

信大クリスタル® ～信州型地域イノベーション ・エコシステム形成プログラムをとおして～

信州大学先鋭材料研究所／工学部物質化学学科
所長／教授 手嶋勝弥，特任教授 柳澤和道

1. はじめに

皆さんは、文部科学省が主導する「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」をご存知だろうか。社会的インパクトが大きく、地域の成長とともに国富の増大に資する事業化プロジェクトを推進し、日本型イノベーション・エコシステムの形成と地方創生の実現を目指すプログラムのことである。以下に事業概要をまとめる。

- ・事業化経験をもつ人材を中心とした事業プロデュースチームを大学等に創設し、事業プロデューサーのマネジメントのもとプロジェクトを推進する。
- ・出口目標を民間資金等の獲得ととらえ、マイルストーン・出口目標を設定し、専門機関による市場・特許分析を踏まえた開発・事業化計画を策定してプロジェクトの進捗管理を実施する。
- ・地域の競争力の源泉である技術シーズ等を発掘する。
- ・国の知見，ネットワークも最大限活用し，地方創生に資する成功モデルを創出する。

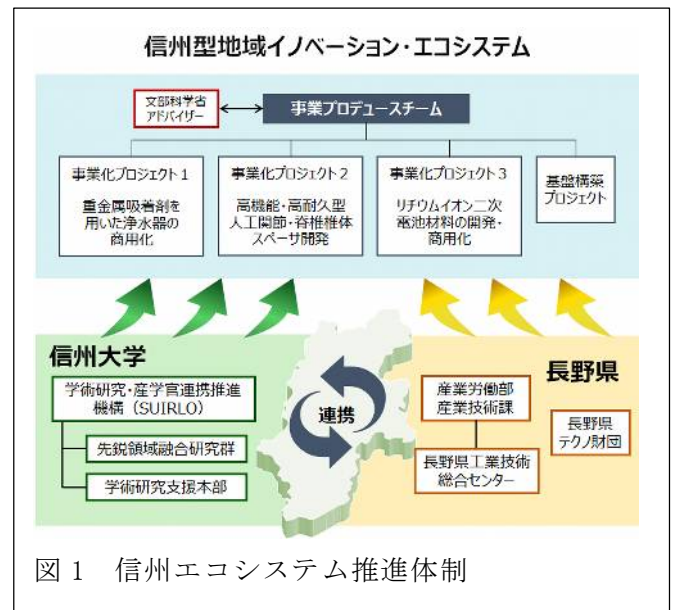
信州大学では、長年研究を継承し、材料・プロセスとして醸成しつつある「結晶・フラックス法」を中心に、上述の地域イノベーション・エコシステム形成プログラムに取り組んでいる。本稿で最近の話題を中心に概説する。

2. 信州型地域イノベーション・エコシステム形成プログラムとは

信州大学は長野県と強力に連携し、革新的無機結晶材料技術の産業実装による信州型地域イノベーション・エコシステム(ここでは、信州エコシステムと略す)形成を目指している(図1)。具体的には、結晶の形やサイズを自在に制御し、求める機能を最大限に引き出す「フラックス法による無機結晶育成技術」を用い、高性能・低コストな無機結晶材料を創製している。特に、フラックス育成結晶を核とした以下3つの事業化プロジェクトを

推進している。

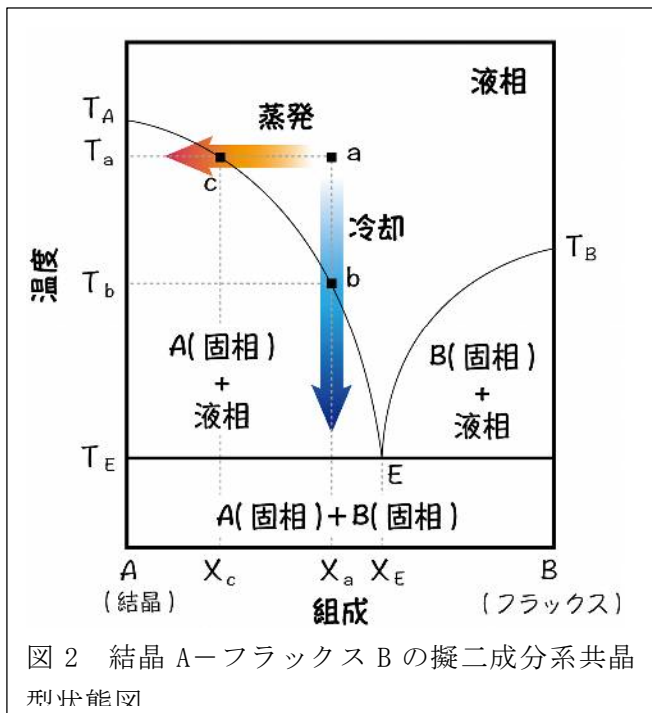
- 1) 重金属吸着剤を用いた浄水器の商用化
- 2) 高機能・高耐久型人工関節・脊椎椎体スペーサ開発
- 3) リチウムイオン二次電池材料の開発・商用化



これらの事業化プロジェクトを中心に、地域企業へのフラックス法の展開や地域の新事業創出を加速するとともに、信州から多くの事業化成功事例を生み出すための仕組みづくりに注力している。

3. コア技術：フラックス法とは

信州大学では約40年、フラックス法による機能性単結晶の育成に取り組んでいる。フラックス法とは、液相からの結晶育成技術(溶液法)の一種であり、フラックス(溶媒)の中で溶質を結晶化させる¹⁾。フラックス法の場合、状態図を読み解くことで、目的結晶を育成できる。図2に、結晶-フラックスの擬二成分系共晶型状態図を示す。溶質(結晶, A)をフラックス(B)に溶解し、その過飽和状態を制御することで目的結晶を晶出させる。溶液の冷却(縦矢印)やフラックスの蒸発(横矢印)を駆動力として結晶が成長する。



フラックス法の特長のひとつは、溶質とフラックスの混合物の共晶温度(T_E)が、それぞれの融点(T_A と T_B)よりもはるかに低いことである。つまり、目的物質の融点よりもはるかに低い温度で、その結晶を育成できるのである。その他の特長として、自形(特定結晶面)の発達した結晶を育成できる、結晶に熱歪みや欠陥が入りにくい、実験操作が容易で装置が簡便であることなどがある。このような特長から、我々はフラックス法を環境調和プロセスと呼ぶ。また、天然の結晶や鉱物の成長プロセスと基本原理は同じであるため、ネイチャーミメティックプロセスともいわれる。

ここで、フラックス法を身近に感じてもらうために、ミョウバン[硫酸カリウムアルミニウム十二水和物; $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$]の結晶成長を例に溶液法を考える。一般に、温水(H_2O , 溶媒)にミョウバンがよく溶けることは知られている。まず、ある程度高い温度に保持したミョウバンの飽和水溶液を作る。その後、この水溶液をゆっくりと冷却すると、水に溶けていられなくなったミョウバンが結晶となって晶出する。あるいは、高い温度で保持し、ゆっくりと水分を蒸発させてもミョウバンが晶出する。温度と濃度を適切に制御すると、結晶構造を反映した八面体形状のミョウバン結晶が得られる。塩や砂糖などの結晶成長も同様のプロセスで観察できる。これらの結晶成長は、水に対する溶解度の温度依存性を利用しており、フラック

ス法の原理も同じである。溶媒に水を用いた場合、水溶液法と呼び、それ以外の物質(例えば塩、酸化物、金属など)を溶媒に用いる場合をフラックス法と呼ぶ(つまり、水溶液法も広義ではフラックス法である)。図2のような状態図が存在すると、実は誰でも容易にフラックス法で目的結晶を育成できる。ただし、近年話題の物質などの状態図が存在することはきわめて稀である。そのため、フラックスの選択をはじめとする結晶育成条件(われわれはレシピと呼ぶ)を適切に設定することはとても難しく、いまだに経験や勘に頼っている。この状況を打破するために、最近では計算科学や機械学習を導入したレシピ設定や状態図作成に取り組み、超効率的な材料開発を推進している。信州大学先鋭材料研究所では、300 を優に超えるレシピを保有し、さまざまな結晶をフラックス法で育成してきた。信大クリスタル®は、このような環境でうまれた高性能な結晶材料である。

4. 信大クリスタル®

先述のとおり、信州エコシステムでは3つの分野で応用する結晶材料などの開発に取り組んでいる。本稿では、事業化プロジェクト1の重金属吸着剤を例に、信大クリスタル®を説明する。信大クリスタル®(商標登録 6194538 号)²⁾とは、フラックス法およびその関連技術により育成された結晶および関連材料のことである。現在、信州大学や信州エコシステムがこの信大クリスタル®(図3)のブランディング活動を強力に推し進めている。信大クリスタル®のワンボイスは「笑顔のソリューションを。」であり、このロゴでは信州の山脈・湖面とフラックス育成結晶をイメージし、信州大学のシンボルカラーと同系色が採用されている。信大クリスタル®のステートメントは次のとおりである。



「信大クリスタル®は、知的で快適な暮らしの実現を目指し、フラックス法を中心にうみだされた無限の可能性をもつ材料である。育まれた技術によ

ってさまざまに姿を変えて、私たちの暮らしに寄り添い、地球上のすべての環境や社会に調和という解を提供する。ひとつ上の目的を達成することで、未来の主演である子ども達の笑顔あふれる世界を作る。信州の清流のように、まっすぐ澄んだ想い、不動の大地のように、揺るがない信念と情熱をもって進化してゆく。」

重金属吸着剤は、実は、信州エコシステムの社会実装第1号のフラックス育成結晶である。この重金属吸着剤は $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ の化学組成をもち、ユニークな形状のフラックス育成結晶である。図4に、 $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ の結晶構造とフラックス育成した結晶のSEM像を示す³⁾。この結晶は層状構造をもち、層間のNaイオンが重金属イオンと入れ替わることで、水中に溶解するさまざまな陽イオンを吸着除去できる。また、フラックス育成することで、ミルフィーユのように、ミクロやマクロな視点でも層状形状となる。この結果、例えば、水中に溶解する9種の(重)金属イオン(Pb^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} ,

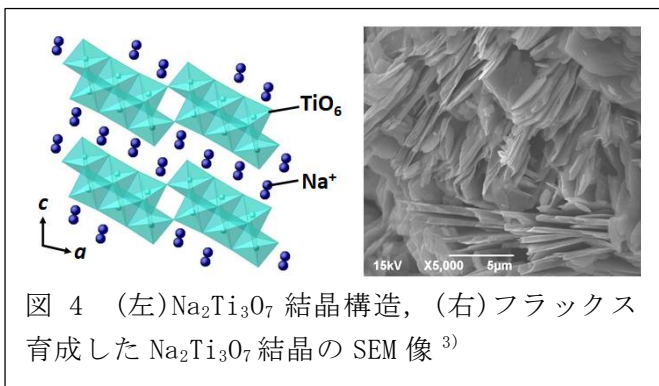


図4 (左) $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ 結晶構造, (右)フラックス育成した $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ 結晶のSEM像³⁾

Cr^{3+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} および Ni^{2+})を高効率に除去(イオン交換)できた。さらに、連続通水試験では、5000L通水後も Pb^{2+} を80%以上除去できる性能を発現した。これらの評価結果は、浄水器に求められる性能基準を十分に達成しており、市販されている無機イオン交換体やイオン交換樹脂よりも優れた性能を発現した。このきわめて優れた性能を基盤に、浄水器メーカーや材料メーカーと材料開発を深化させ、材料自体や製造方法の安全性評価もクリアし、フラックス育成結晶の量産化・デバイス化にも成功した。また、浄水器や水・食品関連の世界的認証機関である米国衛生基金(National Sanitation Foundation: NSF)の認証も取得し、材料やデバイスなどの世界展開可能な状況を確認した。2018年10月、このフラックス育成結晶を搭

載した携帯型浄水ボトル NaTiO のプレスリリースを実施し、同年12月に市販された(図5)。最近では、アンダーシンク型浄水器のカートリッジに搭載されている他、家庭用浄水器だけでなく、幅広い分野での使用も始まっている。信州エコシステムにおいて、信州大学先鋭材料研究所のフラックス育成結晶が大きく羽ばたき始めた実感する。

5. アフリカでの活動

信州大学先鋭材料研究所と信州エコシステムでは、事業化プロジェクトの一環として、上述のとおり、フラックス育成結晶による水をキレイにする化学に取り組んでいる。水問題はSDGs17の6番目で取り上げられており、世界でもきわめて重要な課題に位置づく。アフリカや東南アジアなど、水問題に苦しむ国々で、われわれはフラックス育成結晶の社会実装を目指している。特にサブサハラ(タンザニアやケニアなど)では、地下水(あるいは湖沼水)のフッ素汚染が社会問題となっている。例えば、タンザニア・アルーシャ州のレマンダ村などでは、WHO基準値(1.5ppm)の10倍以上フッ素汚染された水源が多数存在し、それを飲用している。詳細は文献(JICAレポートなど)を参照されたい⁴⁾。フッ素汚染された水の飲用を続けると、さまざまなフッ素症[斑状歯、骨フッ素症(骨



図5 (左)プレスリリースの様子, (右)携帯型浄水ボトル NaTiO

の奇形)あるいは奇形フッ素症(関節強直)などを引き起こすといわれている。われわれは、タンザニア・SAKURA女子中学校を複数回訪問し、水をキレイにする化学を講義するとともに、生徒と浄水に関する実験を実施し、水浄化の重要性を説明してきた。あわせて、レマンダ村での調査活動や浄水デバイスの紹介にも努めてきた(図6)。フッ素除去剤の開発を強力に推進しており、コロ

ナ禍の現在は、リモート実証試験で現地対応している。なお、フィリピンには、携帯型浄水ボトル NaTiO を約 600 本輸送し、脱プラや安全な水へのアクセスの重要性をリモート実証試験にて説明している。このように最近のコロナ禍においても、信州エコシステムでは研究開発の最善を尽くして



図6 (上)タンザニア・SAKURA 女子中学校での水をキレイにする化学実験。(下・左)タンザニア・レマンダ村での浄水活動：マサイ族の村民とともに。(下・右)同村の給水所では家畜も水分補給。(下の写真：2020年2月撮影)

いる。

6. おわりに

信州エコシステムでは環境・エネルギー・バイオを中心課題に据え、信大クリスタル®を強力なソリューションのひとつとして、課題解決に取り組んでいる(図7)。この活動をとおして、ここ信州に、フラックス結晶育成技術のエコシステムの形成を目指している。また、この活動を異なる視点から眺め、アクアプラスといった水のエコシステム形成やエネルギーのエコシステム形成などにも注力している。いずれも、信州大学と長野県、さらには地域企業などが、密に連携することがきわめて重要となる。通常の研究開発事業と異なり、

地域に根差したエコシステム(生態系)を作るため、さまざまなバックグラウンドをもった人々の関わりも求めている。

信州大学先鋭材料研究所では、フラックス育成結晶の研究を基盤のひとつとし、With/After コロナ時代の次世代モノづくり・ことづくりへの挑戦を続ける。



図7 信大クリスタル®が拓くミライ像

謝辞

本研究は、2002年から2014年までの大石・手嶋研究室、ならびに2015年からの手嶋・是津研究室に在籍した教職員・学生の貢献による。携帯型浄水ボトル開発は、上川秀哉氏[トクラス(株)]の多大なる支援の成果である。フラックス育成結晶の量産化は、高阪務氏・並木謙太氏[フタムラ化学(株)]の強力な支援により実現した。また、2017年から始まった文部科学省：地域イノベーション・エコシステム形成プログラムの援助のもと実施した。ここに関係各位への謝意を表す。

参考文献

- (1) 大石修治, 宍戸統悦, 手嶋勝弥, フラックス結晶成長のはなし, 日刊工業新聞社 (2010).
- (2) 信大クリスタルホームページ (<https://shindaicrystal.com>)
- (3) 鈴木清香, 清原瑞穂, 白崎明美, 我田元, 高見澤美穂, 上川秀哉, 手嶋勝弥, 大石修治, J. Flux Growth, 7, 10 (2012).
- (4) タンザニア国地方村落を対象とした簡易浄化装置による水供給事業の普及・実証事業業務完了報告書, POLY-GLU SOCIAL BUSINESS(株), 国際協力機構(JICA), 2019年2月.