管理工学におけるIE研究

志田　敬介

本稿では，管理工学科での IE (Industrial Engineering) の講義と現在進めている研究のいくつかについて紹介する．講義については，単に理論や手法を教えるだけではなく，実践を意識して構成しており，全 15 回の講義目的や進め方について紹介する．また，後半では，現在取り組んでいる研究について，IoT との関連性の高い内容について触れる．IoT の進展は，必要な情報を必要なときに必要な人へ提供し，共有化することを可能にするもので，現状作業の分析，改善案の策定，その実行までのプロセスを大きく変える可能性があり，今後のものづくりの革新に寄与すると考えている．

キーワード：Industrial Engineering，IoT，技能伝承，良品条件，作業管理

1. はじめに

私が所属する管理工学科は，七つの研究分野に大きく分けられ，その中の IE (Industrial Engineering) 分野に私の研究室は所属している．同じ IE 分野の研究室には，松川弘明先生と稲田周平先生の研究室があり，3 名の教員で IE 分野を担当している．三つの研究室は互いに自立し，独立して研究を推進しているが，実際のものづくりの現場を大事にするという管理工学科における IE 分野の伝統は守られている．

2. 大学における IE

学生は，学部 2 年時に専門基礎科目として IE の講義を履修し，3 年時に IE に関する実験科目を履修する．これによって作業研究や時間研究といった 2 年時に座学で学習した基礎的な知識を 3 年時に実験を通して体験的に学習することができる．これにより，知識の定着だけでなく，実際に活用できる能力を習得させることを目指している．IE の分析手法は，頭で理論や方法を理解していても，実践が難しい場合が多い．管理工学科の卒業生であれば，社会に出たのち，自ら作業分析を実践し，その結果を用いて改善案を理論的に導出することができるレベルに達しておくべきと考え，カリキュラムを構成している．

学部 2 年時の IE の講義は，表 1 に示す講義タイトルで 15 回実施している．

第 1 回と第 2 回は，IE の考え方や哲学，また，これまでの日本における IE の歴史的な背景を主にアメリカとの関わりや比較の中で解説をする．さらには，現代の企業の中で実際に行われる改善事例を多数紹介することで，IE の重要性や位置づけを学んでもらうことを目的に進める．第 3 回目から第 8 回目では，作業研究に関する講義を行う．作業分析の対象を工程，単位作業，動作，動素に 4 分類し，対象に応じた分析方法を 2 週に渡り講義する．この 2 週のうち第 1 週目は，主に基本的な用語や定義，分析手法など各トピックスの基礎的な内容について講義する．第 2 週目は，実際の工場における改善事例を使って講義する．たとえば，工程分析では，工程の状態を作業（加工），検査，移動，停滞，保管の五つに分類し，分類結果に価値を付けることの重要性を理解させる．さらに，工程を分類するだけでなく，フロー・プロセス・チャート (Flow Process Chart)，フロー・ダイアグラム (Flow Diagram)，オペレーション・プロセス・チャート (Operation Process Chart)，ストリング・ダイアグラム (String Diagram) といったさまざまな表現方法を目的に応じて適切に使

表 1　IE 講義タイトル

	講義タイトル
第 1 回	生産性と IE
第 2 回	IE の歴史と改善事例
第 3 回	工程分析の基礎
第 4 回	工程分析の応用
第 5 回	マンマシン分析の基礎
第 6 回	マンマシン分析の応用
第 7 回	サーブリグ分析の基礎
第 8 回	サーブリグ分析の応用
第 9 回	設備保全と設備稼働率
第 10 回	仕事の構造 1（ものこと分析）
第 11 回	仕事の構造 2（加工点と良品条件）
第 12 回	ワークサンプリング
第 13 回	標準時間
第 14 回	ラインバランシング
第 15 回	まとめ

しだ　けいすけ
慶應義塾大学理工学部管理工学科
〒 223–8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3–14–1
shida@ae.keio.ac.jp

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

い分けることができるようにすることを狙っている．これら第 1 週目の講義内容をもとに，第 2 週目では，工程分析を実施することで改善が進む工場の事例を題材に講義を行う．学生は，現状作業について工程分析を行い，問題点の抽出や定量化を行う．その際，改めてフロー・プロセス・チャート，フロー・ダイアグラムといった表現方法を講義し，重要性を理解させる．実際の作業を対象にすると作業者の想定外の動作や作業中のトラブルが含まれるので，学生はその判断に迷いが生じる．それらを適切に判断するための基本的な考え方を習得させることも狙っている．このようにさまざまな例外について，すべてを事前に網羅して教えることはできないので，それらをその都度適切に実践の場で判断できる能力を習得させることが実践を考慮すると重要になると考えている．最終的には，現状分析から改善案の導出までを学生が行うが，学生にとっては，初めて改善案の検討なので，当然，稚拙な改善案から壮大な改善案までできあがる．その経験を経て，実際の工場での改善作業をビデオで紹介すると，その技術レベルの高さ，発想の豊かさ，完成度の高さに学生は感動し，改めて自分たちが考案した改善案に反省する学生は少なくない．講義終了後に，やや興奮気味に教壇へ近づいてきて，紹介した改善案のさらなる改善点や問題点を語ってくれる学生たちの様子からも，彼らの熱意が伝わる．このようにして，基礎と応用に講義を分け，理論と実践を意識した講義を行う．第 9 回目から第 11 回目は，設備機械について保全管理などの基礎的な内容から加工点研究や良品条件といった品質管理に関連する内容について事例を用いて広く講義する．特に，加工点研究，良品条件の考え方（詳細は後述する）は，昨今の IoT にも大いに関係し，ビックデータ，データサイエンス，AI といった内容を含むので，学生は強い関心をもって講義を受講しているように感じる．第 12 回目から第 14 回目は，時間研究について講義する．これらの回の講義では，互いの講義内容のつながりを意識している．ワークサンプリング，標準時間，ラインバランシングは，互いの内容を独立に講義することもできるが，本講義では，その関連性，連続性を強く意識させたく，ワークサンプリングの結果を用いて標準時間を設定し，ラインバランシングに応用するモデル作業を用いて，講義している．最後の第 15 回目は，現在の製造業の課題や組織の問題点，改善活動などについて，少し広い見地から解説すると共に，学生とディスカッションを行い半期の講義を振り返る．

3. 産業界における IE

近年，IE を大切にしている企業とそうではない企業とに，産業界は二極化しているように感じる．特に，いまだに IE はストップウォッチを使った時間計測手法や生産性向上における時間短縮のための一つの手法に過ぎないと認識する企業においては，IEer (Industrial Engineer) が減りつつある傾向に感じる．そもそも，製造業において固有技術と管理技術は，経営の両輪である．固有技術は，売れる製品を開発する技術であり，多くの工学部の卒業生がその開発において貢献している．一方，管理技術は，「良い製品を，安く，大量に作る技術」で，経営工学を学んだ卒業生の活躍の場である．現状を正確に分析・評価し，人・もの・金・情報を良い流れに改善することで，それらを統合的な視点で改善していくことが彼らには期待されている．

しかし，IEer が減りつつある企業では，生産性の評価，ムリ・ムダ・ムラの評価が適切に下せないことによる弊害が生じつつあると感じる．たとえば，現状を正確に分析・評価することで，改善余地を把握し，人・もの・金・情報の流れを向上させることが必要だが，IEer が不在のため現状を正しく評価できず，改善目標を対前年比で設定したり，過去の改善効果を基に目標値を設定したりと，相対的な比較で目標値を定め，それに向かって改善を進めることが少なくない．一律，前年比 X %コスト削減など，個別の現状を考慮せずに，直接部門，間接部門にかかわらず，改善の目標値を設定することはその典型例で，現状分析を正しく行う力の欠如である．この原因は，製造拠点のグローバル化，製造委託化，過度な事業部制などさまざまあるが，そこには IEer の絶対的な不足が共通すると考えている．

この状況は，トップマネジメントの意思決定にも影響を及ぼす．トップマネジメントへの社内報告では，基本的にネガティブな報告は極力しない．現場を良く知るトップマネジメントであれば，そういった状況であっても問題は生じにくいが，必ずしもすべてのトップマネジメントが現場を良く知るとは限らない．その結果，トップマネジメントは現場からの報告を信用せざるを得ず，全社的な改善活動は順調に進んでいると勘違いをする．このことは，本社部門が各事業部門や子会社の改善をリードせずとも各自で PDCA を回すことができるとトップマネジメントを判断させる．その結果，本社主導で全社的な改善を支援する生産技術部門から IEer が減ることに繋がり，日本のものづくりが低迷する要因の一つになったと考えている．

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

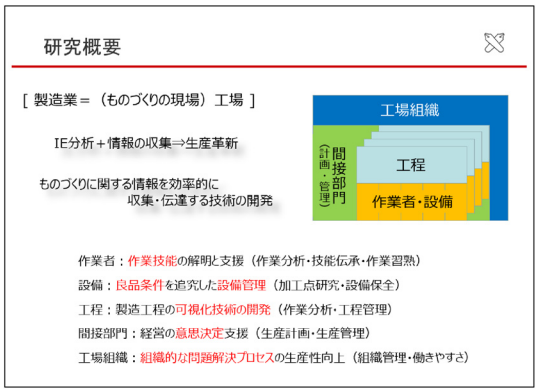

図 1　研究の概要

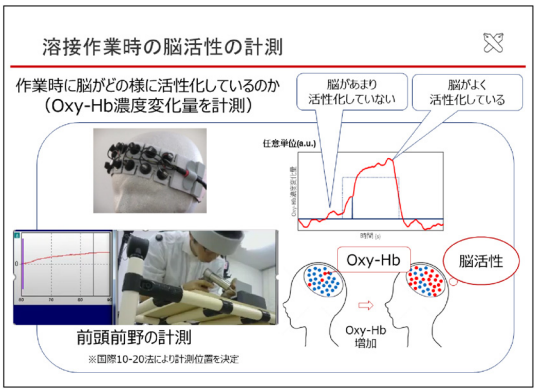

図 2　技能習得に伴う脳活性の変化の計測

IoT (Internet of Things) が提唱され約 10 年の月日が経過し，社会的な認知度は定着してきた．さらには，センサー，無線 (5G/LTE/3G)，人工知能の発展とともに，その活用・応用の場がひろがりつつある．このような IoT の進展は，ものづくりの現場で IEer が減っていることによるいくつかの問題を解決する可能性があると考えている．ここで大切なことは，IoT を活用して現場，人，設備を管理，統制することが目的ではない．生産に必要な情報（たとえば，在庫の情報，設備の情報，品質の情報，作業者の情報，物流の情報）を見える化，共有化し，従来よりも細やかで，しなやかな，ものづくりを実現することにある．

このような問題意識のもと研究に日々取り組み，実際のものづくりの場において役に立つものを提案していきたいと考えている．

4.　研究概要

私の研究室では，図 1 右上図に示す四つのカテゴリーに工場を分類し，それぞれのカテゴリーにおける問題を対象に研究を進めている．工場では，作業者や設備などの直接部門が製品の組立，加工を行う．これらの作業者や設備が複数集まると工程となる．さらに，工場には，複数の工程があり，これらの工程の仕事を間接部門が計画，管理する．これら直接部門と間接部門から工場組織は構成される．以下に，IoT との関連性の高い，人間の意思決定を情報技術がサポートする研究に関していくつか紹介する．

4.1　作業者の作業技能の解明と支援（作業分析・技能伝承・作業習熟）

2007 年度版「ものづくり白書」[1] において，「ものづくり基盤強化のための人材育成」の重要性が述べられて以降，昨年度発行の 2019 年度版 [2] に至るまで，この約 10 年間，一貫して人材育成に向けたマネジメントシステムの確立が急務であることが指摘されている．しかし，実際の技能教育への取り組みは，「日々の業務を通じた伝承」，「指導者を決めた計画的な OJT」，「やさしい仕事から難しい仕事へのジョブローテション」といった「人」から「人」への伝承が主流となっている [3]．この「人」から「人」への伝承は，1．生産拠点の海外移転による産業の空洞化，2．技能労働の機械化・委託化，3．熟練労働者の高齢化，によって十分に機能するとはいえない状況にある．

このような社会背景において，技能伝承に関する重要性が改めて認知され，近年では，実務面，学術面の双方において研究が行われている．特に，力学的触覚や運動技能などの身体知の獲得プロセスの解明は，製造業の技術力を向上させるうえで，産学共に，さらに継続的な研究が必要である．ところが，実際の作業では，これらの運動技能に加え，作業が正しく行えたかを作業者自身が判断する技能（以降，判断技能と呼ぶ）も求められる．この判断技能は，作業者の視覚や触覚，聴覚などの五感によって高度に作業を弁別・評定できる技能で，運動技能と判断技能の二つが習得されて初めて技能伝承が完了する．しかしながら，これまでの技能研究では，運動技能に着目されることは多いが，判断技能は対象となることは極めて少なかった．私の研究室では，熟練者の能力を支える判断技能に着目し，技能伝承における人間の知覚のメカニズムの解明を目指している．人間の知覚として生理反応全般を測定するが，特に，技能を習得する過程における脳活性の変化について注目しており，図 2 のような環境で計測している．

4.2　良品条件（100%良品）を追求したものづくり

「品質」と「生産性」の追求は，国内外を問わず製造

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

業における重要な経営課題で，各社，その問題解決に向けた努力を継続している．ここでは特に「品質」に着目して IoT との関連の深い研究について述べる．従来の品質管理では，発生する不良を偶然現象と捉え，その不良現象を確率的に管理してきた．この統計的品質管理は，ものづくりの発展に大きく貢献し，わが国のものづくりの高い信頼性を支えてきた．製品技術部門が開発した製品を，生産技術部門が定めた工法で，製造部門が生産し，品質管理部門が品質基準や検査方法などの管理方法を決めている．しかし，昨今の製品は，従来よりも高機能，高性能，高品質であることが求められ，高い生産技術での生産が製造部門に求められる．しかも，経理部門からは常に強いコストダウン要請を受け，短期間で製品設計，工程設計を完了し，垂直立上げが求められる．その結果，これまでのように，発生した不良の原因を分析し，その対策を講じるような事後的な管理方法では不十分な状況になりつつある．このような背景の中で 長田 [4] は「不良ゼロを目指した良品条件追求型のアプローチ」を提唱している．この論文の中で，長田は新たな品質管理方法について次のように述べている．「工程品質は加工技術の結果としてもたらされる．そこでは技術としてのレベルの高さと安定的に継続するための管理の仕組みが必要である．この視点で統計学を使った品質管理の手法は大いに貢献した．この手法はさらに各種解析手法などにより発展している．一方で，本当に良品だけをつくり込むには，その技術に加えて良品条件を追求する必要がある．近年は技術の進化と共に可視化やデータ化が進み，統計を使わなくても 1 個ずつの良品状態と良品条件が，データで瞬時に見えるようになってきた．従来から，問題解決には 3 現主義で事実を正しく知ることが大切といわれてきたが，これらのツールにより実現しつつある．直接に製品を見なくても良品条件で品質をつくり込み，先手管理で保証できる時代になった．正に良品条件マネジメントで科学的管理ができるのである」.

これは，IoT との親和性が非常に高い品質管理方法と考えており，さまざまなセンサーを通じて加工時の情報を収集し，良品条件を維持管理することで，100 % 良品を目指した品質管理の実現が可能になると考えている．100％良品を生産する技術は，単に不良の発生によるムダを削減するだけでなく，外観検査や機能検査の廃止，さらには加工機・生産設備の予知保全にも繋がり，大きなコストダウンの可能性を秘めている．この技術の確立は，わが国のものづくりの復権に関わると考え，現在研究を進めている．図 3 は，ある加工機械の電流値，電圧値，刃物角度，押し付け圧力など約 80 点の測定項目に関して 20 msec 間隔でデータを収集し，約 30 万個の製品について良品の場合と不良の場合を数理的に解析した結果の一例である．この解析結果と加工理論・メカニズムの観点から良品条件を確定し，その条件が順守されているかを製品 1 個 1 個すべて確認することで，全数の良品を保証することを進めている．現在，旋盤加工機，スクリーン印刷機，樹脂成型機でトライし，良好な結果が得られている．今後，これらの成果については，論文にまとめ公表する予定である．このように，良品を得るための加工条件を検討し，すべての製品の製造プロセスに関して，その条件が遵守されていることを管理・保証することは，従来は到底不可能であった．これは，近年の IoT の進展により可能になった技術であって，今後は，具体的な成功事例を増やすことで，ノウハウを蓄積する必要があると感じている．

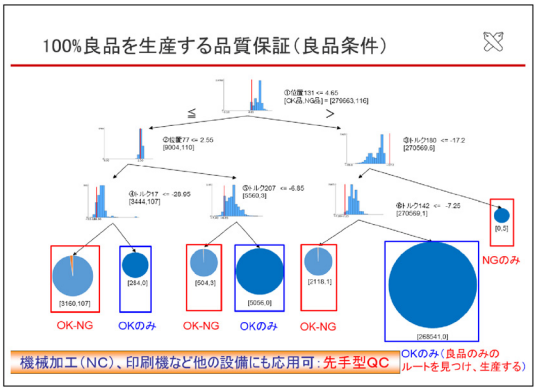

図 3　100％良品を生産する条件の設定（良品条件）

4.3　製造工程の可視化技術の開発（作業分析・工程管理）

製造業において IoT の活用が期待されていることは，これまでにも述べたとおりであるが，ひとくちに製造業といっても，その規模も生産形態も多様である．しかしながら，人，機械，工程，工場の状態をリアルタイムに監視し，品質の向上，生産性の向上を目指す点は共通する．工場の生産形態は，ディスクリート型の工場とプロセス型の工場に大きく分類できる．ディスクリート型の工場とは，自動車工場や電子製品工場など，いわゆる組立加工型の工場であるのに対し，プロセス型の工場とは，化学プラントやガラス工場といった反応と合成を主体とする工場である．製造データの収集に関しては，人間の手作業による工程が多く存在

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

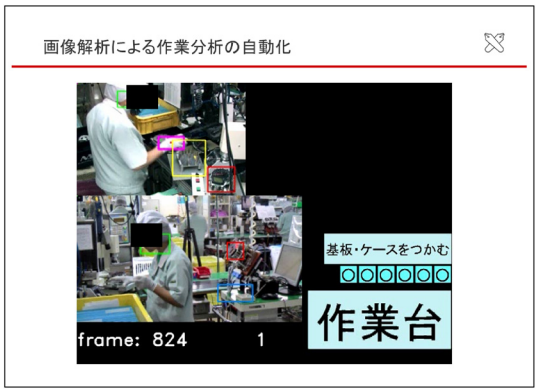

図 4　画像解析による作業分析の自動化

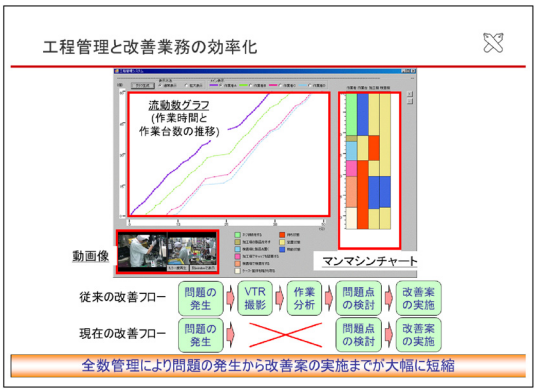

図 5　工程管理と改善への応用

する前者のディスクリート型の工場において課題となることが多い．

通常，組立加工のような人間による手作業では，ストップウォッチを用いて作業時間を測定したり，撮影した VTR を分析したりすることで，製造データを収集している．本来は，このような作業分析を継続的に日々実施することで，製造現場の真の問題を明らかにすることができるが，ストップウォッチを用いた時間計測や撮影した VTR の分析には，相応の時間と分析者の人数確保が必要で，経済的な観点から常時実施することは難しい．そのため，発生したさまざまな問題に対して，原因の調査と検討のための作業分析は行われるが，それらは事後的な対応とならざるを得ない．一作業ごとに，作業に要した時間を収集し，標準作業や標準時間との差異をリアルタイムに比較することで 100 %良品を生産したいが，人間による手作業が中心となるディスクリート型の工場では，そのような管理は困難である．

このような課題に対して，われわれは，作業者の動作を画像解析によってリアルタイムに解析し，作業者の作業内容，作業時間などの製造進捗データを収集する研究を進めている．図 4 は，実際の解析画面で，作業者の作業範囲が広いことから 2 台のカメラを用いて，作業を撮影し，作業内容を推定する．その推定結果は，図 5 のように示しており，作業の進捗を流動数グラフで示すと共に，マンマシンチャートで人・機械作業の様子を自動解析し，表示している．このようにすることで，作業中のトラブル作業を即座に把握し，該当作業の内容を動画とマンマシンチャートで確認でき，問題の発生から改善案の実施までの時間を大幅に短縮させることが可能となった．

5.　おわりに

本稿では，「管理工学における IE 研究」という題目で，私の担当している IE の講義と研究テーマのいくつかを紹介した．近年の IoT 進捗は，ものづくりに大きな変革をもたらすと考えている．本稿の中で，いくつかの研究を紹介したが，特に，100%良品を目指したものづくりは，これまでの品質管理とは根本的な思想が異なり，製造技術，生産技術と言った技術論の上に立つ攻めの品質管理である．この攻めの品質管理は，IoT の技術と融合させることで大きな成果が得られると信じ，学生や産業界の皆様と日々研究を進めている．

参考文献

[1] 経済産業省，2007 年版ものづくり白書，2007.
[2] 経済産業省，2019 年版ものづくり白書，2019.
[3] （独）労働政策研究所・研修機構，ものづくり産業における労働生産性向上に向けた人材育成と能力開発に関する調査結果，2018.
[4] 長田貴，“良品条件追求型の品質マネジメントの提案，”日本設備管理学会誌，**31**, pp. 23–33, 2019.

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.