

自然環境に順応するChemical Engineering Technology の創製

Innovative experimental and theoretical technologies on chemical engineering for creating sustainable society



准教授 大田 昌樹
Associate Professor
Masaki Ota

従来の医薬食品製造分野においては、ときに高環境負荷の有機溶媒が使用されることで人体への副作用の問題などが懸念されてきた。これに対し我々は、安心かつ安全な経口・経皮物質の製造に向けて、二酸化炭素の他、エタノール、水等のグリーン溶媒を用いた高圧流体、特に超臨界・亜臨界流体の利用による環境調和型製造技術の開発に関する応用研究を推進している。特に最近では、Hildebrand 溶解度パラメータを独自に拡張したエントロピー型溶解度パラメータを理論的背景に、化学を基盤において地球環境や生態系保全に向けた持続可能な社会構築を目的として、天然資源や合成化合物の有効利用を可能とする工学技術の開発に関する研究について付加価値順のカスケード利用を可能とするための分離工学、安心安全な物質選定のための高圧溶液化学、超臨界流体抽出・亜臨界溶媒分離技術の社会実装のためのプロセスシステム等において知識と経験を深めてきた。これらの研究を推進するための基礎学問は化学工学にあり、基礎物性の測定からモデル化まで実験・理論の両面から研究を進めている。

Green processing and engineering are required for the chemical engineering of pharmaceuticals, foods, beverages, cosmetics, chemicals, and so on. For this purpose, we aim to use only non-toxic solvents such as carbon dioxide, ethanol, and water for extraction and separation processes, instead of harmful or potentially toxic solvents. Recently, we developed an entropy-based solubility parameter—an extended Hildebrand solubility parameter—for high-pressure fluids (sub/supercritical fluids) and have applied it to designing extraction and separation techniques in order to achieve sustainable green chemistry. We are promoting these experimental and theoretical approaches based on chemical engineering to study and develop new environmental sciences and technologies.

エントロピー型溶解度パラメータ (eSP) の応用

医薬食品素材の環境調和型抽出分離を設計するにあたり、1960年初頭に Hildebrand が提唱した溶解度パラメータ (SP 値) は極めて便利な指標である。これは、分子の配置配向は完全にランダムかつ混合によるエントロピー変化を無視できるとした正則溶液論に基づく物性であり、溶剤選定の他、高分子材料の設計などに広く用いられている。このパラメータは通常、医薬食品素材の抽出・分離において標準状態で使用されてきたが、最近になって著者は、超臨界・亜臨界流体のような高温高圧状態でも計算できるように理論的手法を新たに展開することができた (Fig.1)。この物性値は、SP 値と互換性のある熱力学量であることからエントロピー型溶解度パラメータ (Fig.2) と名付けたが、この理論が開発されたことにより理論予測をしながら高温高圧下の抽出分離実験が実施できるようになり、試行錯誤に要する実験的コストを大幅に削減できるようになった。(平成30年度文部科学大臣表彰・若手科学者賞の受賞内容) 今年はその延長線上の実証研究を検討することができた。

$$\delta_H = \sqrt{\frac{\Delta H_{vp} - RT}{v_L}}$$

Hildebrand Solubility Parameter

$$\delta_S \equiv \sqrt{\left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T} = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v}$$

Entropy-based Solubility Parameter (Original)

Fig.1 Hildebrand solubility parameter (SP) and entropy-based solubility parameter (eSP)

Application of our entropy-based solubility parameter

The Hildebrand solubility parameter (SP) is useful for chemical engineering processing, such as for extraction and separation techniques. Selecting suitable solvents for production of targeted functional natural resources is usually difficult for high-pressure processing.

Although the SP has been widely used under ambient temperature and pressure conditions, we recently extended its value for high-pressure fluids such as sub-/supercritical fluids (Fig.1). This parameter is termed the entropy-based solubility parameter (eSP), which extends the regular solution theory (Fig.2). Now that our thermodynamic property has been made available, we can more easily predict high-pressure extraction and separation processes and drastically reduce the economic and time costs for trial-and-error experiments. Thus, people would choose these things using the eSP as a tool for selecting a suitable solvent or mixtures for designing high-pressure extraction and separation processes. These contents are based on “The Commendation for Science and Technology by the Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology: The Young Scientists’ Prize (2018).”

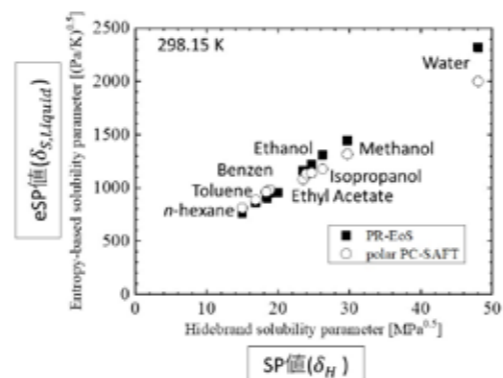


Fig.2 Correlation between SP and eSP

流通式亜臨界溶媒分離技術の開発

最近、我々は関連企業と共同で連続式亜臨界溶媒分離装置 (向流接触型高圧抽出装置) のオリジナル開発に成功している (Fig.3)。2013年には、この装置に搭載した連動式自動背圧弁が市販されている。オリジナリティーは、複数台の自動背圧弁を内蔵タイマーにより交互に吐出する機構そのものにある。2020年は、ホップエキスやシソなどの天然資源を中心に、高圧気液平衡に基づく亜臨界溶媒分離による分離効率に関する研究を推進してきた。また、この連動弁搭載型の流通式亜臨界溶媒分離装置はパッケージとして普及していないが、需要が拡大すれば将来的には具現化される可能性があるものと期待している。

2020年の研究活動

所属する化学工学会において第51回秋季大会、東北支部第22回先端研究発表会に参加した。このうち前者では、共同研究者の工学研究科修士2年 浦田 宙明 氏が優秀学生賞を受賞した。彼が行った摂動論型状態方程式を用いた超臨界クロマトグラフィーの保持因子の予測の1例を Fig.4 に示す。関連して、化学系学協会東北大会では、若手シンポジウムの招待講演として自身の成果を発表することができた。

分担執筆としては、著書「高圧力の科学・技術辞典」にて、超臨界二酸化炭素利用の抽出分離法について紹介することができた。

投稿論文では、フジサンケイビジネスアイ第34回独創性を拓く先端技術大賞の受賞論文が web 上に掲載された。(産経新聞やフジサンケイビジネスアイでも広く報道された。) 秋には、一般財団法人バイオインダストリー協会第4回バイオインダストリー奨励賞も受賞することができた。

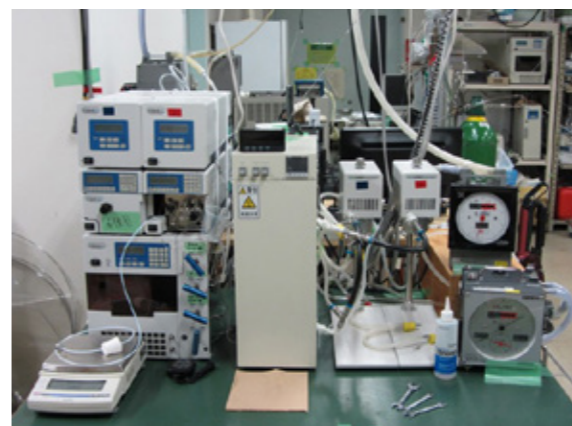


Fig.3 Flow-type subcritical fluid separation apparatus

Development of flow-type subcritical fluid separation

Recently, we developed a flow-type subcritical fluid separation apparatus for separating colors, flavors, and so on from targeted natural resources (Fig.3). The JASCO Corporation collaborated to make interlocking back-pressure regulators and another related setup based on our time-programming regulation concept. This year, the subcritical fluid separation apparatus was used to separate hop extract and perilla components. Although the apparatus has not been widely used in other research, we would like to conduct PR activities to promote the green separation processes.

Activities in 2020 (Publications)

- [1] Y. Sugimoto, M., Y. Sato, R. L. Smith Jr., H. Inomata, The Journal of Supercritical Fluids, 166, 105013 (1-8) (2020).
- [2] A. Duereh, Y. Sugimoto, M. Ota, Y. Sato, H. Inomata, Industrial & Engineering Chemistry Research, 59, 12319-12330 (2020).
- [3] Hiraga, Y., Sasagawa, T., Yamamoto, S., Komatsu, H., Ota, M., Tsukada, T., Smith, R.L., Jr. S. Sato, M. Ota, Y. Sato, R. L. Smith Jr., H. Inomata, Chemical Engineering Science, 214, 115361(1)-(5) (2020).
- [4] 大田昌樹, バイオサイエンスとインダストリー, 78, 548-549 (2020). (Japanese)
- [5] 大田昌樹, 高圧力の科学・技術辞典, 朝倉出版 印刷中 (2021).

Activities in 2020 (Awards)

- [1] 大田昌樹, 堀川愛見, フジサンケイビジネスアイ・第34回独創性を拓く先端技術大賞 (社会人部門・特別賞) (2020).
- [2] 大田昌樹, 一般財団法人バイオインダストリー協会第4回バイオインダストリー奨励賞 (2020).

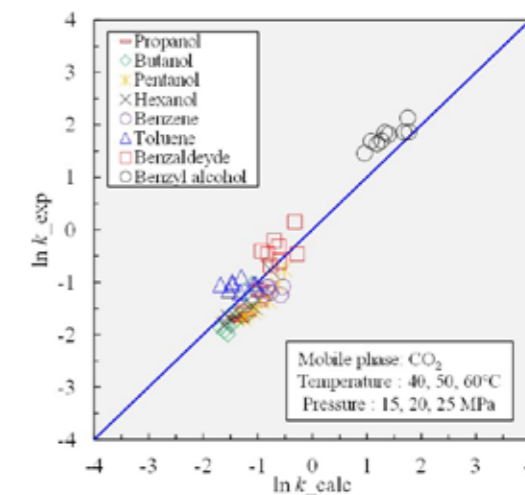


Fig.4 Results of prediction of retention time with separated chemicals on supercritical fluid chromatography.