

製造業の9割以上がIoT人材の不足を懸念

前号では、日本の製造業のスマート化における課題は、人材育成ということでした。

山下 製造業関連の企業に対して「IoT導入やデータ活用を進めるうえで、最も不足しているのは？」と質問したアンケートがあるのですが、9割近い回答者が「人の不足」をあげています。モノの面や金銭面をあげた企業よりも、はるかに多くの企業が、製造業でAIやIoTを使いこなせる人がいないことに悩んでいるのです。ここで問題となるのは、単にAIやIoTの知識があるだけでは不十分で、ものづくりやプラントの事にも精通していないといけない点です。

先生が作成にあたった人材育成プログラムについて教えていただけますか。

山下 経済産業省が主催する「プラント運転・保安IoT / AI人材育成講座」の開発プロジェクトでコンソーシアムの委員長としてとりまとめました。これは「第四次産業革命スキル習得講座」という認定を経産省がしているもので、未来に向けて社会革新を実現する人材を創造していく事を目的とした、経産省の「未来の教室」という取り組みの中の1つでもあります。

今現役の働き手世代が対象なのですよね。

山下 おっしゃる通りです。現在の製造現場に具体的に適用出来る内容で、化学プラントのプロセスと計装に関する知識、リスクマネジメントに関する知識、AI・IoTに関する知識を10日間かけて学ぶものです。その仕組みづくりのコンソーシアムは、大学や学協会から数名と企業や業界団体から10数人から成り、私がまとめる役割をおおせつかったわけです。

この仕組みを作ることが国の2018年度予算で行われ、それから実際の講座になっています。私が講師をしているわけではないのですが、最初は実証講座として始まり、そのフィードバックを基に改善したうえで、去年は能率協会開催の講座という位置づけで開講されました。いわゆるIoT人材のスキル修得のために認定された講座で、今後も継続的に開講していく予定と聞いています。

その他にも国や団体での活動を多数されていますが、その点についても教えていただけますか。

山下 色々行っていますが、国に関連した最近の活動ですと、経産省では「プラントにおけるAIの信頼性評価に関する検討会」「スマート保安先行事例集の研究会」などで座長をつとめました。他に、厚労省の委員会の委員も務めています。日本学術会議の化学委員会からは、今年7月に「化学・情報科学の融合による新化学創生に向けて」という提言を副委員長としてまとめました。日本

学術振興会のプロセスシステム工学委員会という産学連携委員会の委員長となって今年で4年目です。化学工学会では、AI・IoT委員会をはじめ複数の委員会の委員長や副委員長を務めています。

実際のものづくりや社会活動に実装

化学プラントのスマート化に関して、山下先生の名がついたシステムもあるとうかがっていますが、それはどのようなものでしょうか。

山下 「制御弁の固着状態の自動診断」を行える手法を15年ほど前に発表し、実用化されていて、海外でも「Yamashita Method」と呼ばれています。

プラントにはコントロールバルブ(制御弁)がたくさんありますが、経年劣化でバルブが動きにくくなっていることが往々にして発生します。しかし、多くの場合は全く動かなくなるわけではなく、ある程度以上の力をかけると動摩擦係数と静止摩擦係数の関係で動き出すわけです。しかし、これでは安定した制御はできません。そんな状態になってしまったバルブを自動で検出・判別出来るというものです。最近では、そんな状態のバルブでも、何とか安定した制御を実現するための方法も研究しています。

他にも、プロセスシステム工学を活かして、化学プラントや製造工程において「プロセス知識を活用する運転監視手法」も研究開発してまいりました。少し専門的に

科学の峰々 107

東京農工大学 大学院工学研究院 応用化学部門長 教授

やました よしゆき

山下 善之 先生 に聞く

プロセスシステム工学の力で進むAIとIoTを活用した化学プラント、製造業のスマート化がもたらす可能性

下

聞き手：西岡 光利 日本科学機器協会 広報副委員長
外嶋 友哉 日本科学機器協会 広報委員
梅垣 喜通 日本科学機器協会 専務理事
岡田 康弘 日本科学機器協会 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)

山下 善之 先生のプロフィール

【学歴】

1982年 3月 東北大学工学部化学工学科卒業
1984年 3月 東北大学大学院工学研究科博士前期課程修了
1987年 3月 東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了
(化学工学専攻)

【職歴】

1987年 4月～1992年11月 東北大学工学部助手
1992年12月～2007年3月 東北大学工学部助教授
1994年～1995年 オハイオ州立大学客員准教授(兼務)
2007年 4月～現在 東京農工大学大学院 教授
2011年,2017年 マレーシア工科大学客員教授(兼務)

【受賞・役職等(抜粋)】

1993年 化学工学会 奨励賞
2000年 Outstanding Paper Award, Journal of Chemical Engineering of Japan
2007年 計測自動制御学会認定,計測制御エンジニア(エンジニア)
2008年 Outstanding Paper Award, Journal of Chemical Engineering of Japan
2019年 Outstanding Paper Award, Journal of Chemical Engineering of Japan
2006～2008年 計測自動制御学会 常任理事
2009～2011年 Editor-in-Chief, Journal of Chemical Engineering of Japan
2012～2013年 化学工学会 システム・情報・シミュレーション部会長
2013～2015年 化学工学会 理事,情報サービスセンター長
2017年～ 日本学術振興会 プロセスシステム工学 第143委員会 委員長
2015年～ Virtual Engineering Community (VEC) 会長
2016年 PSE Asia 2016 Symposium プログラム委員長
2018年～ 化学工学会 AI・IoT 委員会委員長
2021年 PSE 2021 Symposium 実行委員長



取材日：2020年8月6日
東京科学機器協会会議室

ワークで繋がっていると、トナーがなくなる前に販売側はもうすぐ切れることを把握出来るので、実際の注文がある前に「これはきっと発注されるだろう」と予測して、販売や製造の現場の準備がされるということもあります。さらに言うと、発注前に届けてしまえる、ということもあります。

日報でのサイクルが分単位、秒単位、リアルタイムにというのは実感しやすいです。

山下 今の例は、製品の販売と生産計画や製造をつなげる例でしたが、IoTを活用すると製品ライフサイクルの様々な局面をつなげることが出来るようになります。製品のライフサイクルというのは、製品の企画-開発-製造-販売という流れです。かみ砕くと、従来は消費者がサービスを受ける段階と、製品のデザインや製造の段階は離れていたのですが、消費者のアクションが両方へダイレクトにフィードバックされ、ものすごく製品開発のサイクルが早くなったわけです。

これとは別に、製造プロセスのライフサイクルというものもあります。

これは、製品を製造するための装置やプラントに着目したもので、プロセス開発-設計-建設-それから実際に生産という流れです。これまでは各段階毎に進んでいたわけですが、AIとIoTが入って全ての段階が繋がり、それぞれの段階のスピードが速くなっただけではなく、スムーズに次の段階へとつなげられるようになりました。従来は、プロセス設計の際の情報が生産の現場にうまく伝わっていなかったりということがあったのですが、そういうことが激減することになります。

スマート化というのは、ただ“コンピュータ制御をする”ということとは違うわけですね。

山下 そういうことです。さらに化学プラントははじめ工場のスマート化の点に触れると、AI、IoTだけでなく化学工学や対象の知識が入っていることがポイントです。IoTはデータを収集し、AIはデータの解析や学習を行うわけですが、これらはどれも測定しているデータしか使えません。

ところがプラントを考えた時、現実にはほとんど異常を起こさない

ので異常データがありませんし、連続プラントでは定常値のまわりで運転しているデータしかないわけです。これではAIにとって役に立つデータがものすごく少ないので、様々な状態のデータなどを作らないといけません。それを作るにはモデルが必要ですが、そのモデルはどこにあるかという化学工学や対象の知識にあるのです。

化学プラントにAIを活用する際には、そこに化学工学の知識をちよつとも取り入れれば、出来るものがぐんと広がります。これはAIや人工知能に興味を持っていながら、化学工学の事がピンときていない学部生にもよく話します（笑）。

スマート化で昔のKKDからMSOパラダイムへ

山下 アナログ時代のプラント運用は、俗にKKD=勘と経験と度胸という言い方がされることもありましたが、これを合理的に意思決定する方法を求めて来たわけです。

合理的な意思決定をするためには、何かしらの最適化をするという事が、数理的な解になります。数理的な解を得ようとするモデルがないと始まりません。そしてモデルが出来たらさまざまな設定条件で計算する、すなわちシミュレーションします。そしてシミュレーションの結果、最もよいものを選ぶことが最適化なのです。

この「モデル化（モデリング）」「シミュレーション」「最適化（オプティマイゼーション）」の頭文字をとってMSOパラダイムと呼びますが、

なりますが、これまでの運転監視は過去の運転データだけに基づいてモデルを作っていたので、プロセスに関する知識を全く使っていなかったのです。ですので、例えばプロセスに関する知識を使って異常時に値が変化するかもしれない新たな変数を他の変数の組み合わせで予め考えておき、この変数も含んだ運転データを用いてモデルを作って異常検出や異常診断を行わせるという方法を提案しました。これにより異常の検出精度や診断精度が向上するわけです。

既存のデータのみに基づくのではなく、化学工学やプロセスシステム工学の知識があれば、“直接は測定していないけどあたかも測定しているように”プラント稼働が最適化できるわけですね。

山下 今おっしゃった事にあてはまる分かりやすい研究例が「仮装計測」です。これはソフトセンサーという呼ばれ方をすることもありますが、例えば流動層乾燥機の中の水分量を測ろうとした時に、多変量解析モデル等を使うことによって、本来測りにくい水分濃度を予測することが出来ます。そうすれば、いつ乾燥を終えればいいのかという適切なタイミングを知ることが出来、従来では余裕を持って長時間乾燥していた運転操作をピンポイントで終了出来ます。当然省エネ、省コストが出来るわけです。

また、クロマトグラフィーの原理で分離精製する疑似移動層という装置があります。ここで、例えば

近赤外のスペクトルを使って仮想計測することでこの装置内の3種類の糖の濃度を同時に推定できるようになりました。そうすると、疑似移動層のどこから、何を、どれくらい取り出せばよいかを最適化することが出来るということになります。

今話したように色々と研究していますが、いずれにしても製造現場に直接的に関わる事なので、学界での会議や活動もさることながら、企業の方々も参加いただく機会をいろいろと企画しながらさまざまな事に取り組んでいるという感じなのです。

先生のプロセスシステム工学を活用した研究成果が、プラントやものづくり以外の場で実装されたこともあるのでしょうか。

山下 ちょっと変わったところで、人の血圧コントロールへの活用例があります。

がんの治療法の1つに昇圧化学療法というものがあります。これは少し血圧を上げた状態を保つことで、がん細胞に対して集中的に薬が効くようにするものです。しかし、人為的に血圧を上げた状態を作りだすのに、そのための薬剤（昇圧剤）を点滴するのですが、どうい速度で与えるかなどは非常に難しかったわけです。また、医師の方もこの操作だけを専門に実施しているわけではないので、安定して一定の血圧に保つのが大変というのが現実でした。

それを行えるシステムを提案し、実際に装置を作って、臨床応用

でも良い結果を得られています。実は理論的には「プロセス制御」と通ずるもので、入力と出力の関係を解析して最適化するという点で共通していたのです。それなので、最初に使ったプログラムの中心部分は工場で触媒反応器を制御する時のプログラムを2行変えただけでした。

スマート化で変わる製品と製造過程のライフサイクル

製造業において、AI、IoTの導入前後での違いを、分かりやすくイメージ出来る例はありますか。

山下 マス・カスタマイゼーションは分かりやすい例だと思います。例えばオートバイのハーレー・ダビッドソンでは、インターネットの注文ページで、ハンドルの形から排気管の種類など細部にわたって消費者がフルカスタマイズをして注文出来ます。選択肢は千種類以上あると聞いています。そして世界中の消費者が注文を決定した時にはネットワークで繋がったアメリカにあるスマート工場に情報が共有されることはもちろん、必要な部品発注もリアルタイムやそれに近い短時間で行われ、結果、組み上げる現場へ部品はすぐに揃い、すごく短納期で完成することが出来るようになりました。

言い方を変えると、昔は日単位や週単位で報告がされて生産計画をしていたものが、時間単位、分単位で最適化されるのです。

例えばレーザープリンタがネット

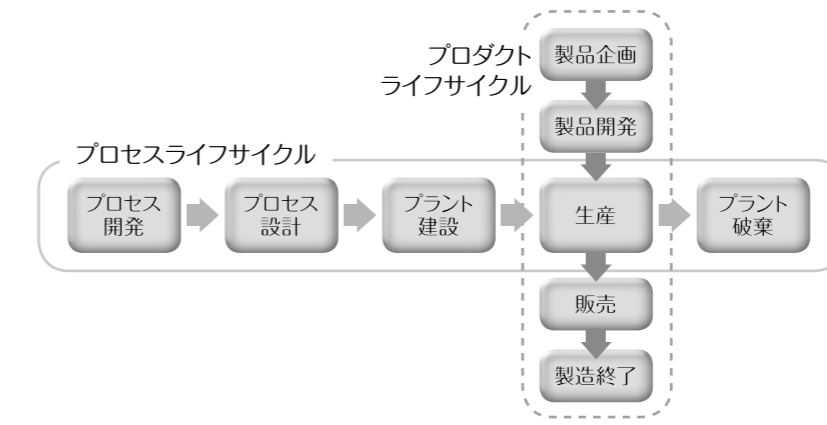


図1 製品ライフサイクルとプロセスライフサイクル

産学官との連携

ちなみに、学術界の研究にもAIは使われていくのでしょうか。

山下 研究者同士でそのような議論をすることはありますし、すでに多くの分野で、AIが研究開発に不可欠になっています。また、7月に、日本学術会議の化学委員会の小委員会で化学と情報科学の融合という提言をさせてもらったのですが、その時に有機合成の先生とAIをフル稼働したら、有機合成の研究者はほとんどいなくなるのではないかと議論をしました。実際にそういった用途のロボットはもう作られてもいます。有名なのはグラスゴー大学のクローニン教授が開発したシステムです。実は設計図が公開されているので誰でも作れるようになっています。

秋葉原も鉱物も化学も大好きだった理科少年

ここからは、山下先生の生い立ちについて教えてください。科学やコンピュータ、さらにはAIへの興味は子どもの頃からお持ちだったのですか。

山下 理科大好き少年でした。小学2年生の頃から「模型とラジオ」という雑誌が愛読書でした、小学4年生になると「初歩のラジオ」や「トランジスタ技術」という雑誌も読み始めて、ラジオやアンプを自作していました。また、鉱山で硫黄の原石を採集したりいろいろな鉱物を集めたりして、理科作品展に出品したりしていました。父

は有機合成の研究を行っていたのですが、その関係か化学関係の簡単な実験も試験管類を使ってしていました。ちなみにこの頃から秋葉原などの電子部品ショップにはときどき行っていました。小学生で受けたアマチュア無線の試験は、電波法規を勉強していなかったので残念ながら合格とはいきませんが、小学校の卒業文集には、将来の夢はエンジニアと書いていました。

中学、高校時代も、扱うものの複雑さは増しながら、理科系のことに色々と手を出していました。理科や数学は大好きでした。

高校生の頃にマイクロコンピュータが世に出回りはじめたのですが、初期のアップルのコンピュータを持っている友人が一人いたくらいで、日本ではほとんど目にすることもありませんでした。コンピュータにはすごく興味を持ち、大学受験が終わってすぐに合格発表も待たずにアメリカから部品を直輸入して、自分でハンダ付けしてマイクロコンピュータを組み立てていました。受験の最終日の帰り道に本屋に寄って関連する本を何冊も買ったことを記憶しています。高校の部活は化学部でしたが、電子回路なども依然として好きでした。

大学は工学部で化学工学を選びました。電気系（当時はまだ情報系はありませんでした）を選ばなかったのは、コンピュータを作るよりも使う側になりたかったからです。コンピュータを用いて化学系の研究をし、エンジニアになりたいという思いを抱いていました。

山下 今後もAIやIoTを活用した製造業をはじめとしたスマート化の研究、提案を続けていくことは変わりませんが、特に最近色々な企業で実装される中で問題となっていることが3つほどあります。1つ目は人材の問題、2つ目はデータが少ないという問題。この2つはすでにお話ししましたが、3つ目はAIが結果を出しても、なぜそうなったのかを説明してくれないという問題です。それはAIが持っていない機能で、囲碁のチャンピオンに勝ったアルファ碁もなぜその手を打ったのかを説明できませんでした。これがプラントの場合ですと、プラントが異常だと分かってもなぜそう判断したのかが分からないということになります。こうした問題の解決を図っていききたいと思います。

人材の問題はこれまで同様に色々と活動していきたいですし、2つ目と3つ目の問題はAIと化学工学を上手に融合しながら進めたいと思います。

他にもう1つ、プラントから少し離れるのですが、物質や材料を作る際のプロセス開発に利用されるAIの分野でもプロジェクトにもかかわっています。プロダクトの研究開発に近い形です。この分野では構造と機能をどう関連させるかが重要で、同じ物質から製造しても作り方で全然違うものが出来上がります。こうしたところに化学工学のプロセスの考えをプラスして、構造とプロセス、そして機能の相関について研究するものです。

ています。エピファニーというのは顕現祭という意味で、幼子イエスが公に現れたことを祝う祭りのことです。どういうことかという、これまでデジタルに抵抗があった人たちがコロナ禍でデジタルの有用性に気が付いたことになぞらえて言っています。私もその通りだと思います。

化学プラントのスマート化や、AI,IoTを導入したプロセスシステム工学的な最適化は、古いプラントや古い機器にも適用出来るものなのでしょうか。

山下 もちろんです。日本には昭和40年代に建設された古いプラントなども多いですが、DCS（プラント稼働のための分散制御システム）のデータはあるので。それを解析して、今どのような運転状態なのか等、色々な指標から知ることが出来ます。別にプラントを建て替えないとプロセスシステム工学が適用出来ないわけではありません。最近では、装置に簡単に付けられる無線センサなども普及してきました。

また、今ある特定の装置について、例えば物質収支や熱収支だけでもシミュレーションを行ってみると色々と最適化すべき事柄などが分かってきます。

今後、山下先生が取り組んでいきたいとお考えの研究テーマやプロジェクトについて教えていただけますか。

産学官との連携

このMSOパラダイムがプロセスシステム工学の本質である、ということになります。このモデル化のところに、単にデータを活用するだけでなく、化学工学の知識が入っていることが重要です。

製造業のスマート化が進化していくと、プラントの完全自動運転まで現実になっていく可能性はありますか。

山下 完全自動化まで行くかどうかは、色々な議論がなされています。実はシステム工学的には、自動化のレベルは11段階に分けられています。どの段階まで自動化するのかについては、対象によって適切に意思決定すべきものでありなんでも完全自動化するのが一番良いというわけではありません。例えば、プラントには手動で操作する弁もたくさんあるのですが、それらはめったに動かさないので、自動で操作できるようにするとコスト的に見合わないというようなことが起こります。安全の視点も重要で、処理速度やヒューマンエラーをどう

するかというようなことも考える必要があります。

ちなみに自動化の最上級レベルは、「人間が質問しても何も絶対に答えてくれないレベル」です。どんな運転をしているのか、人間が問うても教えてくれないほどに自動化されるという形です。

そういうことがありますので、自動化をどのレベルにすべきかという事はポリシーの問題です。プラントの完全リモート操作も可能かもしれませんが、それを現実に行おうと計画しているところはないと思います。

コロナ禍の中で様々な事が一気にリモートに移行しました。在宅で仕事が出来、出張がリモートで十分対応出来ているという話も聞きます。そして、プラントにしてもリモートで操業できたらという要求は確かにあります。

そうした中で、デジタル化も進んでいくように感じています。世界経済フォーラムの出版物でもそのような記事が出ていまして“デジタルエピファニー”という言葉で説明され

- (1) システムの支援なしに、すべてを人間が決定・実行
- (2) システムはすべての選択肢を提示し、人間はそのうちの一つを選択実行
- (3) システムは可能な選択肢をすべて提示するとともに、その中の一つを選んで提案、実行するかどうかは人間が決定
- (4) システムは可能な選択肢から一つを選び人間に提示。実行するか否かは人間が決定
- (5) システムは一つの案を提示 人間が了承すればシステムが実行
- (6) システムは一つの案を提示 人間が一定時間以内に中止しなければその案が実行される
- (7) システムは一つの案を提示すると同時にその案を実行
- (8) システムがすべてを行い、何を実行したかを人間に報告
- (9) システムがすべてを決定・実行 人間に問われれば何を実行したかを報告
- (10) システムがすべてを決定・実行 何を実行したかを人間に報告するのは必要性をシステムが認めたときのみ
- (11) システムがすべてを決定し、実行

図2 システムの自動化レベル

