

IoT の発展に対する中学校技術家庭科技術分野と 高等学校工業科における計測制御関連内容の一考察

(技術教育講座) 大西 義浩
(広島大学大学院教育学研究科) 川田 和男
(広島大学大学院工学研究院) 山本 透

A Consideration of Contents about “Measurement and Control” in Technology Class of Junior High School and Technical High School for Development of IoT

Yoshihiro OHNISHI, Kazuo KAWADA and Toru YAMAMOTO

(平成 29 年 10 月 31 日受理)

抄録：AI や IoT 技術の発展により，革新的な変化が予想されている。本研究では，このような時代の変化に対して中学校技術・家庭科技術分野と高等学校工業科の計測制御関連分野の今後の在り方を考察する。まず，現在の中学校技術・家庭科技術分野と高等学校工業科それぞれの計測制御関連分野の内容を概説した上で，これからの社会や製造業における計測制御技術の使われ方を予見し，中学校や工業高等学校の生徒に望ましい学習内容を考察する。

キーワード：技術教育 (Technology Education)、AI (Artificial Intelligence)、IoT (Internet of Things)

1. 緒言

カメラやマイクを含む多くのセンシングデバイスによって様々な情報が計測され，これらがインターネットによって収集される IoT (Internet of Things) の技術や，囲碁や将棋のプロ棋士にも勝利を収めるほどに発展した AI (Artificial Intelligence) の出現，さらに IoT を使った膨大なデータから AI により有意な知見を生み出す，といったようなことがここ数年盛んに取りざたされるようになった。これらの技術に基づいたドイツ

の提唱する Industrie4.0 (第4次産業革命) や日本政府が目指す Society5.0 (超スマート社会) の実現のように革新的な変化が起こるとも言われている。このため，現在ある職業の多くは数十年後になくなるという予測⁽¹⁾や，そもそも機械が働くので生身の人間は働く必要がなくなるなどといった極端な予言もみられる⁽²⁾。ここまで長期的な社会の変革を予想することは難しいが，スマートフォンの音声認識技術や自動ブレーキに代表される自動車の運転支援技術の普及など，我々の

身近な生活の中にも技術の発展を感じられる。

一方、身近な生活だけではなく、製造業の現場では前述した Industrie4.0（第4次産業革命）に向かう流れが見られる。これは工場内において、経験や勘による機械の設定判断、売り上げの量に応じた微妙な生産量調整など、これまで人間が担ってきた役割を機械自身（コンピュータ）に任せるという「考える工場」を目指すものである。この一歩として、IoT技術の実装が今日の製造業で分野を問わず新たな課題となっている。一口にIoTと言っても、工場内すべてのセンサをそのままインターネットに接続すればよいというものではなく、企業機密に関するデータはインターネットに接続できず、また、動特性に関するデータは、通信遅れが生じる環境で接続すると、違った情報を表わすことになるなど、実装には様々な課題が指摘されている⁽³⁾。しかしながら、発展途上の技術であるため、これらのことを理解する技術者は不足しており、一企業での自社開発による実装には限界がある。これまで、このような専門的なFA(Factory Automation)技術は、制御技術サプライヤの活躍フィールドであった。しかし、IoTやそれにつながるAIなどの分野は米国のgoogleやIBMなど市場に様々な巨大プレイヤーが存在しており、重要な意思決定に関する部分はこれら巨大プレイヤーに席卷される恐れがある。こうなると計装に関する分野はコモディティ化し、ハードウェアのコスト勝負に陥る可能性がある。これは生産技術の弱体化すなわち我が国の根幹を成す製造業の衰退につながる。

このような問題に人的観点から対処するためには、生産現場の第一線で活躍する技術者の専門的な知識や技術の高度化は元より、製造業の経理経営部門のスタッフや関連法案に携わる官僚などの文系人材に至るまで、AIやIoTの内容に触れておくことが重要であると考える。このためには、生産現場の技術者を養成する高等学校工業科や義務教育段階における中学校技術・家庭科技術分野において関連分野の学習が必要である。

そこで、本稿では、中学校技術・家庭科技術分野と高等学校工業科の計測制御関連分野の今後の在り方を考察する。まず、現在の中学校技術・家庭科技術分野と高等学校工業科それぞれの計測制御関連分野の内容を概説した上で、これからの社会や製造業における計測制

御技術の使われ方を予見し、中学校や工業高等学校の生徒に望ましい学習内容を考察する。最後に中学校技術・家庭科技術分野と高等学校工業科に求められる役割を展望する。

2. 中学校技術・家庭科技術分野における計測制御

中学校技術・家庭科技術分野では、平成20年に公示された現行学習指導要領⁽⁴⁾（以下、H20中学校学習指導要領と略）で、「D情報に関する技術」において、それまで選択分野であった「プログラムによる計測と制御」が必修分野となった。それに伴い、様々な教育方法が提案され、教材メーカーからも教材が市販されている。平成29年に公示された新学習指導要領⁽⁴⁾（以下H29中学校学習指導要領と略）においても、「プログラムによる計測と制御」は引き続き必修分野となっている。H20中学校学習指導要領で提示される学習内容は、「ア コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みを知ること。イ 情報処理の手順を考え、簡単なプログラムが作成できること。」とされている。コンピュータを利用した計測制御の基本的な仕組みとして、計測制御システムは、センサ、コンピュータ、アクチュエータなどの要素で構成されていることや、計測制御システムの中では一連の情報がプログラムによって処理されていることを学習するようになっている。また、実際にセンサからコンピュータへ入力される値はアナログであるが、コンピュータの中ではデジタル信号として取り扱い、このためにインタフェースが必要なことも学習することになっている。また、情報処理の手順を考え、簡単なプログラムが作成できるとは、順次、分岐、反復の方法が情報処理の手順であるとして目的や条件に応じて、情報処理の手順を工夫する能力を育成するとともに、簡単なプログラムを作成できるようにすることとされている。プログラムのコーディングより、課題解決のために処理の手順を考えさせることに重点を置き、手順を考える際に、自分の考えを整理するとともに、よりよいアイデアが生み出せるよう、フローチャートなどを適切に用いることも提示されている。しかしながら、順次・分岐・反復によるプログラミング学習が主体であるため、制御といっても条件（あるいは計測した入力情報）によって、処理（制御動作）が変わるいわゆるシーケンス制御に関する学習が主体となる。一般に制御として広く用いられているフ

ィードバック制御の概念を取り扱う機会はほぼないと
言える。

H29 中学校学習指導要領では、計測と制御の単元は引き続き必修となっている。H20 中学校学習指導要領の学習内容を踏襲した、「計測・制御システムの仕組みを理解し、安全・適切なプログラムの制作、動作の確認及びデバッグ等ができること」に加えて「問題を見いだして課題を設定し、入出力されるデータの流れを元に計測・制御システムを構想して情報処理の手順を具体化するとともに、制作の過程や結果の評価、改善及び修正について考えること」という学習内容が加わった。さらに「D 情報の技術」の新たな単元として、「生活や社会における問題を、ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミングによって解決する活動」が加わった。これらへの対応は4章にて詳述する。

3. 高等学校工業科における計測制御

高等学校工業科では、情報技術基礎、生産システム技術、電子機械、電力技術、電子計測制御および化学工学などの科目において、計測制御関連の単元が設定されている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

前述した中学校技術・家庭科技術分野の「プログラムによる計測と制御」に関連した学習内容としては、電子機械「コンピュータ制御の基礎」で、インタフェース回路の原理と方法、および制御プログラムを扱う。また、外部機器からフィードバック信号を利用した制御の原理と方法、および外部機器の基本的な制御技術を扱い、実際に制御できるようにする。

中学校では、主にシーケンス制御に関する学習が中心であったが、高等学校工業科では、電子機械科などの学科で計測制御分野を深く学習する「電子計測制御」では「電子計測制御の概要」で電気計測制御の基礎、計測制御機器、およびデータ処理について扱う。特に、産業用ロボットや身近な家電機器を取り上げ、電気計測制御の基本的な仕組みについて理解させ、活用できるようにする。「フィードバック制御」ではフィードバック制御の基本的原理、特性、利用例等を取り上げ、フィードバック制御の基本的な考え方、シーケンス制御と対比したフィードバック制御の特徴について理解させる。制御系の伝達関数、ブロック線図、信号の応答、ボード線図、ナイキスト線図、および安定判別等を取り上げ、

フィードバック制御系および各種要素の応答特性について理解させ、論理的に解析・評価できるようにする。また、プロセス制御、サーボ制御等の代表的なフィードバック制御を取り上げ、その概要を理解させ、実際に活用できるようにする。とあり、複素数や周波数領域の内容まで含むかなり専門的な学習内容となっている。一方、「シーケンス制御」では、シーケンス制御の基本的な原理と特徴、および使用される電子機器(スイッチ、リレー、タイマ等)の構成と取り扱い方法を扱う。また、シーケンス制御の基本的な回路を取り上げ、その機能、動作等を理解させ、タイムチャートやフローチャート等を利用した簡単な回路設計ができるようにする。とあり、製造現場で多く使われるシーケンス制御の学習も取り扱うことになっている。

「電子計測制御」は、制御を専門とする技術者を養成する目的の科目であるが、他の学科、たとえば機械科等で開講される「生産システム技術」の「計測・制御」ではシーケンス制御とフィードバック制御の原理と構成を取り上げ、制御について理解させ、実際に制御できるようにする。フィードバック制御では、温度管理等の具体的な事例を取り上げて体験的に理解させる。コンピュータ制御により、コンピュータ制御技術やインタフェース技術について理解させる。とある。また、電気科などで学習する「電力技術」の「自動制御」ではシーケンス制御、フィードバック制御、およびコンピュータ制御について扱う。シーケンス制御では、電気洗濯機、交通信号機等を、フィードバック制御では、冷蔵庫、定電圧電源等を、さらに、工業化学科などで開講される「化学工学」の「計測と制御」では、プロセス変量の計測及び制御技術について取り扱い、化学工場における計測と制御に関する知識と技術を習得させることをねらいとし、化学工場において用いられる温度計、圧力計、濃度計、流量計などの計測用機器を取り上げ、主な検出器やセンサの種類と原理や用途について理解させ、実際に計測できるようにする。センサ、電子技術及びコンピュータの活用方法については、化学工場における具体例を取り上げるようにする。化学工場において用いられるプロセス制御による単位操作の例を取り上げ、コンピュータによる制御技術の原理や利用方法などについて理解させ、実際に制御できるようにする。とある。

以上をまとめると、計測制御を専門とする学科で専門性の高い学習をすることは当然として、機械科や電気科、工業化学科などでも計測制御関連の学習が行われていることがわかる。今日の製造業は分野を問わず、FA 技術に代表される高度自動化が進んでいる。多くの工業に関する学科で計測制御の学習が行われることは、工業高校の卒業生が我が国の幅広い製造業に就職し、製造の第一線で活躍することが期待されており、どの分野に進んでも、計測制御の知識が不可欠であることを意味している。

4. これからの計測と制御、および望ましい学習内容

前述したように、製造業において IoT 技術の採用が検討されている。本章ではまず IoT を中心とした計測と制御の潮流を考察する。

製造業において、多くのセンサ信号は時系列データである。石油化学工業などでは、ベテランオペレータが時系列データを監視し、わずかな値の変化などにより制御性能の劣化を検知し、制御パラメータの再調整を行い、生産性向上を図っている。この場合、一つの時系列データだけを見ているのではなく、関連する複数の時系列データを監視することで、何らかの変動に気付くようである。このような働きを IoT によって実行しようとする、多くの時系列データをインターネットに接続し、このようにして収集されたビッグデータを元にクラウドコンピューティングによって何らかの判断を下せばよいと考える。しかしながら、特に動特性がキーとなるようなフィードバック制御に関する情報は、通信遅れが発生する環境下では、ただ単に集められたビッグデータから有意な知見を得ることは難しい^{(8) - (10)}。このため、ローカルコンピューティングや、一次サーバによるエッジコンピューティングなどによって、時系列データから何らかの情報に加工し、クラウドに提供することが現実的なアプローチである。このように生データをクラウドに接続しないということは、企業機密保持にも有効な手段となる。時系列データから一次加工により出力される情報としては、実センサで計測できない値を推定するソフトセンサ⁽¹¹⁾や、制御性能を定量的に評価する制御性能評価法^{(12), (13)}、異常検知や故障診断等がある。これらの理論的根拠は最小 2 乗法やカルマンフィルタ等の線形理論によるものが多

いが、これらの考え方にディープラーニングに代表される AI の技術を加味することにより、制御性能の予測や異常予測などにも発展が期待される。

以上の潮流を生産現場の観点から考察すると、一つの時系列データから一つの答えが得られるのではなく、複数のデータから新たな知見が得られるため、どのようなデータをローカルコンピューティングまたはエッジコンピューティングに適用するかというノウハウが必要になると考えられる。これは、これまでのベテランオペレータが長年の経験を元に感覚として行ってきたことではあるが、これをより理論的に学習することが望ましい。このためには、3 章で概説した高等学校工業科における計測制御関連の学習内容において、データをネットワークに接続する技術的な内容や、使用上の注意点などを含めていくことが考えられる。つまり IoT 関連の学習を行うということである。このことは、計測制御を専門とする生徒が学習する「電子計測制御」のような科目だけでなく、計測制御技術のユーザとなり生産現場ではツールとして用いる機械科や電気科および工業化学科の生徒にも必要な内容になると考える。

一方、中学校技術・家庭科技術分野においては、2 章で紹介したように、「D 情報の技術」の新たな単元として、「生活や社会における問題を、ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミングによって解決する活動」が追加された。これに関する教材や教育方法は今後提案がされてくると考えられるが、一つの例題として IoT 技術をテーマとしたものも十分考えられる。また、「プログラムによる計測と制御」の単元において「問題を見いだして課題を設定し、入出力されるデータの流れを元に計測・制御システムを構想して情報処理の手順を具体化するとともに、制作の過程や結果の評価、改善及び修正について考えること」という学習内容が加わった。このことは一対のセンサとアクチュエータをもつ従来型の計測と制御の教材では、入出力の流れが一つのみであり、発展性はデータの取り扱いの高度化、つまり数学的内容を取り入れるといった方向になりがちになる。「入出力されるデータの流れを元に計測・制御システムを構想」といったあたりは多くのセンサやアクチュエータをネットワーク経由で接続する IoT 技術を模したようなシステムを題材にす

ると中学生にも創造的に学習できるのではないかと考える。そもそも、今回の学習指導要領改訂で新たな単元が追加されたものの、年間授業時間は技術・家庭合わせて1, 2年生70時間, 3年生35時間と依然として少ないままである。複数単元を統合した学習の必要性は今後ますます高くなり、このような観点からもIoT技術を題材とした教材は有効であると考えられる。さらに、中学校でIoTに近い内容を学習しておくことは、高等学校の工業科に進学する生徒にとっても、高等学校での学習に役立つと考えられる。

5. 結言

本稿では、AIやIoT技術の発展により予想される製造業の変化を切り口として中学校技術家庭科技術分野と高等学校工業科の計測制御関連分野の今後の在り方を考察した。本稿は、中学校技術・家庭科技術分野と高等学校工業科との技術的な関連を中心に論述したが、**H29** 中学校学習指導要領において技術分野全体の目標として掲げられる「生活や社会の中から技術に関わる問題を見いだして課題を設定し、解決策を構想し、製作図等に表現し、試作等を通じて具体化し、実践を評価・改善するなど、課題を解決する力を養う。」や「よりよい生活の実現や持続可能な社会の構築に向けて、適切かつ誠実に技術を工夫し創造しようとする実践的な態度を養う。」に向けてもIoTを題材にした学習は、有効ではないかと考える。このことはただ単に技術的内容の修得だけでなく、新たなイノベーションを起こしうる人材育成につながるものであり、こういった観点からも我が国の産業発展に貢献できると考える。

完全自動運転自動車の市販に近い将来に予想されており、これが普及し世の中の自動車が全て自動運転化されると、人間は運転することがなくなり、運転免許証を取得する必要がなくなると言われている。これと同様に製造業がすべて無人化され、工場が機械だけで動くようになると、人間は生産技術に関する技術を習得する必要がなくなるのだろうか。筆者がこれまでに集めた情報から推測するとそういう時代の到来はもう少し先のようなのである。狭義の生産技術は逐次機械化され、簡単な判断もコンピュータに置き換わっていくとは考えられるが、人間はそれらの技術をうまく使う、より上位階層の技術や知識が必要とされるように

なると考える。

中学校技術・家庭科技術分野と高等学校工業科が対象とする学習内容は今後ますます発展すると思われるが、技術の発展に主体的に対応し産業界で活躍できる人材、さらには技術の発展自体をつかさどり、イノベーションを起こしうる人材の育成につながるべく関連教科の内容を精査することが求められていると言える。我が国の産業界の発展のために中学校技術・家庭科技術分野と高等学校工業科に求められている役割は大きいと考える。

謝辞

本研究のFA技術に関する分析は、電気学会PID制御システムの産業適用評価に関する調査専門委員会にて情報収集を行った。ここに記して深謝する。

参考文献

- (1) 鈴木：仕事消滅 AIの時代を生き抜くために、いま私たちにできること、講談社(2017)
- (2) 小林：AIの衝撃 人工知能は人類の敵か、講談社(2015)
- (3) 田中, 大西, 中茎：データ利用型ソリューションビジネスの条件, 第59回自動制御連合講演会講演論文集, pp.889-882(2016)
- (4) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編(平成20年9月)教育図書(2008)
- (5) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編(平成29年6月)
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2017/10/27/1387018_9.pdf (2017年10月31日アクセス)
- (6) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説工業編(平成22年5月)実教出版(2010)
- (7) 川田, 大西, 山本：高等学校工業科教員を対象とした計測・制御技術教育に関する指導能力向上を目指した研修の検討, 広島大学教育学研究科紀要, 掲載予定(2017)
- (8) E. Toyoda, The new direction for providing effective data for EES from sensors and digital controllers, AEC/APC Symposium Asia 2015 (2015)

- (9) Y. Orii, Perspective on required packaging technologies for cognitive computing devices, AEC/APC Symposium Asia 2015 (2015)
- (10) 田中, 金子, 脇谷, 芦田: 「制御応答の時系列データに依存」という課題, 第 59 回自動制御連合講演会講演論文集, pp.897-890(2016)
- (11) 加納: 07. ソフトセンサー (推定モデル)
http://manabukano.brilliant-future.net/lecture/dataanalysis/doc07_softsensor.pdf (2017 年 10 月 31 日アクセス)
- (12) B.Huang and S.L.Shah: Performance Assessment of Control Loops Theory and Application, Springer-Verlag, (1999)
- (13) M. Jelali: Control Performance Management in Industrial Automation -Assessment, Diagnosis and Improvement of Control Loop Performance, Springer, London(2013)