

令和 3 年 6 月 20 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06898

研究課題名（和文）高温超臨界二酸化炭素中における金属錯体の拡散係数の測定と推算

研究課題名（英文）Measurement and prediction of diffusion coefficients of metallic complexes in supercritical carbon dioxide at high temperatures

研究代表者

船造 俊孝（Funazukuri, Toshitaka）

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：60165454

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）： CIR法を用い、各種金属錯体の拡散係数を100～150 °Cの高温域のscCO<sub>2</sub>中で測定した。高温域においても、liquid-likeの密度域では低温域と同様に拡散係数を流体力学相関式でよく相関できたが、高温域のgas-likeの密度域では、流体力学相関式から大きく外れ、低密度になるほど偏差は大きくなった。この領域では既往の相関式の推算精度は低く、新たな推算モデルの開発が必要であることがわかった。輸送物性である拡散係数と粘度は相似性があり、推算式中に粘度を必要とする場合が多いので、高圧CO<sub>2</sub>+有機溶媒系の粘度の推算について、Eyringのモデルを基に推算法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超臨界流体を含む高圧流体、特に高温超臨界流体中の拡散係数は、装置設計や化学プロセスの最適化のためには不可欠な物性値であるが、その測定データや推算方法は、超臨界流体抽出プロセスの設計を念頭に置かれて測定されたもので、いずれも低温条件下に限られている。近年、超臨界流体堆積（SFD）法が新規な乾式のメッキ法として注目され、さかんに研究されているが、そのプロセス設計や最適化のために必要な高温超臨界流体中の拡散係数データはほとんど報告されていない。本研究は、高温超臨界流体中の拡散係数の測定データの蓄積を目的としたもので、既往の測定条件の空白を埋めるもので、学術的にも重要である。

研究成果の概要（英文）： Using the CIR method, the diffusion coefficients of various metal complexes were measured in scCO<sub>2</sub> in a high temperature range of 100 to 150 °C. Even in the high temperature region, the diffusion coefficient could be well correlated by the hydrodynamic correlation equation in the liquid-like density region as seen in the low temperature region, but in the gas-like density region as seen in the high temperature region, it deviated greatly from the hydrodynamic equation. The lower the density, the larger the deviation. In this area, the estimation accuracy of the existing correlation equation is low, and it was found that the development of a new estimation model is necessary.

Since diffusion coefficient and viscosity, which are transport physical properties, are similar and often viscosity is involved in the estimation equation, we proposed an estimation method based on the Eyring model for estimating the viscosity of the high-pressure CO<sub>2</sub> + organic solvent system.

研究分野：高圧下における輸送物性

キーワード：拡散係数 超臨界流体 測定

### 1. 研究開始当初の背景

金属錯体を超臨界流体に溶解させて、ナノ構造をもつ基板まで運び、基板付近で熱分解させて金属を堆積させる超臨界流体堆積(SFD)法が半導体や微細電子材料の製作に高温超臨界流体が金属の輸送+反応媒体として有効であると注目されている。そして、金属錯体の超臨界流体中の拡散係数が反応条件の最適化や装置設計に重要な物性値となっている。

輸送物性の一つである拡散係数は溶解度などの平衡物性と同じく、プロセス設計やその最適化には重要な物性値である。超臨界流体中における各種化合物の拡散係数の測定値はかなり蓄積されてきたが、測定されている温度・圧力範囲は狭かった。報告されている金属錯体の拡散係数について測定データは少なく、高温域における SFD 法の条件における精度の高い測定データはなかった。また、高压混合流体の粘度は拡散係数と相似性があり、また拡散係数推算式にも粘度が必要であるが、既往の推算式は十分ではなかった。

### 2. 研究の目的

超臨界流体堆積法によるナノ・マイクロ構造体への金属原子埋め込み・コーティングプロセスにおいて、装置設計に不可欠であるがこれまで有効な測定データのない高温超臨界流体中における金属錯体の拡散係数と保持因子の測定を行い、既往の拡散係数推算式の有効性の検討を目的とした。また、推算式の確立に必要な、高压混合流体の粘度の新規推算式の開発も併せて目的とした。

### 3. 研究の方法

高温超臨界二酸化炭素中の金属錯体の拡散係数測定は筆者らの研究グループが開発した CIR (Chromatographic Impulse Response) 法を用い、有機溶媒中の拡散係数の測定は Taylor 法を用いた。研究は以下の3項目、(1)高温測定用の装置改良と測定装置の健全性の確認、(2)法による高温超臨界二酸化炭素中の各種金属錯体の拡散係数測定、(3)Taylor 法による有機溶媒中の各種金属錯体の拡散係数測定を行った。

### 4. 研究成果

#### 4 - 1) 装置健全性の検討

図1に scCO<sub>2</sub> と液体 ethanol 中の溶質 ibuprofen の相互拡散係数  $D_{12}$  と溶媒粘度  $\eta$  とのプロットを示す。これまでの種々の溶質に対してと同様に、ibuprofen についても scCO<sub>2</sub> から液体 ethanol までの広範囲な粘度領域で  $D_{12}/T$  vs. 溶媒粘度のプロットが対数グラフで直線になることが分かった。また、超臨界域において、装置改良前と改良後とで測定値に差がないことがわかり、改良後の装置の健全性が確認された。

図2は acetylferrocene(ACFc)について CIR 法で用いたポリマーを内壁にコーティングした拡散カラムの長さの違いによるフィッティング誤差 についての圧力依存性を示す。他の金属錯体とは異なり、ACFc と diacetylferrocene (DACFc) については 16.1m の長さの拡散カラムでは試料溶液の溶媒(acetone)と金属錯体の分離が十分では

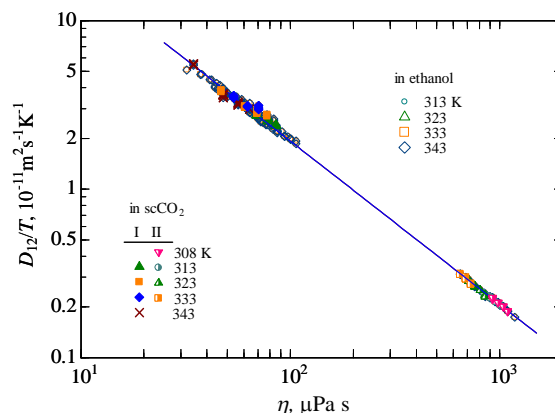


図1. scCO<sub>2</sub> とエタノール中の ibuprofen の相互拡散係数。I: 装置改良後、II: 装置改良前。In scCO<sub>2</sub>: CIR, in ethanol: Taylor 法

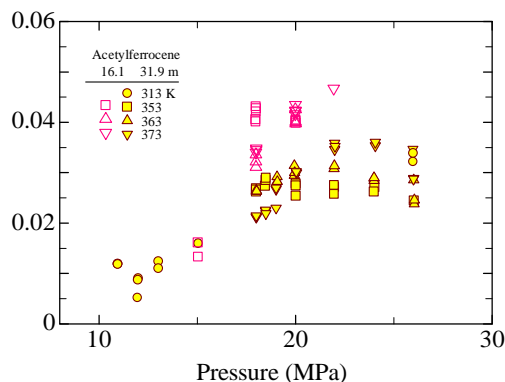


図2. 拡散カラムの長さの違いによる測定精度の差異

なく、 $\varepsilon$  が大きいいため、カラム 2 本を直列に繋ぎ、拡散カラムとした。保持因子は圧力の増加とともに減少するので、acetone 溶媒との保持時間の差が小さくなり、ピークの分離が悪くなる。それに伴って  $\varepsilon$  は圧力の増加とともに増大した。長い拡散カラムを用いると圧力の増加とともに  $\varepsilon$  は増加するが  $\varepsilon < 0.04$  であり、ほぼ精度良く測定できた。DACFc の場合は ACFc と同様な圧力依存性を示したが、 $\varepsilon < 0.02$  であり、より測定精度が高かった。

#### 4 - 2 ) 金属錯体についての測定結果

図 3 に ACFc と DACFc の  $D_{12}$  測定値の不確かさの圧力依存性を示す。ACFc の方が DACFc に比べて多少値のばらつきが大きいですが、ほとんどの値は 10% 以下であり、また、すべての温度において圧力依存性は認められない。

図 4 に ACFc と DACFc についての  $scCO_2$  中の拡散係数の密度依存性を示す。測定温度 40 ~ 100°C において、密度に対して拡散係数をプロットすると、温度依存性が見られず、ほぼ同一の曲線で表される。これまで測定した種々の化合物について、全く温度依存性が見られない物質と、温度依存性がある物質があるが、その原因については不明である。

図 5 は  $scCO_2$  中と液体溶媒中の DACFc の拡散係数を溶媒粘度でプロットしたもので、超臨界条件から液体有機溶媒まで広範囲な溶媒粘度範囲において、Eq(1) で表されるように、両対数プロットで直線で近似できる。

$$D_{12}/T = \alpha \eta^\beta \quad (1)$$

ここで  $D_{12}$  は拡散係数  $m^2/s$ 、 $T$  は温度 K、 $\eta$  は溶媒粘度 Pa s である。両錯体について決定した定数  $\alpha$  と  $\beta$  の値と、AARD 値(平均相対絶対誤差)を表 1 に示す。

表 1 Eq.(1)の  $\alpha$ ,  $\beta$ , AARD の値

	Acetylferrocene	1,1'-Diacetylferrocene
$\alpha$	$3.1109072 \times 10^{-15}$	$2.0456487 \times 10^{-15}$
$\beta$	-0.9490138	-0.9905469
NDP	86	90
AARD%	4.47	3.30

低粘度領域でわずかに直線より上にデータが外れるが、これは、超臨界条件下における gas-like の条件のため、相関式から外れたものと考えられる。この傾向は  $Cr(acac)_3$  でも見られた。 $Cr(acac)_3$  および  $Pt(acac)_2$  について 150 , 25 MPa まで測定を行い、両金属錯体とも liquid-like 領域では流体力相関式でよく相関できたが、gas-like 領域では相関式より外れて、低粘度(低密度)になるほど、その偏差は大きくなった。 $Cr(acac)_3$  と  $Pt(acac)_2$  についての結果について、現在、論文発表準備中である。

図 6 は CIR 法により拡散係数と同時に決定される保持因子  $k$  の密度依存性を示す。 $k$  値は物性値ではなく、使用する拡散カラムの仕様と測定条件に依存する装置定数であるが、 $k$  より

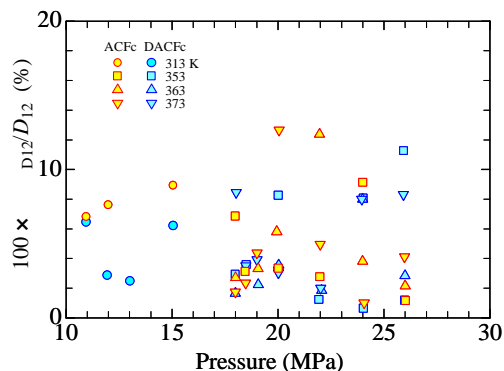


図 3 . ACFc と DACFc についての拡散係数測定値の不確かさの圧力依存性

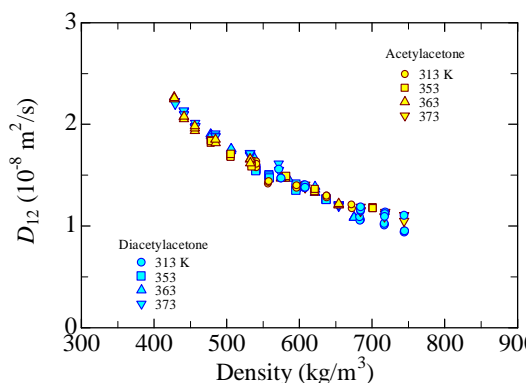


図 4 .  $scCO_2$  中における ACFc と DACFc の拡散係数の密度依存性

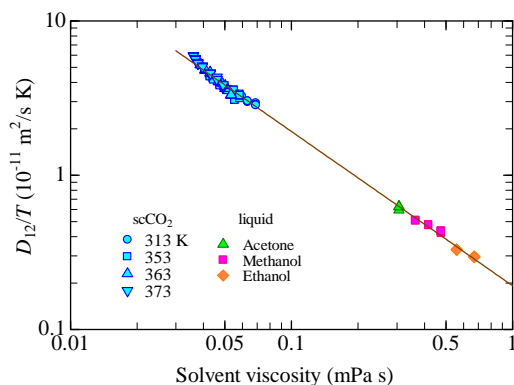


図 5 .  $scCO_2$  中の DACFc の拡散係数測定値についての流体力学相関式による相関

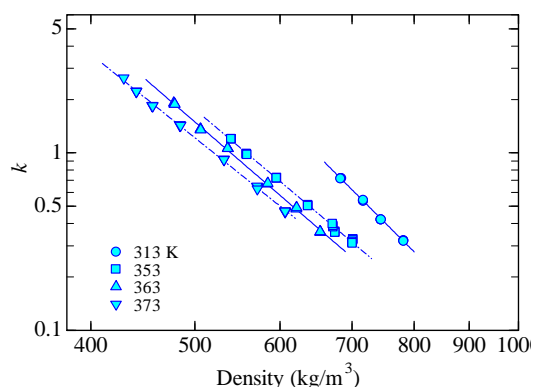


図 6 .  $scCO_2$  中の DACFc の保持因子  $k$  の密度依存性

溶質の溶解度や部分モル体積が求まるため、重要な値である。両錯体の  $k$  値は Eq(2) で精度よく表された。

$$\ln k = \left(\frac{A_1}{T} + A_2\right) \ln \rho + \left(\frac{A_3}{T} + A_4\right) \quad (2)$$

高圧混合流体の粘度の推算については、ガス膨張液体、多成分系混合流体、CO<sub>2</sub>+有機溶媒について推算方法を提案した。

表 2 Eq(2)に含まれる定数  $A_1 \sim A_4$  の値と AARD 値

	Acetylferrocene	1,1'-Diacetylferrocene
$A_1$	$-0.8707993 \times 10^3$	$-2.2101906 \times 10^3$
$A_2$	-1.5848126	1.0331167
$A_3$	$7.2959261 \times 10^3$	$16.3994241 \times 10^3$
$A_4$	4.1908303	-13.3771636
<i>NDP</i>	69	73
AARD%	2.52	1.81

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 H. Matsuda, K. Tochigi, K. Kurihara, T. Funazukuri, V. K. Rattan	4. 巻 492
2. 論文標題 Estimation of kinematic viscosities for multi-component systems using modified Eyring and activity coefficient model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fluid Phase Equilibria	6. 最初と最後の頁 137-144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fluid.2019.03.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Matsuda, K. Tochigi, K. Kurihara, T. Funazukuri, V. K. Rattan	4. 巻 117
2. 論文標題 Estimation of kinematic viscosities at high pressures for binary mixtures CO <sub>2</sub> + solvent using modified Eyring-Wilson and McAllister models	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Physics	6. 最初と最後の頁 3913-3921
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00268976.2019.1671618	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 C. Y. Kong, K. Sugiura, Kaito, T. Funazukuri, K. Miyake, I. Okajima, S. Badhulika, T. Sako	4. 巻 296
2. 論文標題 The retention factors and partial molar volumes of ibuprofen at infinite dilution in supercritical carbon dioxide at T= (308.15, 313.15, 323.15, 333.15, 343.15 and 353.15) K	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Molecular Liquids	6. 最初と最後の頁 111849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.molliq.2019.111849	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 C. Y. Kong, K. Sugiura, S. Natsume, J. Sakabe, T. Funazukuri, K. Miyake, I. Okajima, S. Badhulika, T. Sako	4. 巻 159
2. 論文標題 Measurements and correlation of diffusion coefficients of ibuprofen in both liquid and supercritical fluids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Supercritical Fluids	6. 最初と最後の頁 104776
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.supflu.2020.104776	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Matsuda, K. Kurihara, K. Tochigi, T. Funazukuri, V. K. Rattan	4. 巻 470
2. 論文標題 Estimation of kinematic viscosities for CO2 expanded liquids by ASOG-VISCO model.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fluid Phase Equilibria	6. 最初と最後の頁 188-192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fluid.2018.01.033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Toshitaka Funazukuri	4. 巻 134
2. 論文標題 Concerning the determination and predictive correlation of diffusion coefficients in supercritical fluids and their mixtures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Supercritical Fluids	6. 最初と最後の頁 28 ~ 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.supflu.2017.11.035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Okubo, C. Y. Kong, J. Sakabe, T. Funazukuri	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Measurements of infinite dilution binary diffusion coefficients of acetylferrocene and 1,1'-diacetylferrocene in supercritical carbon dioxide and in liquid organic solvents	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Supercritical Fluids	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.supflu.2021.105321	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 K. Tochigi, H. Matsuda, K. Kurihara, T. Funazukuri, V. K. Rattan
2. 発表標題 Correlation and prediction of kinematic viscosities for liquid mixtures using excess free energy model
3. 学会等名 APCChE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Onodera, J. Sakabe, T. Funazukuri, C. Y. Kong
2. 発表標題 Measurement and prediction of diffusion coefficients of phenol in mixture of carbon dioxide and methanol under high pressure condition by Taylor dispersion metho
3. 学会等名 APCCHE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Tochigi, H Mmatsuda, K. Kurihara, T. Tsuji, T. Funazukuri
2. 発表標題 Correlation and prediction of high-pressure kinematic viscosities for CO <sub>2</sub> + alkane liquid mixtures using modified Eyring + Gibbs free-energy models
3. 学会等名 APCCHE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野寺 庸大, 坂部 淳一, 船造 俊孝, 孔 昌一
2. 発表標題 Taylor法による高圧二酸化炭素+hexane混合流体中のbenzeneの拡散係数の測定と推算
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栃木 勝己, 松田 弘幸, 栗原 清文, 船造 俊孝, ラターン ブイケー
2. 発表標題 動粘度および熱伝導率のASOG-VLEパラメータによる推定
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂部淳一, 船造俊孝
2. 発表標題 量子化学計算から得られる分子体積を用いた相互拡散係数の推算法
3. 学会等名 化学工学会第85年会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 船造俊孝
2. 発表標題 高压流体の輸送物性の測定と推算
3. 学会等名 化学工学会第85年会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Funazukuri, M. Yamamoto, Y. Ohkubo, J. Sakabe, C. Y. Kong
2. 発表標題 Measurement and correlation of binary diffusion coefficients for metal complexes in high temperature supercritical carbon dioxide
3. 学会等名 12th International Symposium on Supercritical Fluids(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Sakabe, T. Funazukuri
2. 発表標題 Correlations for binary diffusion coefficients of solutes in supercritical fluids and liquids using hydrodynamic equation with molecular volume
3. 学会等名 12th International Symposium on Supercritical Fluids(国際学会)
4. 発表年 2018年



1 . 発表者名 R. Suzuki, J. Sakabe, T. Funazukuri, C. Y. Kong
2 . 発表標題 Measurement of diffusion coefficients of vitamin K3 in mixture of CO2 and methanol over an entire range of methanol at 313.2 K up to 30 MPa
3 . 学会等名 8th International Symposium on Molecular Thermodynamics and Molecular Simulation ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Yamamoto, J. Sakabe, T. Funazukuri, C. Y. Kong
2 . 発表標題 Measurement of binary diffusion coefficient for Cr(acac)3 in high temperature region of supercritical carbon dioxide
3 . 学会等名 8th International Symposium on Molecular Thermodynamics and Molecular Simulation ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Matsuda, K. Kurihara, T. Funazukuri, V. K. Rattan
2 . 発表標題 Prediction of kinematic viscosities for ternary aqueous systems using modified Eyring and activity coefficient models
3 . 学会等名 8th International Symposium on Molecular Thermodynamics and Molecular Simulation ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Matsuda, K. Tochigi, K. Kurihara, T. Funazukuri, V. K. Rattan
2 . 発表標題 Prediction of kinematic viscosities for ternary systems from binary data using Mcallister equation
3 . 学会等名 8th International Symposium on Molecular Thermodynamics and Molecular Simulation ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 小野寺 庸大、坂部 淳一、船造 俊孝、孔 昌一
2. 発表標題 高圧CO <sub>2</sub> +Methanol混合流体中でのPhenolの無限希釈拡散係数の測定
3. 学会等名 化学工学会第50季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野寺 庸大、坂部 淳一、船造 俊孝、孔 昌一
2. 発表標題 Taylor法による高圧二酸化炭素+Methanol混合流体中でのPhenolの拡散係数の測定と推算
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 栃木 勝己、松田 弘幸、栗原 清文、船造 俊孝、V. K. Rattan
2. 発表標題 過剰自由エネルギーモデルによる輸送物性の相関と推算 動粘度、熱伝導率
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本稔、坂部淳一、田口実、船造俊孝、孔昌一
2. 発表標題 CIR法を用いたscCO <sub>2</sub> 中の高温領域におけるCr(acac) <sub>3</sub> の拡散係数の測定
3. 学会等名 分離技術会年会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂部淳一、船造俊孝
2. 発表標題 量子化学計算を利用した状態方程式による平衡物性推算
3. 学会等名 分離技術会年会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Yamamoto, J. Sakabe, M. Taguchi, T. Funazukuri, C. Y. Kong
2. 発表標題 Estimation of solubilities of Cr(acac) <sub>3</sub> in supercritical carbon dioxide by supercritical fluid chromatography
3. 学会等名 SFC Asia 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Fuazukuri
2. 発表標題 Prediction of retention factors for chiral compounds by correlation with density in supercritical fluid chromatography
3. 学会等名 SFC Asia 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 稔、田口 実、坂部 淳一、船造 俊孝、孔 昌一
2. 発表標題 クロマトグラフィックインパルス応答法で測定される高温scCO <sub>2</sub> 中でのCr(acac) <sub>3</sub> の拡散係数の有効性検討
3. 学会等名 化学工学会第49回秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 船造 俊孝、山本 稔、坂部 淳一、孔 昌一
2. 発表標題 高温超臨界二酸化炭素中の拡散係数についての推算式の有効性
3. 学会等名 化学工学会第49回秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Yamamoto, J. Sakabe, M.Taguchi, T. Funazukuri
2. 発表標題 Measurement of diffusion coefficients of chromium (III) acetylacetonate in supercritical carbon dioxide at high temperatures
3. 学会等名 2017 AIChE Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Ohkubo, J. Sakabe, T. Funazukuri, C. Y. Kong
2. 発表標題 Measurements of molecular diffusion coefficients of ferrocene derivatives in supercritical carbon dioxide by chromatographic impulse response
3. 学会等名 SuperGreen 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 夏目 晋吾、坂部 淳一、船造 俊孝、孔 昌一
2. 発表標題 CIR法による超臨界二酸化炭素中におけるイブプロフェンの相互拡散係数の測定
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂部 淳一、船造 俊孝
2. 発表標題 超臨界二酸化炭素中における溶質分子の相互拡散係数に対する溶質分子体積の影響
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩田 恵梨奈、小野寺 庸大、坂部 淳一、船造 俊孝、孔 昌一
2. 発表標題 CIR法を用いた高温領域における超臨界二酸化炭素中のPlatinum( )acetylacetonateの拡散係数の測定
3. 学会等名 化学工学会第 5 1 回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小野寺 庸大、坂部 淳一、船造 俊孝、孔 昌一
2. 発表標題 Taylor法による高圧CO <sub>2</sub> +hexane/methanol混合流体中のbenzeneの拡散係数の測定と相関
3. 学会等名 化学工学会第 8 6 年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩田 恵梨奈、小野寺 庸大、坂部 淳一、船造 俊孝、孔 昌一
2. 発表標題 高温領域における超臨界二酸化炭素中のPlatinum( )acetylacetonateの拡散係数の測定
3. 学会等名 化学工学会第 8 6 年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 采 国孝、勝間田 亘、岡島 いづみ、佐古 猛、船造 俊孝、孔 昌一
2. 発表標題 異なる粘度の各種加圧流体中における脂質の拡散係数の測定
3. 学会等名 化学工学会第86年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 化学工学会超臨界流体部会(30名)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 252
3. 書名 超臨界流体を用いる合成と加工	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	孔 昌一  (Kong Chang Yi)  (60334637)	静岡大学・工学部・教授   (13801)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------