

科学の
峰々

99

京都大学工学研究科教授・工学博士

まえ かずひろ

前 一廣 先生 に聞く

環境プロセス工学と化学工学が切り拓く
20世紀型工業社会からのパラダイムシフト

上

聞き手： 南 明則 日本科学機器協会 広報副委員長
 高橋 秀雄 〃 広報副委員長
 西岡 光利 〃 広報委員
 梅垣 喜通 〃 編集長
 岡田 康弘 〃 事務局長

(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

取材日：2018年12月12日
 東京科学機器協会会議室

前 一廣 先生のプロフィール



科学機器
教授

1980年 3月 京都大学工学部化学工学科卒
 1982年 3月 京都大学大学院工学研究科化学工学専攻修士課程修了
 1982年 4月 株式会社神戸製鋼所入社、化学技術研究所研究員
 1986年10月 京都大学工学部助手
 1992年 5月 京都大学論文博士(工学)学位取得
 1994年 3月 京都大学工学部助教授
 2001年 2月 京都大学工学研究科教授(化学工学専攻)～現在に至る
 2008年10月～ 京都大学教育研究評議員(併任)
 2011年 3月
 2014年 4月～ 公益社団法人 化学工学会 会長
 2016年 4月
 2018年10月～ 京都大学産学官連携本部副本部長(併任)

〈現在の研究分野〉

マイクロ反応工学／環境プロセス工学／バイオマス転換工学

〈受賞〉

- 日本エネルギー学会論文賞3回(1992年・2002年・2006年)
- 日本エネルギー学会進歩賞(1994年)
- 第7回国際マイクロ反応工学会議(IMRET7)
- ベストポスター賞(2003年)
- 化学工学会研究賞(2008年)
- (財)日本油脂会館 優秀論文賞(2012年)
- 日本エネルギー学会 学会賞(2014年)
- 粉体工学会論文賞(2017年)



露呈されてきた 20世紀型工業社会の弱点

—前先生は京都大学の「環境プロセス工学研究室」を拠点に数々の研究に取り組まれています。産官学の連携や国家プロジェクトの実行など、様々な分野でご活躍されていますが、研究の大きなテーマを教えてくださいませんか。

前 大きく言うと“環境調和型の社会の確立”を現実的に実現することが大きな研究テーマになります。言い換えると“20世紀型の工業社会からのパラダイムシフト”を実現することが大きな目的としてあります。

20世紀型の工業社会は、地球環境問題、エネルギー問題をはじめ随所に弱点を路程しているのは周知の通りです。この問題を克服するために、化石資源と再生可能資源を上手に使いながら地球上で共生できる社会や産業体系を確立することは、工学者、技術者に与えられた使命であると考えています。

その目的を達成していくために、バイオマスの新規転換法の開発、各種マイクロリアクターの開発とマイクロ化学工学の体系化、CO₂削減の革新的プロセスの開発を柱に研究を進めています。

—先生は京大大学院を卒業後、神戸製鋼にエンジニアとして入社、その数年後に京都大学で研

フィロソフィー

1. 今後の日本の化学産業は？

ナフサ原料縮小(2030年には半減)⇒国内生産では原料の多様化
高付加価値製品のシェア低下⇒さらに強みのある生産技術に
事業ポートフォリオ(アグリ、バイオ、ニュートリションなどへのシフト)
⇒マスカスタマイゼーションを指向した生産技術に
CO₂問題、SDGs⇒炭素循環、バイオマスから化成品(地域分散型産業)

⇒化学工場のスマート化(バルク)

- 1) 炭素循環化学産業を支える技術
- 2) バイオマス利用(農工融合分散型生産)

⇒化学産業のスマート化(スペシャリティ)

- 1) IOT, AI
- 2) プロダクトエンジニアリングのツールとしてのマイクロリアクター
- 3) モジュール型生産技術へ

究の道に進まれています。「環境プロセス工学」を研究の対象とされたのはいつ頃からでしょうか。

前 2000年ですので、折しも20世紀から21世紀へ移行するタイミングになります。大学の学部時代は化学工学を専攻し、京大修士課程では主に“石炭のガス化”という代替エネルギーの研究に取り組んでいました。

企業に進んだのは、従来から“研究は社会で使われてこそ価値がある”という思いがあったからです。恩師には博士課程を勧められましたが、企業に就職しました。その数年後、実は私の最終決断より先に恩師と会社側が“やはり京都大学で研究してもらおう”という話をつけていた経緯があり、大学に戻ったわけです。

そしてどんな研究をするかという時に悶々と考え、これから2つの課題が必ず出てくると考えました。

1つは既に社会問題になっていたCO₂の問題です。

これは再生可能資源に転換していくことなしには解決出来ないと思い、バイオマスの可能性の研究に着手しました。バイオマスがエネルギーに有効活用出来るのかどうか？は後で詳しく述べます。

もう1つは“石油文明はこの先必ず駆逐されてしまうであろう”ということです。

石油文明に付随していない 生産システムの開発が急務

—2000年の時点で“石油文明は駆逐される”と思われた理由を教えてくださいませんか。

前 これは人類の歴史を見ると分かりますが、資源は時代と共に変わっていく宿命にあります。事実、可採可能な石油残存量は一人あたりドラム缶240本程度という報告があり、これは数世代でなくなってしまう量と考え

産学官との連携

られています。有限なことは明らかかなわけです。

しかし、これまでの化学産業は全て“石油を操作する”前提で作りに上げられて来ました。

次世代の資源を扱う“操作能”がないわけです。そこでマイクロリアクターの研究を掲げ、さまざまな形で開発を進めて来ました。

マイクロリアクターとは数mm、数cm、あるいは1mmよりも小さな空間で化学反応を行う装置です。極端に言うと、プラントや工場など巨大な施設で化学反応を得て製造していたものを小さなサイズで行うことが出来たり、あるいは小さいので移動式に出来たりなど、生産装置を大きく革新する可能性を持っています。

また巨大な装置では、不純物が混じる等で精度が落ちることが難点としてありますが、その解決も測れます。さらに小規模のシステムが出来るので環境汚染が少なくなります。万が一事故が起きてもそのリスクが非常に少なくなるなど、さまざまな利点があります。

マイクロリアクターは産業のスマート化には欠かせないと言えるもので、私が開発した例でナノ顔料の製造に成功するなど実績は数々あり、実用化もされています。

また、合成化学の原料調達・製造・廃棄にいたるサイクルの中で環境負荷を最大限低減する“グリーンケミストリー”という

考えが最近唱えられています、グリーンケミストリーのもとで高機能を持つ材料を生み出すのにも大きな役割を果たします。

そして重要なのは、現在進行形で進むプロダクトエンジニアリングの流れの中で非常に重要となってきます。

—プロダクトエンジニアリングとは何でしょうか。

前 専門的な定義は複雑ですが、簡単に言うと“オーダーメイドの化学産業”ということになります。これはデジタル化とAIの活用がこれからさらに進むことと関係しています。

従来の化学製品は“個体物性”によって価値がつけられていました。例えば「このプラスチックは非常に硬度が高い、だからニーズがある」といったことです。

しかし個々のニーズの細分化によって、皆が同じものを欲しがるわけではなくなっているうえに、デジタル化で市場の応答は早くなっています。それに早く応えることに価値があるわけです。つまり物性の価値よりデジタルの価値の方が高くなっていきます。大量生産して物性価値で勝負出来る時代ではなくなっています。困ったことにブランドロイヤリティといった定義すら消滅していくことになるのです。

つまり、AIがはじき出すニーズに呼応した回答に応えられる化学産業が必要になります。

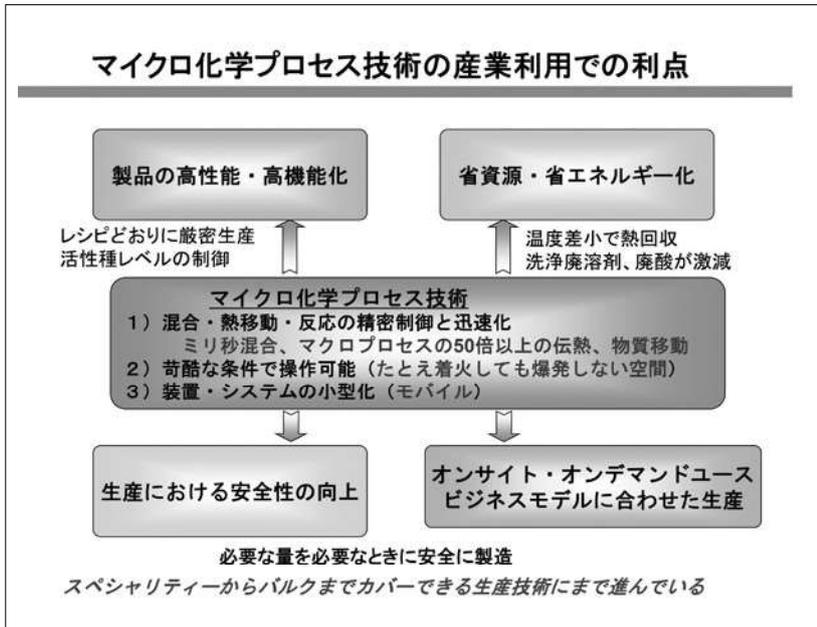
そしてAIは、将棋の例で普通の棋士が考えもつかないような手を打つように、これまでの流れと不連続的に突拍子もない答えを出して来ます。これに追従できる生産システムが必要になり、その確立にマイクロリアクターは不可欠なものになると考えます。

もちろん生産システムだけではなく意思決定やマネジメントも見直しが求められます。月に1回の取締役会で決定するようなことではとても追いつけない、オンタイムで反応出来る組織と生産システムが必要になるのです。

更に言うと、AI支援の化学合成技術も出て来ています。例えば創薬分野のアメリカのプロジェクトでは、個人の病状のフルオーダーに応じ数日で施策、数日でスケールアップ、数週間で製品にすることが検討されていると言います。あまり情報が出て来ませんが動き出して5年程で製品化されています。

—「従来のものづくりから変わらなければいけない」とよく聞きますが、その意味の深さを感じます。前先生が開発されたマイクロリアクターとは、どのような分野で実用化されているのでしょうか。

前 一例として化粧品の製造に実用されています。「中心衝突型ミキサー Kミキサー」という手のひらサイズのものがあり、



きれいな白金ナノ粒子を製造することが出来ます。5cm程で小さいのですが年間80トンを生産出来ます。つまりナノテクノロジーを支える生産技術ということです。

ちなみにKミキサーのKは、私の名前のイニシャルですが…ロイヤリティは全くいただいておりません(笑)。

また環境エネルギー面への応用の一例で、京都市でCO₂を吸収してメタンを作るというバイオガスの生産が行われていますが、マイクロリアクターを使用した場合の実験・計算結果があります。今と同じバイオガスの量3000Nm³/日を作るのに、マイクロリアクターを使うと60cm×60cm×150cmの装置が2機あればCO₂の吸収が十分出来るという結果になりました。現在より50分の1程度までコンパクトになるのです。

こうしたマイクロリアクターは従来よりも「混合熱移動、反応精密制御の迅速化」を可能にしていて0.1ミリ秒程度で完全混合でき、普通の熱交換器の50倍以上の電熱物質移動速度を持っています。さらに過酷な条件で操作可能であり、また着火しても爆発しない空間になるので操作の安全性も高まります。

それだけでなく装置が小型化できる、小さいのでモバイル化も出来ると利点は多いのです。

—工場がモバイル化されるなんて、従来では考えられないことですね。

前 そうなるとビジネスの場所も時間も変わり、ひとつがコンテナビジネスです。化学産業から少し離れますが、コンテナビジネスは農業の可能性を大いに広げます。

日本の農産物は味が良いので海外でも人気がありますが、運搬時に時間が掛かって鮮度が保てないなどの問題から、大量輸出が出来ているのは“りんご”くらいです。コンテナビジネスというのは、海上輸送するコンテナ内で生産するというもので、販売する現地に着く時に食べ頃になるということです。

どういコンテナを作るかが非常に重要で、菌・湿度・エチレンガス・温度・紫外線などの可視光といった条件をコントロールする技術が必要になり、農業だけでは実現出来ないものです。

化学産業もこうした場に入っで一緒にビジネスを拡大することが必要になります。

またこうした管理には、まず様々なものを「測定」出来るものが非常に重要です。その意味で科学機器のニーズも今後ますます高まるわけです。これもまた、ニーズに即座に呼応するプロダクトエンジニアリングのひとつと言えるでしょう。

こうしたプロダクトエンジニアリングの装置をしっかりと開発していくということは、化学工学にとってはミッションではないかという思いも胸に、マイクロリアクターやマイクロ化学工学プロセスの研究を続けています。

—「化学工学のミッション」という言葉がありました。前先生は前号でお話を伺った阿尻雅文先生(2月・3月号インタビュー掲載)の前に、化学工学会の



会長でいらっしゃいました。前号で、プラント設計に寄与してきた化学工学が、今は社会作りに応用されていることを伺いましたが、ものづくりの現場と距離が非常に近いことを改めて感じます。

エネルギーとは別の面で活用可能なバイオマス

—もうひとつの大きな研究対象であるバイオマスについて伺います。現実的にどういった活用法があるのでしょうか。

前 さまざまな面から研究を続けて来て、バイオマスはエネルギー利用ではない、別の面で活用されるべきだという思いがあります。一般的に“バイオマスは再生可能エネルギーである”ということが言われますが、実はエネルギー資源として回していくには収支がとれないことになります。

CO₂は、10年程で固定化されバイオマスになりますが、それを燃やして電力を得ようとすると数秒で消えていくわけです。数秒で消えるものを10年かけて回収するのだから収支がとれません。CO₂をエネルギー源にしようとする、森林をなくすことに繋がりがねないわけです。これでは環境保全の真逆を行くことになってしまいます。

それではバイオマスが有効に活用されるのはどんな分野かということ、1つがバイオマスから化学製品、つまり化成品を作ることなのです。化成品にすると、5年から10年は価値を持つものとして使われながら廃棄されないで、その間のカーボン量は固定されるということになります。

その後焼却されても、発生するCO₂とそれがバイオマスになって再利用出来る量が速度的にだいたいあってくるようになるのです。

その視点で研究を行い、現在、国のプロジェクトでバイオマスから「モノマー、ポリマーを製造する」ことが進んでいます。これには10以上の企業が参加していて、今後に向けての有用な成果が得られたものになりました。

また、こうしたことを通じて見えてきたことは、今後日本の化学産業がどうあるべきか、ということです。

率直に申しますと、やはり現在でも日本の化学産業は欧米追従型と言わざるを得ない現状があります。日本は自動車産業や電子産業を頼りにしているわけですが、それに対して欧米はアグリ、バイオ、ニュートリションと強化が進んでいます。これは何を意味しているかということ、やはりよりプロダクト志向であり、そういう時代にシフトしているのだということです。

—再生可能エネルギーを開発するにしても、冷静に収支を計算し、地球環境に寄与する活用法を見据える必要があるのですね。

前 「エコ」を考える時、その視点が欠落して議論をしても現実社会に寄与する施策は、やはり生むことが出来ないという思いがあります。

それは食糧問題についても同じなのです。日本は少子化になっていますが、地球の人口はどんどん増えていて、100億人時代となることは予測されています。

産学官との連携

その時に人類の食糧は全然足りませんし、耕地面積から考えても不足するのは目に見えています。

ここでも今までの農業生産を見直すことは必須になってくると思います。

例えば、人類に必要なタンパク質を平等に行き届かせるためには、面積あたりでどれくらいタンパク質が得られているのかを検討しなければいけません。そうすると放牧は得られるタンパク質の密度が低いということになります。では何が高いかというと、実は昆虫だったりするのです。こうしたことは、その職業に従事している方々のことなども考慮しなければなりません。食糧問題が起きる時代はもう目の前に来ている、それが現実なのです。

日本においても、全国各地の農場で農業と工業を有機的に連携させたエコシステムを作ることで、新しいものを生み出すことが求められています。それ

は地域活性化にもつながりまじ、食料輸出にもなり、外貨を獲得する柱を生むことにも繋がります。

そのひとつには食糧をそのまま輸出するだけでなく、今廃棄物になっているものに可能性があるのです。例えば、お米を収穫した後の稲わらです。重量ベースで計算すると、稲という作物はおよそ50%の米の部分食糧になり、残りの50%は稲わらなど主に廃棄物になっているのです。これは化学産業に置き換えると“歩留まり50%の化学産業”ということになるので、もったいないことをしているのです。例えばその50%から糖を摂って工業原料、ポリマー原料にしていくことが出来ます。実際にこの試みはプロジェクトとして2018年からスタートしています。そしてモノマー原料も出来ますが、お米と同じくらいの価値を持つ輸出品になるのです。

また、毎年世界各地で異常気象や天災の影響で現地の作物が

打撃を受け食糧が不足してしまうという事は頻発していますが、モノマー原料を持っていくことで、その窮地を救うことも出来るのです。

—地方の農村地域も活性化出来る可能性があるわけですね。

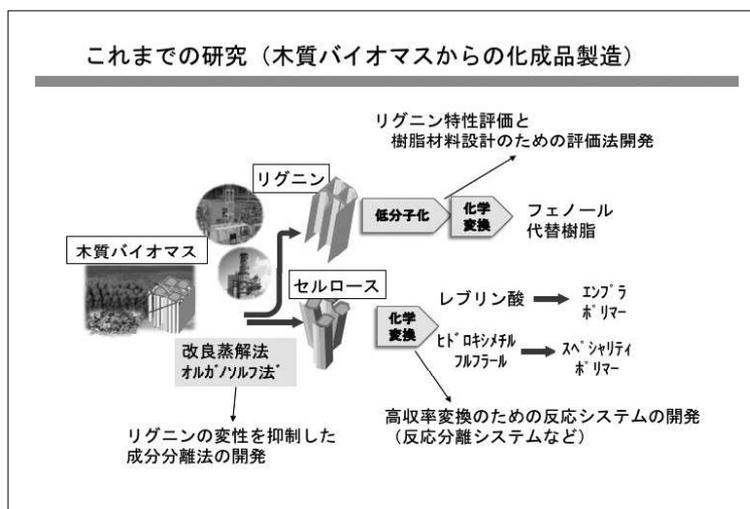
前 こういうことに国内のバイオマスを使っていくと、実は輸入に頼っていた資源がモノマー、ポリマーに関しては国内資源でまかなえるようになります。

これも今、東北の地域で数年後に実行に移す動きが進んでいます。地元の杉からウイルスを死滅させる成分が抽出できるなど、これからの時代が変わることを自覚し、今までと違うアプローチを行ってみると、決して悲観的なことばかりではなく、むしろ色々な可能性が各地に転がっているのです。

—「従来型からの脱却」を実行することは、やがて身近な必須の事柄になり、それがひとつひとつ世界の問題解決に直結することであることを深く考えさせられます。

SDGs国際目標の達成は
燃焼技術から電池ベースへ

前 環境問題・気候変動問題・食糧問題などを克服し、真に持続可能な社会を目指すことは日本だけではなく全世界待ったなしの問題になっています。



産学官との連携



SDGsが掲げる17の持続可能な開発目標
(外務省資料より)

2015年、国連サミットでSDGs (Sustainable Development Goals = 持続可能な開発目標)が2030年までの国際目標として採択されました。これは久しぶりに全参加国の全会一致で決まっています。個人的な推測ですが、これはどの国も採択を躊躇できないほどの相当シビアな現実と未来予測を、環境面などから示された結果だと思えます。

SDGsは17の目標が明記されていますが、日本が特に達成すべき事、つまりレッドカードを出されているほとんどは、目標の12~15に含まれています。「12. つくる責任、つかう責任」「13. 気候変動に具体的な対策を」「14. 海の豊かさを守ろう」「15. 陸の豊かさを守ろう」です。すなわち12~15は環境問題全般なのです。

どの産業界もこの5年から10年以内にしっかりとした施策をとらなければいけませんし、環境問題は避けて通れないのです。その最右翼と言われているのがCO₂問題にはかなりません。

化学産業を見ますと、ナフサなどの燃料でカーボンがあるわけですが、およそ半分が製品になり半分がCO₂になります。

これを2030年までにCO₂排出量を半分の50%オフ、2050年までに80%OFFにしないといけないのです。

これはパラダイムシフトがないと到底実現出来ません。というのも80%OFFにするには燃焼技術を使えないのです。ではどうするかというと、電池ベースでほとんどを賄わないといけなくなります。

—それは生産システムのほぼ全てを一から考え直さなければいけない、まさにパラダイムシフトがないといけないわけですね。

前 エネルギーとはそもそも何かと立ち返ると、全ての活動をする源なわけです。あらゆることは“エネルギーを使って”行われます。エネルギー供給源は、昔は木材であり、そして石炭になり、石油になり、天然ガスと変わってきました。それが同じように電池ベースになることが避けられないのです。そこには太陽光など自然エネルギーも入ってくるでしょうけども、ともあれ供給は変わることになります。そうすると社会の全てが確実に変わることになるのです。それは木材の時代、石炭の時代、と歴史を見ても今まで変わって来ているのです。

ではどう変わるかということ“分散型の社会”そして“分散型の生産技術”にしていく必要があると考えています。

エネルギーの大転換は 社会も生産システムも 集中型から分散型社会に

—分散型とは、現在の社会が集中型であるので、その反対にならざるを得ないということでしょうか。

前 その通りです。東京一極集中や特定の工業地帯・工業地域に集中しているものを分散していかないと実現出来ないのです。

—というのも重要なことは、再生可能エネルギーや自然エネルギーは、平米あたりのエネルギー密度が化石燃料ベースの現在よりも小さく、アッパーリミットがある、つまり生み出すエネルギーに限度があります。必然的に分散型にならざるを得ません。

石油化学産業を半分くらい捨てるような発想での社会作り、生産システム作りなしにはそれが出来ないわけです。しかし、その場合の生産システムの開発などは、全くと言っていい程進められていません。「分散型の化学センサーってどんなものが必要なのだろう」といったことも検討がなされていない状況があります。

これは生産技術だけにとどまらず、政治や経済を含めた社会そのものに突きつけられる課題となります。SDGsのCO₂削減を達成する！ならば燃焼技術をやめて再生エネルギーや自然エネルギーにしなければならない。

産学官との連携

従来の発想を根本的に打破した
「スケールダウン」の「分散型」システムを支える技術が
共生を続ける必須のものになります!



そうすると平米あたりのエネルギーのアップリミットは決まっているので、東京一極集中は終わり地方分散型にしなければならないということです。日本も、世界のどの国もその決断の時が来ているのです。

—“20世紀型工業社会”から決別する覚悟が必要であることを感じさせられます。

前 プラントをくみ上げる「化学工学」しかり、他の産業も含めてなのですが、これまでは“スケールアップ”の工学で、安価で豊富にあった石油資源から大量生産によりコストダウンを図ることに注力されて来ました。

さらに環境やエネルギー問題が起き、省エネルギーなどが図られてきましたが、単位ごとの低減は限界に達しています。既存のスケールアップの発想や技術を根本的に打破する手法の開発が必須なのです。

そのためには、生産システムの中で、既存の単位操作を連結してプロセスを作る考え方も必要ですし、製品とエネルギーを同時に生産する、などといった

様々な考え方と実現するための方法論が必要になります。設備規模も当然見直さなければいけません。それには異業種のシステムを統合して運転する技術の開発なども欠かせません。

非常に様々なことが求められますが、こうした技術革新を支えるものは“スケールダウン”により精緻化された、マイクロ化学技術などのプロセスモジュールの開発だという思いがあります。

今後の化学産業技術を支える必須の技術となるのだ、という強い思いを持ちながら日々の研究に邁進したいと思います。

次号「科学の峰々」は、引き続き京都大学教授・前 一廣先生に環境プロセス工学と化学工学が切り拓く20世紀型工業社会からのパラダイムシフト(下)のお話を伺います。

化学工学会からのお知らせ

前先生が元会長を務め、2月・3月号でお話を伺った阿尻雅文先生が現在の会長を務める公益社団法人化学工学会が主催する第18回アジア太平洋化学工学連合会議「APCChE(アプチェ)2019」が本年9月23日から27日までの5日間、札幌で開催されます。

この会議は世界14ヶ国の化学工学の学協会が加盟するアジア太平洋化学工学連合 (APCChE) が母体となって2年ごとにアジア太平洋各地で開催している国際会議です。(会議の開催地は、持ち回りのため日本で行われるのは非常に貴重な機会となります)

化学工学分野でアジア各国で中心的な役割を担う研究者が出席予定です。この貴重な機会に、科学機器メーカーのブース展示や寄付などを受け付けております。

*お申し込み・お問い合わせは、公益社団法人 化学工学会へお問い合わせください。

<https://www.sora-scc.jp/>