

特集事例

管理工学科と IE 研究室の紹介

—慶應義塾大学 稲田研究室—

稲 田 周 平*

Introduction to the Industrial Engineering Laboratory

Shuhei INADA

キーワード : Industrial Engineering, 経済性工学, 生産システムマネジメント

1. はじめに

私が慶應義塾大学理工学部の管理工学科を卒業して早 30 年が経とうとしています。私が学生のころは、経済性工学の千住鎮雄先生、Operations Research (以下, OR) の関根智明先生、Industrial Engineering (以下, IE) の川瀬武志先生といった個性あふれる先生方が管理工学科に数多く在籍され、多くのことを教えていただきました。

私自身は、なぜか子供のころから朝のゴミ回収や道路工事など、行われている仕事をじっと見ているのが大好きでした。この影響があったのかどうかはわかりませんが、学部 4 年生の研究室配属では、中村善太郎先生のもとで IE を勉強することとなり、以来ずっと、IE に興味を持って研究を続けています。4 年生の卒業研究では、ファクシミリ・マシンの組立工程に張り付いて、そこでの作業改善を実施しました。とても楽しかったことを記憶しています。当時の中村研究室には、日本人の修士の学生のほかに多くの留学生が在籍していました。IE だけでなく、経済性工学や生産スケジューリング等、数学やコンピュータを利用した理論研究についても関連

に議論が行われていました。“門前の小僧、習わぬ経を読む”といわれますが、当時、研究の右も左もわからない私が、自然に経済性工学や OR の面白さに目覚めていったのも、このころです。今から思えば、私の現在の研究範囲が、そのころ、ぼんやりと形作られていったのだと思います。

大分、前置きが長くなりましたが、今回、編集委員会より、私の研究室とそこでの研究内容を紹介する機会をいただきました。ここ数年、人工知能や Industry 4.0 等、経営工学を後押しする追い風が吹き続けています。IE に関しても、センサーによって集められた大量のデータを活用する技術や静止画や動画の意味解釈、強化学習を利用したロボット制御等、IE の理論と生産現場を近づける技術が大幅に整いつつあるように考えており、これらの新しい技術を取り入れながら研究に取り組んでいます。

2. 管理工学科の紹介

特集のテーマが、「経営工学を深める大学・経営工学を活用する企業」ということですので、自身の研究室を紹介する前に、私の所属する管理工学科について説明しておきたいと思います。所属する管理工学科は、山内二郎先生が中心になって創立され、本年で 60 周年を迎えることになりました。“管理工

* 慶應義塾大学理工学部管理工学科

受付 : 2019 年 10 月 20 日

学”というネーミングは創立当時から変わっていませんが、私たちは当時の先生方の思いを引き継ぎ、“経営工学”ではなく“管理工学”というネーミングにこだわり続けています。

表1を見ていただきたいと思います。学科は大きく4つの分野で構成されています。それぞれは、「システムと人間」、「応用統計と最適化」、「コンピュータと情報処理」、「経営と経済」となっており、それらに紐付く形で7つの研究分野が存在します。学科紹介の文章をもとに、それぞれの分野を教育と研究の視点から簡単に紹介しておきます。

【システムと人間】

ほとんどのシステムは人間が使うことが前提であったり、人間そのものがそのシステムの一部であったりします。そこで、人間の行動や心理、機械やコンピュータの特質を捉え、相互がスムーズに働くシステムを考えます。インダストリアル・エンジニアリング、生産工学や人間工学、システム工学などがこれに対応し、ヒューマンエラー、高度道路交通システム、ICタグを利用する生産物流システムなどの研究が行われています。

【情報科学と人工知能】

プログラミング、アルゴリズム、ソフトウェア工学、人工知能、機械学習など、実践的な情報システ

ム技術を習得します。「知識推論・音声対話・画像センシング・動作計画・機械学習を統合した統合AI」、「個人・群集の行動をシミュレートし意思決定と行動を支援する分散人工知能技術と災害避難への応用」「人と共生する自律型汎用人工知能開発」「深層学習によるパターン認識への応用」の研究も行われています。

【応用統計と最適化】

データから状況を把握・分析し、それらを数理モデル化して最も効率的な解を導き出すための手法を学びます。データを収集したうえで、そこから役立つ知識を得るための統計解析、ものづくりで力を発揮する品質管理や品質工学、現実問題を反映した数理モデルの構築、数学的手法で経営戦略などを研究するオペレーションズ・リサーチなどがあります。

【経営と経済】

企業経営に必要となる経営や経済に関する問題を、工学的・数学的に解決する方法を学びます。経営管理論・金融リスクの評価と制御、投資理論、会計やマーケティング、経済分析や企業意思決定メカニズムを考える決定理論などが対象となります。資産運用モデル、金融市場の分析、リアルオプションなど金融工学分野の研究、ゲーム理論、価格設定メカニズムなど経済分野の研究が行われています。

表1 管理工学科における4つの教育分野と7つの研究分野

教育分野	研究分野			
システムと人間	ヒューマンファクターズ・システム工学	人間工学 安全管理 自動走行システム	高速道路交通システム(ITS) ヒューマンファクターズ 技術経営	ユーザーエクスペリエンスデザイン 航空安全
	インダストリアルエンジニアリング(IE)	生産在庫管理 スケジューリング IE	動作研究 SCM 生産システムマネジメント	経済性工学 生産情報システム
応用統計と最適化	統計学	応用統計解析 実験計画法 マーケティング調査	データサイエンス 多変量解析 品質管理	統計モデリング 統計的機械学習
	オペレーションズリサーチ(OR)	数理モデリング システム最適化 評価とリスクのマネジメント	空間データ解析 意思決定論 社会システム分析	社会シミュレーション 地域モデル分析
情報科学と人工知能	ソフトウェアシステム・情報システム	エンドユーザー向けAIアプリ開発ツール 人と共生する自律型汎用人工知能 社会基盤構築のための先進的ソフトウェア工学	機械学習によるパターン認識技術 AIロボットによるスマート社会創造 群知能と創発システム	社会シミュレーションとデータ同化 深層学習によるデータ解析技術
経営と経済	金融工学・経営管理・経営計算	資産運用 金融市場分析 ポートフォリオ理論	シミュレーション技法 金融資産評価 リスク管理	フィナンシャル・プランニング リアルオプション分析
	経済学・経済分析	ビジネスエコノミクス ゲーム理論 競争的マーケティング戦略	経営科学 情報の経済学 サプライチェーン・コーディネーション	経営戦略 価格設定

管理工学科では、逆 T 字型人間の育成を教育方針に掲げています。逆 T 字型は、4 分野にまたがる幅広い視野の習得と特定分野における深い専門性の確立を意味します。そのような趣旨から、本学科では、偏った体制にならないよう表 1 に示すような 4 分野からなる教育・研究体制をずっと維持しています。現在、管理工学科には 22 名の教員が在籍しており、一学年に 110 名前後の学部生が在籍しています。各研究室に 6 名前後の学部生、加えてマスター、ドクターが在籍する形になっており、きめ細かい教育・研究指導を行う体制が整えられています。

3. 研究室と研究内容の紹介

私の研究室は、「システムと人間」分野のなかの IE 分野に所属します。同じ IE 分野の研究室としては、松川弘明先生と志田敬介先生の研究室があります。生産システムのマネジメント技術を取り扱う研究室として、顧客に製品やサービスを提供するシステムの生産性向上に役立つ技術や方法論の提案を行っています。研究に際しては、私が実際の生産システムやサービスシステムに入り込んで見たり聞いたりした物事をベースにモデルを作成し、理論的にアプローチする形態をとっています。現場べったりになり過ぎず、また、理論を超えて妄想の世界に入り込まないように心掛けています。目の前にある現場の問題解決も勿論ですが、これからのシステムを見据えたなかで、役立つものを提案していきたいと考えています。

以下に研究室で行っている研究内容のいくつかをご紹介します。最近では、本会論文誌等を通じて、それらの内容を紹介するように努力しています。併せて、ご一読いただければ幸いです。

3.1 ロボット組立セルでの作業計画立案

部品の微細なコントロールを伴う組立工程にロボットが本格的に利用されるのは、もう少し先の話ではないかと思っていますが、近年、工場の中で産業用ロボットを利用する機運が高まっています。現段階のロボットは教示された内容を忠実に繰り返

すだけで、その仕事内容を自分で評価したり、改善する積極的な仕組みを持ち合わせていません。改善のためには教示プログラムの変更が伴いますが、微細な位置調整等のチューニングを含むことから、実務においてプログラム変更を手軽に行うことはできていないようです。継続的改善は日本企業のお家芸でしたが、ロボット導入がこれを阻害しかねないと捉えています。このようななかでは、1) 生産効率の高い作業計画を事前にしっかりと立案してロボットに教示すること、それから、2) ロボットが受け持った作業をロボット自身が自律的に改善する仕組みを整えることが大事になるように考えています。

このようななか、研究室では前者の立場から、図 1 に示すような双腕型ロボットが組立作業を行うロボットワークセルを想定したもとの、ロボットの効率的な作業計画、ここでは、部品の組立順序と、左右のロボットハンドへの仕事の割り振りを決定するためのアルゴリズムを考察しています[1](図 2)。組み立てのための総作業時間を可能なかぎり短縮する作業計画を探索していますが、この際、強化学習を利用しています。強化学習を利用することで、製品の物理的な構造を事前に調査することなく、試行錯誤のなかで効率よく解を探索することを可能にしています。当初は、非常に簡単な積み木の組立作業を出発点にしましたが、最近では、図 3 に示すようなさらに複雑な機械製品への適用や、ニューラル・ネットワークを利用した解探索の効率化などにも挑戦しています。

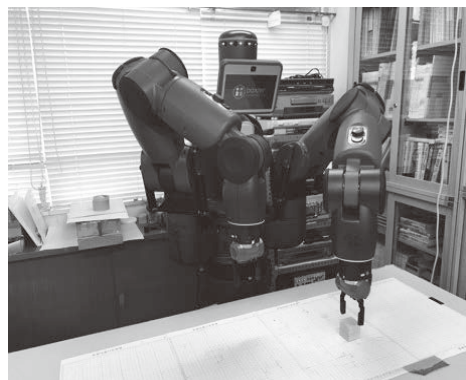
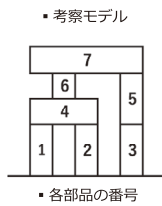
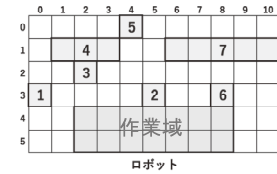


図 1 双腕型ロボット Baxter

① 部品の初期配置レイアウト



② レイアウトのもとでのロボット手の動作計画

	ステップ1	ステップ2	ステップ3	ステップ4
左手	①(25.741秒)	④(27.286秒)	⑥(24.643秒)	⑦(21.158秒)
右手	②(26.01秒)	③(25.951秒)	⑤(24.323秒)	

総組立時間：26.01+27.286+24.643+21.158=99.097秒

図2 ロボットの作業計画立案（概念図）

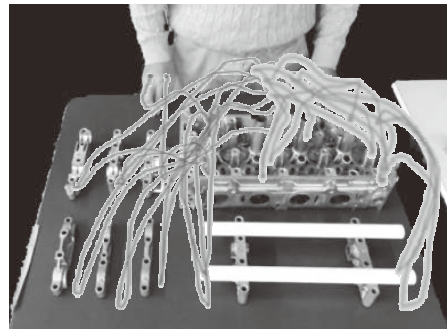


図4 組立作業における手の移動の軌跡

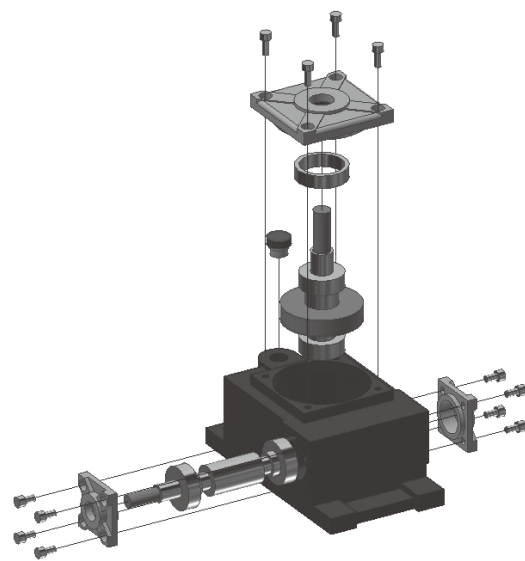


図3 やや複雑な機械製品モデル

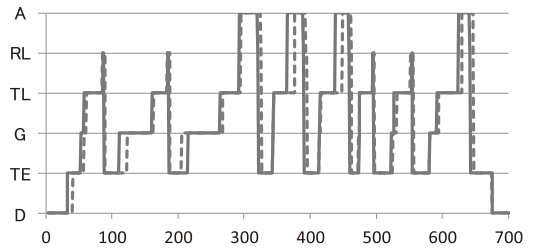


図5 サブプリング分析の結果（左手）

3.2 画像処理技術を利用した作業分析システム

古くから IE の分野では、動作・時間研究のなかで作業者の動きを分析するための方法がいくつも提案されてきています。現在においても、製造企業での標準時間の設定やムダ作業の発見・排除のために欠くことのできない分析技法になっています。一方で、生産品種数の増加や製品のライフサイクルの短期化に伴って各製品の作業分析が追い付かず、作業標準やその標準時間を準備できていない企業も多いように受け止めています。

このようななか、研究室では、組立作業の分析を自動化して分析負荷を軽減するための研究を行っています。図4と図5は模擬的な組立作業の分析結

果を示したものです。現在では、OpenCV など、コンピュータ上で画像解析を行う環境が整ってきており、作業者の両手の動きを追跡する（図4）ようなことは、少し勉強すれば簡単にできるようになってきています。また、図5は、提案手法を使って自動分析した組立作業のサブプリング分析（左手の微動作）の結果になっています。点線と実線は熟練作業（実線）と非熟練作業（点線）の動作差異を示しています。現段階では、部品と手の関係からサブプリング記号を類推するアルゴリズムになっており、実用にはまだまだ程遠い段階にあります。近年では、静止画だけでなく、動画に対してラベル付けを行う研究が情報技術分野で盛んに行われており、これらの研究結果を利用することで、分析の精度を高めていきたいと考えています。

3.3 不確実下における設備投資方策の評価

経済性工学は、経済的に有利な方策を探し、比較・評価し、選択するための技術です。千住鎮雄先生がこの分野を体系化されて以来、現在でも、毎年多くの実務者が経済性工学を学んでいます。

このなかで、“投資の意思決定は、最終的には気合いですよね”といった指摘や、“そんな魔法のような理論はありませんよ”と答えざるを得ない質問を実務者からよく頂きます。呆気（あつけ）に取られることも多いのですが、よく考えてみると、これらの背後には、“将来の不確実性”の存在があることに気づきます。不確実下での分析理論や技法が未だ不十分であることの証左だと受け止めています。

不確実な事象を取り扱う際には、しばしば確率が利用されますが、設備投資評価での利用は、色々な側面でハードルが高いと考えています。このため、“投資案の安全性”という概念に依拠して、投資案の選択意思決定を助ける方法を考察しています [2]、[3]。一例として、図 6 は、複数個の投資案の収益性と安全性を視覚的に比較・評価するための分析図です。製品を製造して市場で販売する際には、製品の販売価格や販売量、さらに製品の市場寿命といった要因が、不確実であることが一般的です。図 6 では、投資案が、その初期投資額、年間固定費、変動費単価に基づいて、XY 平面上に三角形として描かれます。すると、製品の販売価格や販売量、市場寿命の不確実変動に対する案の安全性が視覚的に分析可能になります。理屈は割愛して、ここでは結果のみを示しますが、図 6 では、案 M の収益性は案 N よりも高い、販売価格と販売量の下落に対して案 M の安全性は案 N よりも高い、一方で、市場寿命の短縮に対しては案 N が安全であることが、点 P と案 N を示す三角形の頂点を結ぶ点線と案 M を示す三角形の頂点の位置関係から判断できます。

投資案を導入した（例えば、生産ラインを敷設した）あとの改善については、日本企業は高い技術力を身につけてきました。これからは、導入前の計画を支援する技術の充実が不可欠であり、その意味でも経済性工学の研究が大事だと考えています。

4. おわりに

以上、本稿では、私が所属する管理工学科と研究室で取り組んでいる研究テーマのいくつかを紹介させていただきました。冒頭にも書きましたが、

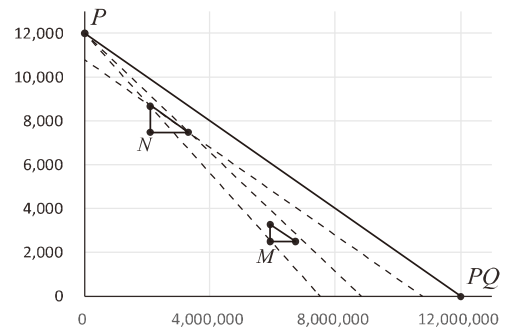


図 6 設備投資案の収益・安全性分析図

近年では深層学習や機械学習等の情報技術が飛躍的に進展しており、経営工学のなかでこれまで提案されてきた理論と実務の距離を近づける道具立てが揃ってきたように思っています。IE 分野に限りませんが、本稿をお読みいただいている学生さんや若手研究者が、経営工学への興味を深めていただけたとすれば嬉しい限りです。また、私が併せて所属する大学院には国内外を問わず他大学出身の学生が多数入学し、学んだことを生かして社会へと進んでいっています。経営工学分野のなかで、積極的に自身のキャリア形成を図ってみたいと思います。

参考文献

- [1] 渡邊啓次郎, 荒井恭介, 稲田周平: “強化学習を利用した製品組立順序の自動探索”, 日本経営工学会論文誌, Vol.69, No.3, pp. 121-130 (2018)
- [2] 稲田周平, 長町悠樹, 坂田 啓: “複数の製品候補が存在する場合の製造投資案の安全性分析”, 日本経営工学会論文誌, Vol.64, No. 1, pp.53-62 (2013)
- [3] 稲田周平, 市来寄治: “単一製品の販売価格・販売量・市場寿命の不確実性に対する製造投資案の安全性分析”, 日本経営工学会論文誌, Vol.70, No.2, pp. 62-70 (2019)

いな だ しゅう へい
稲 田 周 平

1983 年慶應義塾大学理工学部管理工学科を卒業。
現在, 同学科准教授。専門は Industrial Engineering,
経済性工学。