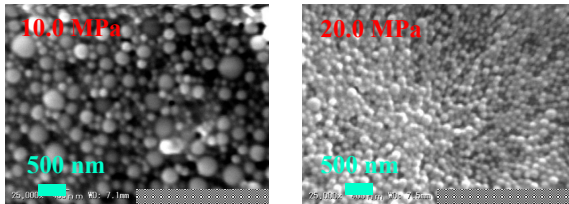
二酸化炭素の膨張に伴うバースト(破裂)効果

⇒ 2つの複合作用による微細粒子の創製!

# PGSS法によるエマルジョン微粒化

—樹脂エマルジョンの微粒化結果1)—

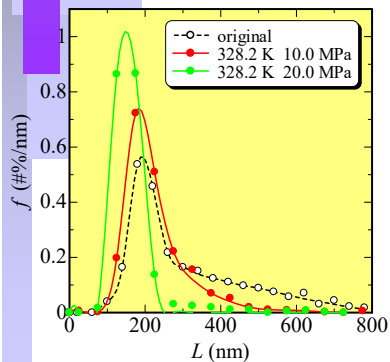
平衡温度: 328.2 K  
膨張前温度: 328.2 K  
ノズル温度: 328.2 K



| 圧力 [MPa]  | 微粒化前 | 10.0 | 20.0 |
|-----------|------|------|------|
| 平均粒径 [nm] | 296  | 209  | 142  |
| CV値 [%]   | 58.9 | 68.6 | 47.0 |

- PGSS法により, 樹脂エマルジョンの微粒化が可能.
- 高压で微粒化効果が高く, 特に20.0 MPaの場合に最も微粒化効果が高い.

1) 内田ら, 高分子エマルジョンに含まれる高分子粒子の破砕方法, 特開2009-214064 (2009)

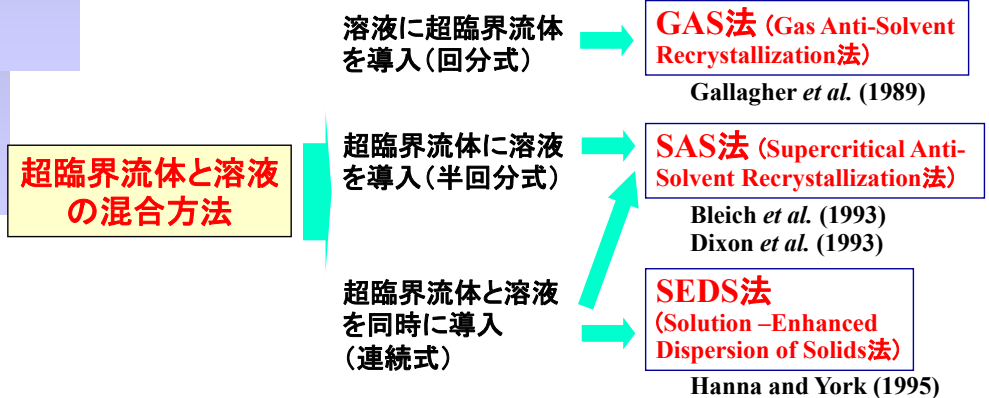


樹脂エマルジョンの粒径分布

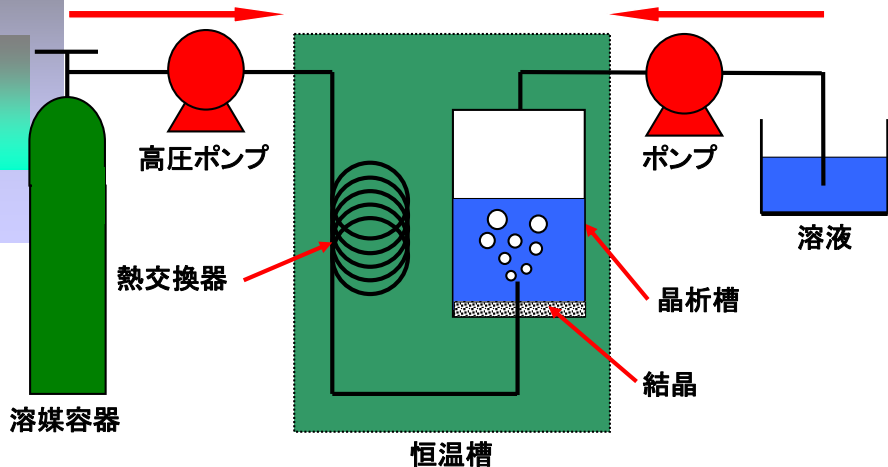
# 貧溶媒添加晶析法とは

溶質が不溶な溶媒(貧溶媒)である亜臨界または超臨界流体と溶液を混合することにより相平衡を変化させ, 結晶化を誘発させる手法

貧溶媒添加法



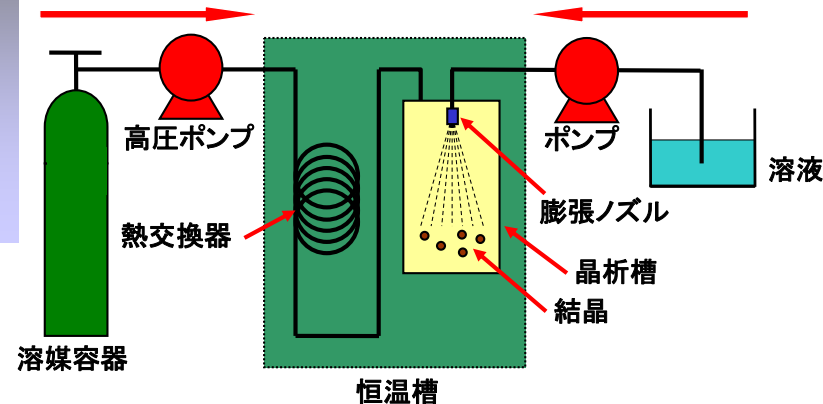
# Gas Anti-Solvent Recrystallization (GAS)法



Gallagher et al., "Supercritical Fluid Science and Technology", p.334, ACS (1989)

内田博久, 躍進する超臨界流体技術, コロナ社, pp.91-115 (2014) 17

# Supercritical Anti-Solvent Recrystallization (SAS)法



## Aerosol Solvent Extraction System (ASES)

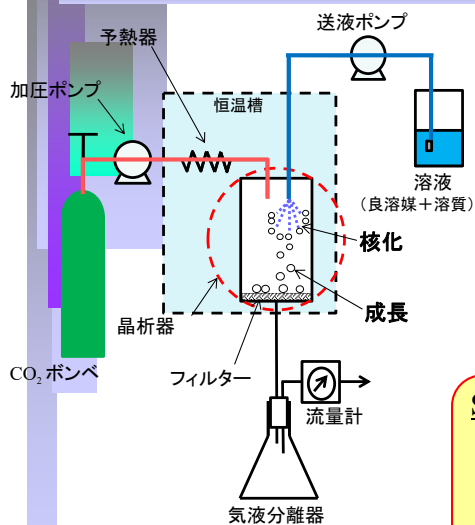
Bleich et al., *Int. J. Pharm.*, 97, 111 (1993)

## Precipitation with Compressed Fluid Antisolvent (PCA)

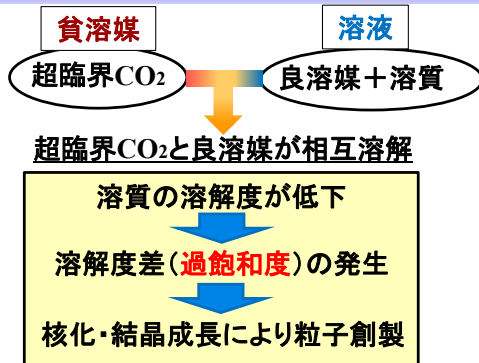
Dixon et al., *AIChE J.*, 39, 127 (1993)

内田博久, 躍進する超臨界流体技術, コロナ社, pp.91-115 (2014) 18

# 超臨界貧溶媒添加晶析(SAS)法の特徴



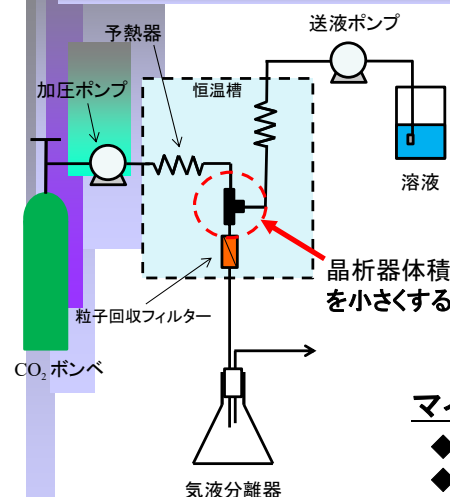
従来のSAS法の装置概略図



**SAS法で微粒子を創製する際に重要な点:**  
超臨界流体と溶液の良好・均一・迅速な混合  
→ 超臨界流体と溶液の混合を微細空間で実施することが有効

SAS法へのマイクロデバイスの導入! 19

# SAS法へのマイクロデバイスの導入



マイクロデバイスを用いたSAS法の装置概略図

## マイクロ空間での晶析

超臨界CO<sub>2</sub>と溶液が迅速かつ均一に相互溶解する。

短時間で過飽和度が付与され、過飽和度の分布が均一になるため迅速に核化が進行する。

結晶成長に使われる過飽和度が小さく成長を抑制することができる。

## マイクロデバイスの利点

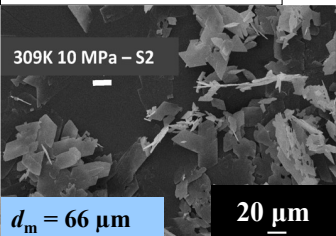
- ◆ 流れ場の状態を層流から乱流に制御可能
- ◆ 超臨界CO<sub>2</sub>と溶液の混合が迅速かつ均一
- ◆ 伝熱速度と物質移動速度が速い
- ◆ 滞留時間が非常に短い
- ◆ デバイスの温度制御が容易かつ低エネルギー消費
- ◆ ナンピングアップによる生産量の増大が容易

# 従来のSAS法とSAS-MD法の比較

—テオフィリンの微粒化の例—

## 従来のSAS法<sup>1)</sup>

晶析場体積: 490 mL



溶質: テオフィリン  
 貧溶媒: 超臨界CO<sub>2</sub>  
 良溶媒: エタノール-ジクロロメタンの混合溶媒  
 (体積比1:1)

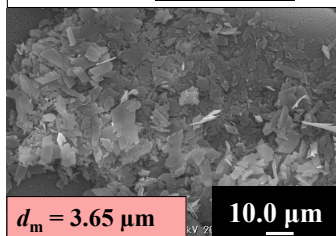
晶析場圧力 10.0 MPa  
 晶析場温度 36.0 °C  
 貧溶媒流速 67 mL min<sup>-1</sup>  
 溶液流速 3.0 mL min<sup>-1</sup>  
 溶液濃度 25.0 mg mL<sup>-1</sup>

**マイクロ空間でのSAS法の有用性が確認!!**

1) C. Roy et al., *J. Supercrit. Fluids*, **57**, 267–277 (2011) 21

## 本研究

晶析場体積: 3.1 × 10<sup>-4</sup> mL



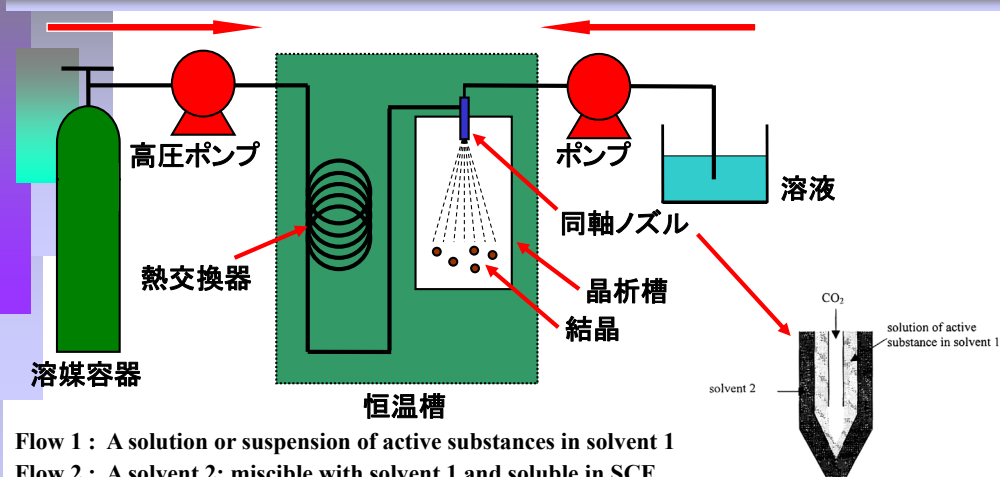
レイノルズ数(Re [-]): 6100(乱流)

晶析場圧力 10.0 MPa  
 晶析場温度 35.0 °C  
 貧溶媒流速 3100 mL min<sup>-1</sup>  
 溶液流速 3.0 mL min<sup>-1</sup>  
 溶液濃度 25.0 mg mL<sup>-1</sup>

マイクロデバイス化

1/18程度小さい  
 粒子が創製可能

# Solution-Enhanced Dispersion of Solids (SEDS) 法



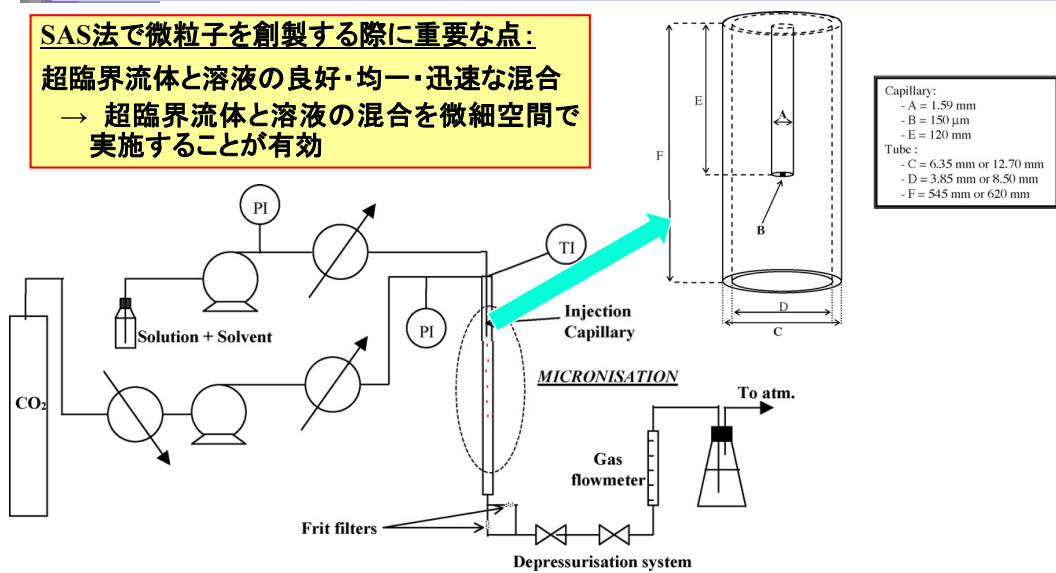
Flow 1: A solution or suspension of active substances in solvent 1  
 Flow 2: A solvent 2: miscible with solvent 1 and soluble in SCF  
 Flow 3: A supercritical fluid

Hanna and York, U.S. Patent 5851453 (1998);  
 Bradford Particle Design社 (現 Nektar Therapeutics (<http://www.nektar.com>))

内田博久, 躍進する超臨界流体技術, コロナ社, pp.91–115 (2014) 22

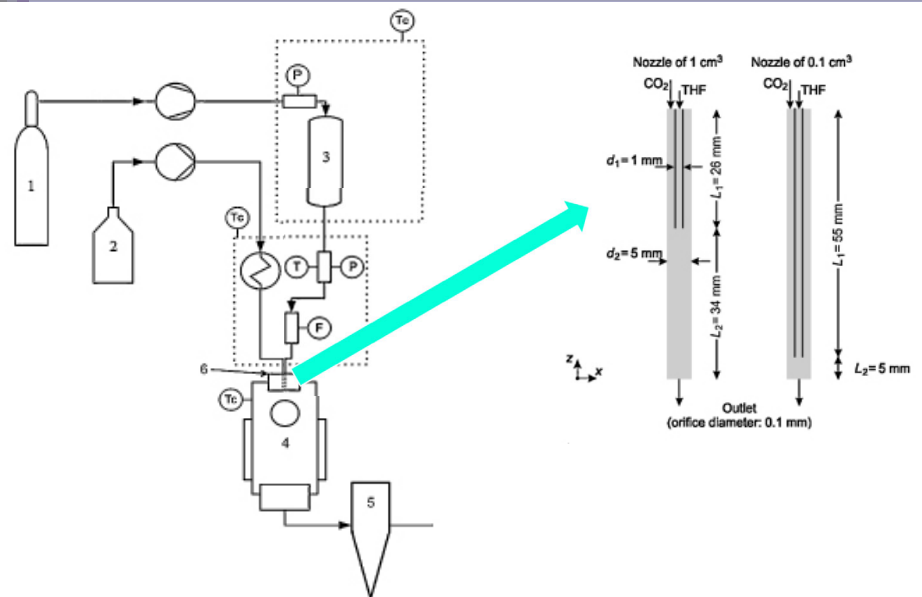
# SAS-CTAR (Supercritical Antisolvent Precipitation in the Concentric Tube Antisolvent Reactor) 法

SAS法で微粒子を創製する際に重要な点:  
 超臨界流体と溶液の良好・均一・迅速な混合  
 → 超臨界流体と溶液の混合を微細空間で実施することが有効



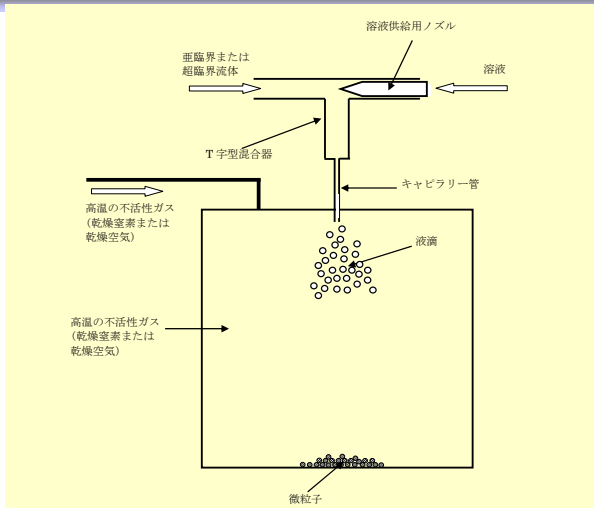
B. Boutin et al., *J. Supercrit. Fluids*, **40**, 443–451 (2007)

# ASAIS (Atomization of Supercritical Antisolvent Induced Suspensions) 法



M.A. Rodrigues et al., *J. Supercrit. Fluids*, **58**, 303–312 (2011)

# 超臨界CO<sub>2</sub>利用微細化法



**CAN-BD (Carbon Dioxide-Assisted Nebulization with a Bubble Dryer) 法:**

R.E. Sievers et al., *Pure Appl. Chem.*, **73**, 1299-1303 (2001)

**SAA (Supercritical Assisted Atomization) 法:**

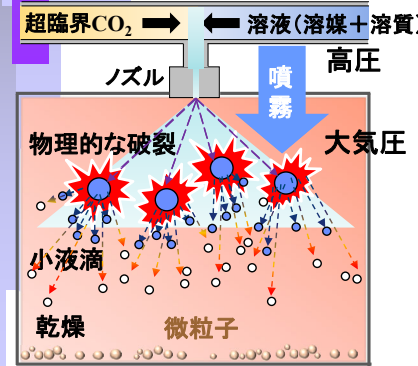
E. Reverchon, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **41**, 2405-2411 (2002) 25

# 超臨界CO<sub>2</sub>利用噴霧乾燥法による微粒子創製

## Supercritical Assisted Atomization with Spray Drying (SAA-SD)

...SAA法と噴霧乾燥(SD)法を組み合わせた手法

超臨界CO<sub>2</sub>を溶媒(もしくは溶質)中に溶解させることで、噴霧液滴を内部から微細液滴を破碎し、熱風中で急速に乾燥させることで微粒子を創製する方法

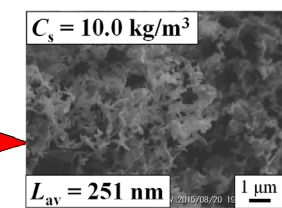
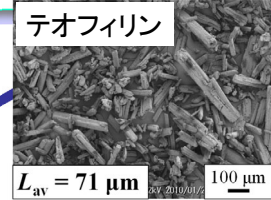
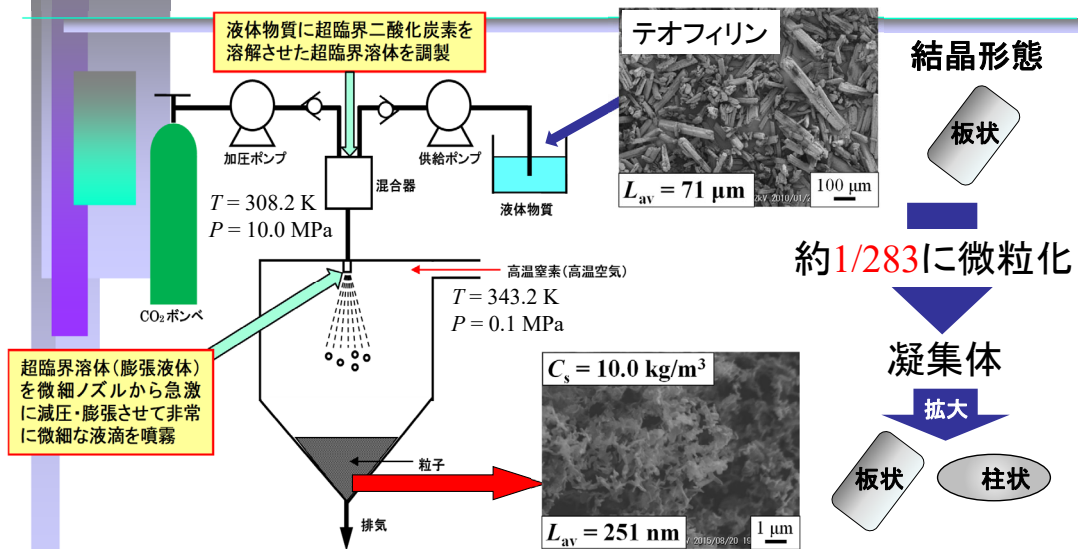


### SAA-SD法による微粒子創製原理

- ① 超臨界CO<sub>2</sub>と溶液を混合・溶解し、高圧溶体(膨張液体)を調製
- ② 膨張液体を微細ノズルから液滴として噴霧
- ③ 膨張液体中の超臨界CO<sub>2</sub>が急激に膨張
- ④ CO<sub>2</sub>膨張に伴う物理的な破裂効果により液滴がナノレベルに微細化
- ⑤ 生成された微細液滴は急速乾燥(溶媒分離)
- ⑥ ナノレベルの微粒子創製

# SAA-SD法による微粒子創製

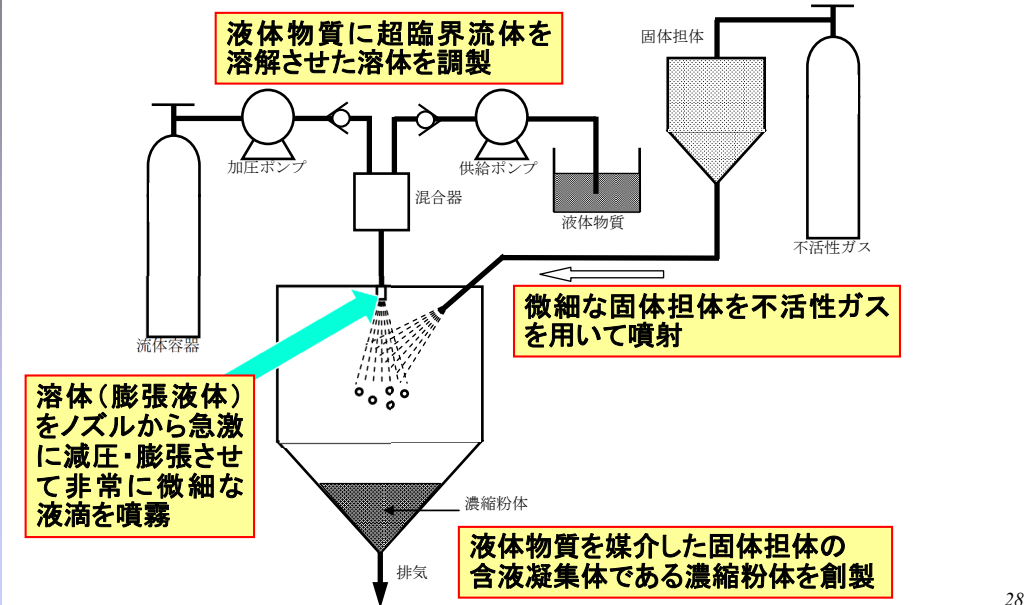
液体物質に超臨界二酸化炭素を溶解させた超臨界溶体を調製



**粒径が約250 nm程度のナノ粒子創製に成功**

1) K. Watanabe, H. Uchida, *Int. J. Eng. Sci.*, **8**(1), 16-21 (2019) 27

# 濃縮粉体製造 (Concentrated Powder Form: CPF) 法



溶体(膨張液体)をノズルから急激に減圧・膨張させて非常に微細な液滴を噴霧

液体物質を媒介した固体担体の含液凝集体である濃縮粉体を創製

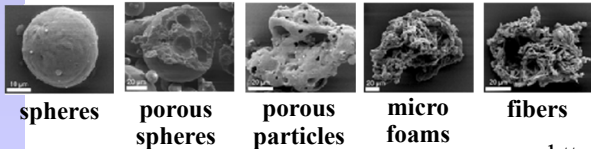
# 濃縮粉体製造 (Concentrated Powder Form: CPF) 法 金沢大学 KANAZAWA の工業プラント (Natex社製)



PGSS™/CPF™ plant  
Food industry (Germany)  
40/80 kg/h, up to 35 MPa



PGSS™/CPF™ plant  
Fraunhofer Institute UMSICHT  
(Germany)  
150/300 kg/h, up to 35 MPa



spheres porous spheres porous particles micro foams fibers

<http://www.natex.at/cpfpgssplants.html> 29

# 超臨界溶体緩速膨張 (SESS) 法による微粒子創製 —化粧品 nano 粒子創製—

## 花王「ソフィーナ ファインフィット (FINE-FIT)」

ナノレベルの薄膜を作製する超臨界流体活用の新技術を生かし  
光制御で美しい素肌感を再現する複合粉体を開発

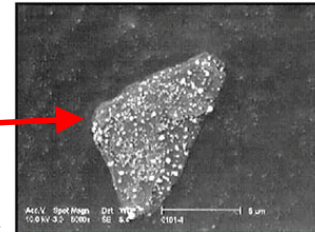
肌の色ムラや毛穴の目立ちに対するカバー力がありながら  
素肌っぽくきれいに仕上がるという女性のニーズ

美しい素肌が持つ光学特性を  
再現できる複合粉体の開発

→ 超臨界晶析技術

肌色を発色する顔料微粒子を板状粉体に分散させた後、  
その表面を肌なじみの良い柔らかいポリマーの  
ナノ薄膜で均一にコーティングした構造

超臨界CO<sub>2</sub>にポリマーを溶かし、その中に顔料微粒子  
と板状粉体を加え、粉体表面に厚さ1~10 nmの均一な  
薄膜を作るもの

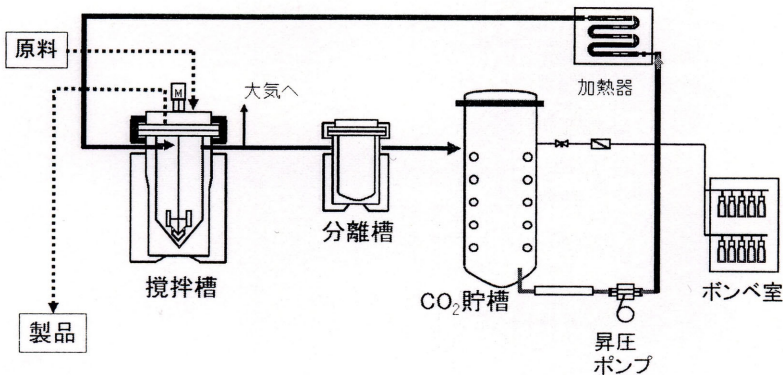


板状粉体上に顔料微粒子を均一に分散させた  
複合粉体表面を厚さ1~10ナノメートルの薄膜で  
コーティングしました。

化学工学会編:「最近の化学工学58 超臨界流体技術の実用化最前線」(2007)より

30

# SESS 法によるファンデーション製造装置 金沢大学 KANAZAWA



花王(株)の  
和歌山工場  
で稼働  
(2002年~)

## 製造工程

- ① 粉体, 高分子・顔料の仕込み
- ② 昇圧・昇温
- ③ 攪拌混合
- ④ 減圧
- ⑤ 製品抜き出し

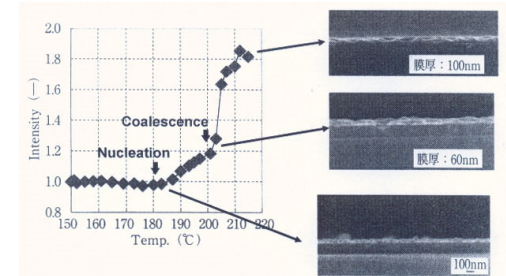
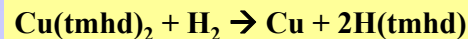
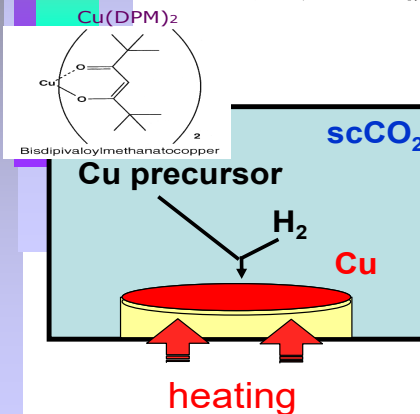
→ 粉体の凝集がないため粉碎工程が必要ない

化学工学会編:「最近の化学工学58 超臨界流体技術の実用化最前線」(2007)より

31

# 超臨界流体堆積 (SCFD) 法 金沢大学 KANAZAWA

薄膜原料を溶解させた超臨界CO<sub>2</sub>に基材に接触させ、必要に  
応じて酸化剤, 還元剤を加えて基材を加熱することで基材上で  
反応を生じさせ薄膜を堆積させる方法



Cu-SCFD 製膜表面の反射光強度変化と各段階での断面 SEM 写真  
測定波長: 770nm, Cu 原料: Cu(tmhd)<sub>2</sub>

霜垣幸浩ら, 機能材料, 27(1), 58-65 (2007)

典型的な製膜条件:

CO<sub>2</sub> (14 MPa) + H<sub>2</sub> (1 MPa), 200°C

32



# 超臨界流体堆積(SCFD)法の特徴

- (1) 超臨界CO<sub>2</sub>が有するナノレベル浸透性を利用して、**高アスペクト比構造内や微細孔内に物質を被覆・充填可能(良好な段差被覆性)**である。
- (2) 超臨界CO<sub>2</sub>の溶媒特性や補助溶媒効果により、**低い温度で堆積可能**であり、**不純物混入も少ない**利点がある。
- (3) **原料自由度が大きい**。例えば、固体有機金属や多成分系などのCVDは好まれない原料も利用可能である。
- (4) 原料濃度が従来の薄膜形成法と比較して、**10<sup>4</sup>~10<sup>6</sup>倍程度**ある。微細構造内に原料を供給できるだけでなく、**反応速度の向上が期待できる**。従って、MEMSなど高アスペクト・複雑形状のマイクロ・ナノ部品を高速に作製できる可能性がある。
- (5) 真空やプラズマを用いず、また**原料を回収・再利用可能**であり、**CO<sub>2</sub>の回収・再利用も簡単にできる**ため、**低コストなプロセス**となる。

# 超臨界流体堆積(SCFD)法の装置・応用例

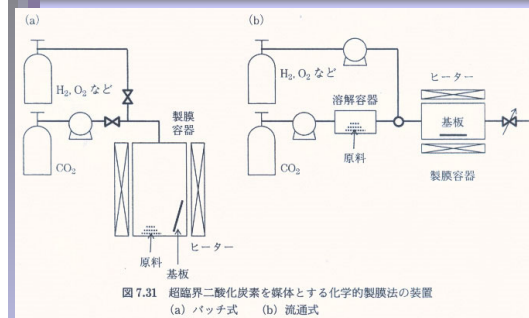


図 7.31 超臨界二酸化炭素を媒体とする化学的製膜法の装置 (a) バッチ式 (b) 流通式

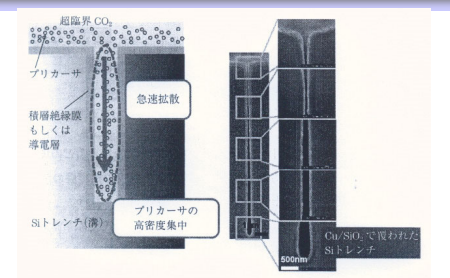
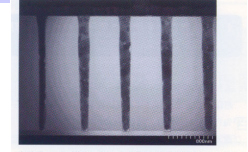


図 2.11 超臨界を用いたピナ内壁成膜技術(東京大学杉山研究室)

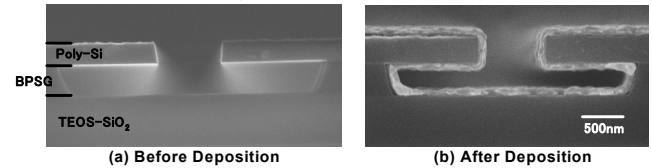
化学工学学会超臨界流体部会編:「超臨界流体入門」, p.185, 丸善 (2008)

近藤英一 編:「半導体・MEMSのための超臨界流体」, p.62, コロナ社 (2012)



超臨界CO<sub>2</sub>を媒体とするCu(dibm)<sub>2</sub>の水素還元による微細孔の完全な埋込み(断面透過電顕像)。シリコン基板に形成した開口幅150nm、アスペクト比11の微細孔内部にCuが隙間なく埋め込まれている。

MEMS屈曲貫通孔内を均一にCu被膜した例



(a) Before Deposition (b) After Deposition  
T. Uejima, et. al., Proc. Advanced Metallization Conference, p.253 (2007)

杉山正和ら, 化学工学, 71, 500-503 (2007)

# 超臨界CO<sub>2</sub>を利用した材料創製技術の現状と今後の展望

- ◆ 最近の超臨界CO<sub>2</sub>を利用した技術に関する研究報告では、50%近くが微粒化・新規材料創製の研究である。
- ◆ 新しい晶析技術の提案よりも、現在提案されている技術の改良(特に装置的な改良: 例えばノズル形状, 超臨界CO<sub>2</sub>と溶液の混合方法の改良, マイクロ空間利用など)が多い。
- ◆ 現在提案されている微粒化法(RESS法, SAS法, SAA法など)の特性解明に関する研究が少ない。
- ◆ 装置規模が小さく、超臨界CO<sub>2</sub>と対象物質を連続的に供給可能であり、大気圧下で結晶(微粒子等)を連続的に創製及び回収可能なSAA法やその改良法の研究が多い。
- ◆ 対象物が多岐にわたっている(食品, 医薬品, 染料・塗料, 化粧品, 電子材料, 医療関連物などへの応用)。

# 超臨界CO<sub>2</sub>を利用した材料創製技術の現状と今後の展望

- 超臨界CO<sub>2</sub>を利用した晶析技術** → **大きな可能性!**  
 新しい技術であり、実用化例は少ない(花王は実用化済)
- 超臨界CO<sub>2</sub>を利用した晶析技術の大きな問題点**
- ◆ 超臨界CO<sub>2</sub>+対象系の相平衡(溶解度・気液固三相平衡)の不足
  - ◆ 超臨界CO<sub>2</sub>が関与した場における結晶化現象が未解明
  - ◆ 超臨界CO<sub>2</sub>のみで材料創製可能であるRESS法は、超臨界CO<sub>2</sub>に溶解する物質のみが対象であり、用途が限定的
  - ◆ 適用可能な系が多い(有機化合物, 無機化合物, 高分子等)技術であるSAS法は、結晶回収方法が回分式であることが問題
  - ◆ 装置のスケールアップや連続操作が課題 → 改良法の提案  
⇒ SAA法や改良SAA法の可能性!
- 超臨界CO<sub>2</sub>を利用した晶析技術について適した系・技術の探索・検討が必要不可欠!**

# 超臨界CO<sub>2</sub>利用のストラテジー

## 有機溶媒類似の特性

- 地球環境への負荷小
- 高い安全性
- 溶媒除去工程の省略可

## 温度、圧力による溶媒特性の制御

- 溶解度の制御
- 高過飽和度付与可能
- プロセスの単純化

## 溶媒和の影響小

- 反応速度増大
- 有機物の導入

## 高拡散性・低粘性

- 多孔質体への拡散
- 溶液との混合性向上
- 材料創製時間の短縮

## 気液界面の消失

- 収縮の抑制
- 均一材料創製場の生成
- ナノ・マイクロ空間への応用

## 液体の代替溶媒 (平衡, 定常, 長時間, 大型)

既存の手法でできることを代替する代替溶媒プロセスの開発

+

## 特異的特性の積極的な利用 (非平衡, 非定常, 短時間, マイクロ化)

既存の手法では困難なこと, または問題が生じるプロセスの構築

### 応用

- ◆ 食品・薬物分野
- ◆ MEMS分野
- ◆ 医療・介護分野

# 材料創製に対する超臨界CO<sub>2</sub>利用の これまでと今後のストラテジー

## これまでの超臨界CO<sub>2</sub>の利用戦略

→ 液体の代替溶媒としての利用

平衡(長時間操作), 定常, スケールアップ可能(大型空間利用)

Good Solvents: **RESS**, RESS-SC, SESS

Non- or Anti-solvents: GAS, SAS

## 現在及びこれからの超臨界CO<sub>2</sub>の利用戦略

→ 非平衡(短時間操作), 非定常, 微細(マイクロ)空間利用, ナンバリングアップ利用, 既存の系(システム)の特性変化

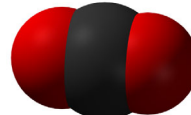
Non- or Anti-solvents: **SAS-MD**, SEDS, SFEE (Supercritical extraction of emulsions), SAS-CTAR (Supercritical Precipitation in the Concentric Tube Antisolvent Reactor) ASAIS (Atomization of Supercritical Antisolvent Induced Suspensions)

A solute or Dispersed phases: **SAA**, PGSS

Change of system characteristics (CO<sub>2</sub> switchable system: **CSS**)

# 「超臨界CO<sub>2</sub>」を利用したモノづくりの意義

## 化学産業から排出される「CO<sub>2</sub>」



CO<sub>2</sub>分子

## 温室効果ガスとして問題視

Carbon dioxide Capture and Storage (CCS) 技術の発展と問題点の顕在化 → 「貯留」の問題化

## 溶媒として「CO<sub>2</sub>」を利用 ⇒ 「超臨界CO<sub>2</sub>」

→ CO<sub>2</sub>を利用した機能性材料創製技術の開発

地球温暖化を始めとする環境問題, ひいては人類の持続的発展を可能にする技術になることを実現!



Kanazawa Station



Thank you for your  
kind attention!

Prof. Hirohisa UCHIDA, Ph.D.

Faculty of Frontier Engineering, Institute of Science and Engineering,  
Kanazawa University

Kakuma-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa, 920-1192 JAPAN

TEL: (81)-76-234-4820 FAX: (81)-76-234-4829

E-mail: uchida@se.kanazawa-u.ac.jp

Higashi Chaya District