

博士論文

ロボットシステムインテグレーター (SIer) 育成に関する
教育カリキュラムの開発

Development of an Educational Curriculum for Nurturing Robot
System Integrator (SIer)

2022 年 1 月

間瀬 好康

目次

第1章 序論	.....1
1.1 研究の背景	.....1
1.2 産業へのロボット導入の必要性	.....3
1.2.1 労働力の問題	.....3
1.2.2 製造現場での問題	.....5
1.2.3 賃金の問題	.....6
1.3 ロボットの活用方法と問題	.....7
1.3.1 ロボットやIT技術の活用について	.....7
1.3.2 製造業を対象とするロボットやIT技術活用の取組み	.....10
1.3.3 ロボットやIT技術の異業種への活用について	.....11
1.4 ロボットシステムインテグレータ (SIer)	.....13
1.4.1 ロボットシステムインテグレータ (SIer) の特徴	.....13
1.4.2 ロボットシステムインテグレータ (SIer) の必要性	.....15
1.4.3 ロボットSIer (プロジェクトマネージャー : PM に求められる 資質能力の要素	.....16
1.5 ロボットSIer教育の取組み	.....17
1.5.1 ロボットSIer育成に関する施策	.....18
1.5.2 公的機関におけるロボットSIer育成の取組み	.....18
1.5.3 一般企業におけるロボットSIer育成の取組み	.....19
1.5.4 ロボットに関する技術教育における研究	.....20
1.6 本研究の目的	.....21
注意事項	.....23
参考文献	.....24
第2章 ロボット産業人材における若手ロボットシステムインテグレータ の育成法の調査	.....25
2.1 はじめに	.....25
2.2 ロボットSIer業界の状況	.....25
2.2.1 ロボットSIer企業の現況	.....25
2.2.2 ロボットSIer人材に関する状況	.....26
2.3 事例調査から考察される人材育成の問題と課題	.....26
2.4 新しい教育方法の提案	.....27
2.5 具体的教育法の方策と妥当性の検証	.....29
2.6 まとめ	.....34
注意事項	.....34

参考文献	.....35
付録1	.....36
付録2	.....37
第3章 現状の関係教育機関の調査および企業の事例に基づく分析と ロボット S1er 育成に対する教育法の提案	.....39
3.1 はじめに	.....39
3.2 ロボット S1er 事業の特徴と人材育成の問題	.....40
3.3 インタビューによるロボット S1er の特徴	.....41
3.4 系統的な人材育成のしくみの提案	.....42
3.5 学校教育との比較による提案する教育法の評価	.....45
3.6 まとめ	.....48
注意事項	.....49
参考文献	.....49
付録	.....50
第4章 初期学習学生に対する教育カリキュラムの設計と実践	.....51
4.1 はじめに	.....51
4.2 工業高校における専門コース（ロボット工学科）設立の背景と取組み	.....51
4.3 ロボット S1er 教育における課題	.....52
4.4 教育方法の検討と具現化	.....54
4.4.1 修得すべき知識、技術、能力の特徴	.....54
4.4.2 教育方法の構造化による具現化	.....55
4.4.3 教育の目的と教育カリキュラムの設計	.....56
4.5 工業高生へ教育プログラムの適用例	.....56
4.5.1 生徒及び教育場の特徴	.....56
4.5.2 カリキュラムの内容と評価	.....57
4.5.2.1 実習の特徴と評価基準	.....57
4.5.2.2 第1回実習課題（e-BOMとm-BOMの作成）	.....58
4.5.2.3 第2回実習課題（作業時間の見積もりと生産ラインの設計）	.....61
4.5.2.4 第3回実習課題（実際に組み立て作業の実施）	.....61
4.5.2.5 第4回及び第5回実習課題（ロボットシステム案の策定）	.....61
4.5.3 成果物とアンケートによる評価	.....62
4.5.3.1 毎週の実習状況の特徴	.....62
4.5.3.2 成果物から見られる生徒の理解度の特徴	.....63
4.5.3.3 アンケート結果からの評価	.....65
4.6 提案する教育方法の問題点と対策案	.....67

4.7	まとめ	.....68
	注意事項	.....69
	参考文献	.....70
第5章	実機による演習を含む教育カリキュラムの設計と実践	.....71
5.1	はじめに	.....71
5.2	教育方法	.....72
5.3	教育カリキュラムの設計法の提案	.....73
5.4	教育の目的と教育カリキュラムの設計	.....74
5.5	工業科専門高校への教育プログラムの適用	.....75
5.5.1	生徒及び教育場の特徴	.....75
5.5.2	カリキュラムの内容	.....75
5.5.2.1	実習の特徴	.....75
5.5.2.2	第1回実習課題（製品の部品構造の確認）	.....77
5.5.2.3	第2回実習課題（作業の設計と評価）	.....77
5.5.2.4	第3回実習課題（ロボットの实機を利用した生産工程の構築）	.....78
5.5.2.5	第4回実習課題（2台のロボットを利用した生産工程の構築）	.....79
5.5.2.6	第5回実習課題（2台のロボットを利用した生産工程の改善）	.....79
5.5.2.7	第6回実習課題（生産工程の分析と評価、及びまとめ）	.....79
5.5.3	アンケートと成果物の評価	.....82
5.6	提案法の問題点と対策案	.....86
5.7	まとめ	.....86
	注意事項	.....87
	参考文献	.....87
第6章	多様な業種におけるロボット導入のためのSIer教育法の設計と実践	.....89
6.1	はじめに	.....89
6.2	新規分野へのロボット導入の課題	.....89
6.3	ロボット導入の介護重点分野と課題	.....90
6.4	介護重点分野へのロボット導入事例における問題点と解決のコンセプト	.....90
6.5	修得すべき知識・技術・能力と教育方法の提案	.....93
6.5.1	修得すべき知識・技術・能力	.....93
6.5.2	教育方法の提案	.....93
6.6	ロボット導入への上流設計とその教育方法	.....94
6.6.1	ロボット導入への上流設計能力	.....94
6.6.2	解を導出するための教育方法	.....94
6.6.3	テンプレートを利用した実施例	.....96

6.6.4 大学学部教育への適用例	.....99
6.6.5 提案法の問題点と対策案	.....100
6.7 まとめ	.....101
注意事項	.....102
参考文献	.....102
第7章 SIer 教育事業における多様な技術の学習に対する 効率的教育運用法の開発	.....105
7.1 はじめに	.....105
7.2 ロボット SIer 事業の特徴と継続的な事業運用の問題	.....105
7.3 ロボット SIer 企業の運用の問題点と対策案	.....106
7.4 事業継続のためのロボット SIer 事業の取り組みと生産マネジメント法の検討	.....107
7.5 ロボット SIer 事業における人材育成の問題	.....108
7.6 系統的な人材育成の教育方法の提案	.....109
7.7 教育の運用法の提案とエージェントシミュレーションによる運用法の効果検証	.....110
7.7.1 教育の運用法の提案	.....110
7.7.2 エージェントシミュレーションによる教育の運用法の評価	.....110
7.7.2.1 シミュレーション・モデル	.....110
7.7.2.2 シミュレーションの条件	.....111
7.8 結果と考察	.....111
7.9 まとめ	.....113
注意事項	.....113
参考文献	.....113
第8章 本研究を通しての考察と知見	.....115
第9章 結論	.....117
9.1 本研究のまとめと考察	.....117
9.2 今後の課題	.....118
公開論文リスト	.....119
謝辞	.....125

1 章 序論

1.1 研究の背景

日本のロボットは 1980 年代以降、製造現場を中心に急速に普及してきた。とくに、主な需要先である自動車及び電気電子産業においては、ロボットの本格導入と軌を一にして、高い労働生産性の伸びを背景に大きく成長し、まさにロボットの活用とともに、Japan As No.1 の時代を牽引してきた。

ロボットに関する日本の実力は、早くから導入が進められてきた産業ロボットの分野で顕著に認められ、日本は、現在に至るまで産業用ロボットの出荷額、稼働台数において世界第一位の地位を維持しており、2012 年時点において、出荷額は約 3400 億円、世界シェアの約 5 割を占めるとともに、稼働台数（ストックベース）についても約 30 万台、世界シェアの 23%を占めている。さらに、ロボットを構成する主要要素部品である、ロボット向け精密減速機（ギア）、サーボモーター、力覚センサー等において 9 割を超える高い世界シェアを誇っている。このように、日本はロボットの生産、活用、主要部品の供給、研究等の各方面において世界に誇れる強みを有しており、「ロボット大国」としての地位を維持している。

一方で、近年、先進国（欧米）及び中国をはじめとした新興国の双方において、改めてロボットが成長の鍵として注目を集めている。米国政府は 2011 年に「国家ロボットイニシアティブ（National Robotics Initiative）」を発表し、人工知能（AI）分野や認識（音声、画像等）分野を中心としたロボットの基礎研究に対して毎年数千万ドル規模の支援を実施している。さらに、米国 IT 企業であるグーグルは、2013 年 12 月、有望ロボット技術を有するベンチャー企業 7 社を相次いで買収（総額 6 千万ドル）し、世界の注目を集めた。買収企業の中には、米国防総省国防高等研究計画局（DARPA）が 2012 年より開催した DARPA ロボティクスチャレンジ[注 1]の上位企業が含まれていた。

また、欧州においても、2014 年に欧州委員会と約 180 の民間企業・研究機関が共同してロボット分野における研究・革新プロジェクト「EU SPARC Project」[注 2]を立ち上げ、製造業、農業、保健衛生、運輸、市民社会セキュリティ、家庭分野等における実用ロボット開発を推進している。

こうしたロボットを巡る世界的な流れや日本の置かれた現状を踏まえ、ロボット技術やロボットを活用するためのシステムも含めて大きく革新させることができれば、日本にとって直面する社会的課題（少子高齢化による労働力の減少、社会保障費の増大など）の解決に向けて、非常に有効な手段の一つとなりうる。この世界的な潮流に対応するためには、現状のロボット導入においても付加価値の多くを占める生産工程設計・ティーチングなどのシステムの構築・立上げ・プログラミングをこなす人材や、今後、重要性がさらに増すと考えられているデジタルデータの活用や AI 開発等に携わるソフト分野の人材が不可欠である。

しかしながら、日本国内においてはこれらの分野の人材の育成・活用が十分ではない。とくに近年においては、限られた優秀な学生が直接海外で就職するという事例も出てきており、人材の育成、活用の両面において課題が大きい。

また、ロボットをシステムとして活用するために、鍵となるシステムインテグレーター（Sier）についても、現状では、自動車や電気電子分野等の大手企業への対応を中心とした事業にとど

まっている。自動車等以外の製造業やサービス業等の新たな分野や、中堅中小企業等にも幅広く対応するためには、SIer が質・量ともに不足しており、早急に対応する必要がある。

そして、日本がロボット分野のビジネスで国際競争に勝ちぬくためには、ロボットを多様な分野の要請に柔軟に対応できるロボットに変えていくことが必要である。

これまで、ロボットの活用の主たるフィールドは、自動車や電気電子産業等の大企業が中心で、大規模な主要ラインに組み込まれた専用仕様のものであった。これから求められるロボットは、三品産業（食品・化粧品・医薬品）などの、より幅広い製造分野や多種多様で非定型なプロセスの多いサービス分野、人手に依存する中小企業などで活用できるものである。このため、大型で溶接・塗装等の個別ライン専用のロボットだけではなく、量産型の汎用的な小型ロボットを中堅中小企業の現場において費用対効果に見合うロボットシステムに組み込むことが必要である。

また、既にロボットを活用している分野においても、製品寿命の短い製品の製造に対応できる、頻繁な段取り変更が容易なロボットや、それらを応用した合理的な生産システム設計手法の確立など、既存の技術にこだわることなく高い目標を設定し検討を行う必要がある。

さらに、こういったロボットが広く活用されるようにするためには、ロボットのサプライヤー、SIer、ユーザーそれぞれが、従来以上に高い付加価値が得られる構造へと転換することも必要となる。その際、それぞれが独自の創造力を発揮できる競争力の根源や、共通に抱えるコスト構造を見極めながら、個々の競争力を強化するための技術開発と、共通財産として活用する標準化との双方を巧みに活用する視点が必要となる。

経済産業省日本経済再生本部が 2015 年に発表した『ロボット新戦略(Japan's Robot Strategy)ービジョン・戦略・アクションプランー』[注 3]では、ロボット革命で、日本のロボットを変えることとしている。ここで、ロボット革命とは、

- ① センサー、AI などの技術進歩により、従来はロボットと位置づけられてこなかったモノまでもロボット化し（例えば、自動車、家電、携帯電話や住居までもがロボットのひとつとなる。）、
- ② 製造現場から日常生活の様々な場面でロボットが活用されることにより、
- ③ 社会課題の解決やものづくり・サービスの国際競争力の強化を通じて、新たな付加価値を生み出し利便性と富をもたらす社会を実現する

としている。そして、革命実現のための三本柱として、

- ① 日本を世界のロボットイノベーション拠点にすること、
- ② 世界一のロボット利活用社会（中小企業、農業、介護・医療、インフラ等）にすること、
- ③ IOT (Internet of Things) 時代のロボットで世界をリードすること、（IT と融合し、ビッグデータ、ネットワーク、人工知能を使いこなせるロボットへ）

をあげている。

以上に示した内容、あるいはロボット革命を実現する上で鍵となり、社会の様々な場面で、多様なロボット機能が提供できる人材として、実際にそのロボットシステムを組み上げる「ロボット SIer」を本研究では対象とし、とくに「ロボット SIer」として高い技術レベルをもつ「プロジェクトマネージャー (PM)」の育成方法について研究する。

1.2 産業へのロボット導入の必要性

1.2.1 労働力の問題

総務省は先に、住民基本台帳に基づく2020年1月1日時点の日本人の総人口が1億2427万人になったと発表した。前年比50万人（0.40%）減と11年連続のマイナスであり、減少幅は過去最大であった。

日本の総人口は2008年の1億2808万人をピークに、「人口減少時代」に突入したが、これは日本だけで起きている現象ではない。海外でも先進国を中心に少子化が加速しており、総人口が増えている先進国でも、それは移民の流入によるものであり、出生率低下には歯止めが掛からない状況である。人口増を経済成長の原動力としてきた新興国でも、都市化に伴う出生率低下で影響が出始めている国もある。

日本の出生率は低下し続け、1980年代に人口置換水準（＝約2.1）を大きく下回った。出生数は2016年以降4年連続で100万人を割り込み、2019年の出生率も1.36と少子化をたどる。中位推計では2100年まで政府目標の1.8に届かず、人口置換水準を大幅に下回る（図1-1）。低位推計では、2030年代には0.95まで落ち込む見通しである。また、新型コロナウイルスの影響を受け、先行き不安感から出生率の一層低下も懸念される。

一方、日本の高齢化率（総人口に対して65歳以上の人口の割合）の上昇も深刻である。1950年の4.9%から2020年には世界平均の3倍の28.4%まで上昇し、世界一の高齢化社会になった。中位推計によると、2060年代まで高齢化率は上がり続け、40%弱に達する見通し。低位推計では2090年代まで上昇を続け、2人に1人が高齢者となる。つまり、国内人口が減っていくにもかかわらず、高齢化率の上昇で、労働力人口の総数と割合も同時に低下しているのである（図1-2）、（図1-3）。

このように、日本は加速する人口減少・少子高齢化とコロナ禍が絡み合い、「複雑な労働力不足」に直面していると考えられ、これは国力を左右する深刻な問題である。



図1-1 我が国の総人口の推移[1]

(出典) 国勢調査（総務省），日本の将来推計人口（国立社会保障・人口問題研究所）

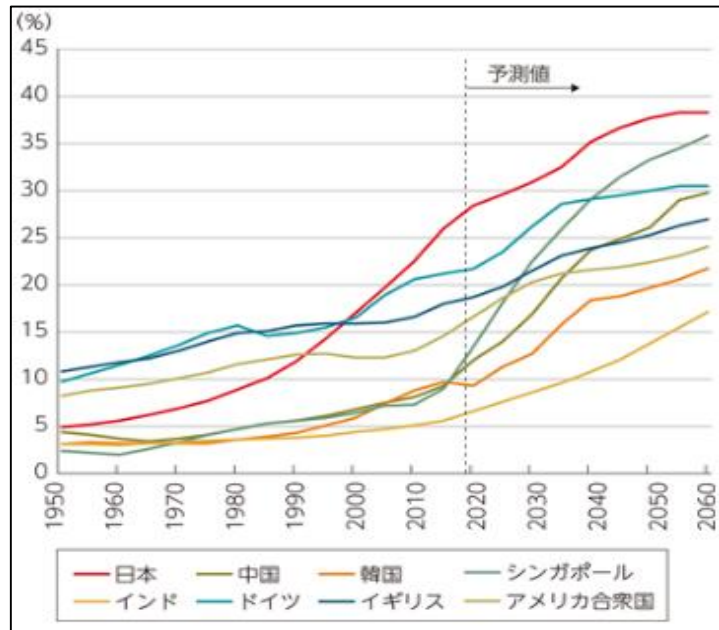


図 1-2 世界の高齢化率の推移

(出典) 国際連合「世界人口予測 2019 年度版」[2]を基に作成

1950 年～2020 年の数値は Estimates, 2025 年～2060 年の数値は Medium variant のデータを使用



図 1-3 労働力人口と労働力率 (推計)

(出典) 「労働力調査年報」総務省[3]

(出典) 「日本の将来推計人口」国立社会保障・人口問題研究所[1]

1.2.2 製造現場での問題

労働力人口の減少にともない、労働者の人数自体が不足するケースもあるが、「熟練の従業員がいない」状態を指す人手不足もある。企業が求めるスキルを有した、熟練従業員が不足している状態である。従来の製造現場では、ほとんどの工程を手作業で行ってきた企業が多く、勤続年数の長い熟練従業員は難易度の高い作業を効率よく少ないミスで行えるが、熟練度の低い従業員は簡単な作業しか行なえず、ミスも比較的多くなってしまう。また、近年は産業用ロボットや IT の技術が進歩しており、こうした新技術について対応可能な従業員が少ないことも「知識とスキルの不足」が生じている一因である。従来の手作業による知識やスキルであれば、社内で少しずつ育成していけば、徐々に熟練度を高めていけたが、ロボット、IT 知識などの新しい分野では、社内に教育を行える人材がおらず、育成がままならない現状も慢性的な「人手不足」を招いている（表 1-1）。

表 1-1 主力製品の製造にあたり需要となる作業と 5 年後の見通し(複数回答) [4]

主力製品の製造に当たって重要な作業内容	主力製品の製造に当たって重要な作業内容	5年後の見通し							
		熟練技能が必要 今まで通り	短くなる 技能習得期間が	機械に 代替される	デジタル技術に 代替される	外注化される	海外調達に 変わる	工程自体が なくなる	無回答
製罐・溶接・板金	25.4 (▲4.4)	62.1 (▲7.7)	20.2 (5.9)	17.6 (7.1)	6.0 (-)	5.7 (2.5)	1.6 (0.7)	0.6 (0.5)	1.1 (▲0.1)
プレス加工	19.7 (▲1.9)	49.9 (▲3.2)	27.2 (4.0)	17.3 (2.3)	5.5 (-)	5.5 (1.2)	3.3 (1.3)	1.2 (0.8)	3.2 (1.0)
鑄造・ダイキャスト	5.5 (▲0.5)	59.8 (▲3.6)	23.5 (11.2)	11.8 (3.9)	10.3 (-)	6.9 (▲0.1)	4.4 (▲1.8)	4.9 (3.6)	2.9 (1.1)
鍛造	4.5 (▲0.2)	62.2 (▲2.4)	22.6 (2.9)	9.8 (3.1)	3.0 (-)	3.0 (▲0.9)	1.2 (▲1.6)	3.7 (2.6)	1.2 (0.1)
圧延・伸線・引き抜き	2.7 (0.0)	53.1 (▲16.8)	25.5 (15.8)	11.2 (▲1.4)	6.1 (-)	3.1 (▲1.8)	3.1 (2.1)	8.2 (7.2)	1.0 (0.0)
切削	31.8 (▲3.4)	45.2 (▲8.1)	31.4 (9.1)	20.2 (2.0)	11.3 (-)	4.6 (1.7)	3.3 (1.5)	1.4 (1.3)	3.2 (1.8)
研磨	18.2 (▲3.6)	54.3 (▲9.4)	24.5 (8.2)	15.4 (0.4)	6.6 (-)	1.8 (▲0.4)	1.0 (0.4)	1.5 (1.5)	3.3 (1.1)
熟処理	7.6 (▲1.0)	49.3 (▲10.3)	27.1 (10.4)	13.2 (2.4)	6.8 (-)	7.9 (0.2)	2.1 (1.2)	2.5 (1.3)	4.3 (1.2)
メッキ	4.9 (▲0.4)	50.3 (▲1.2)	21.5 (3.5)	11.0 (1.0)	5.5 (-)	14.4 (▲1.1)	2.8 (0.3)	5.0 (4.0)	3.3 (1.8)
表面処理	7.9 (▲0.5)	50.2 (▲4.2)	20.1 (1.2)	14.9 (▲0.2)	5.2 (-)	1.4 (▲6.1)	0.7 (▲0.9)	1.4 (1.1)	11.4 (9.2)
塗装	13.9 (▲1.4)	59.0 (▲3.0)	19.5 (3.0)	16.2 (5.1)	2.9 (-)	9.0 (1.2)	0.8 (0.1)	1.8 (1.5)	2.1 (0.5)
射出成型・圧縮成型・押出成型	12.0 (▲1.5)	44.8 (▲11.3)	32.8 (7.9)	17.2 (4.8)	11.1 (-)	4.3 (2.3)	3.6 (0.9)	2.0 (0.8)	2.7 (1.9)
半田付け	7.0 (▲2.1)	59.5 (▲2.9)	15.8 (0.9)	18.9 (3.2)	3.1 (-)	6.6 (2.8)	1.5 (0.9)	3.9 (3.0)	3.5 (1.8)
機械組立・仕上げ	27.1 (▲6.0)	59.8 (▲5.6)	29.1 (7.3)	8.1 (2.3)	3.4 (-)	5.8 (2.7)	1.5 (0.4)	0.9 (0.2)	3.3 (1.3)
電機・電子組立	20.3 (▲4.9)	47.8 (▲9.4)	33.6 (9.5)	11.8 (1.9)	10.2 (-)	8.4 (4.3)	3.5 (1.8)	2.0 (1.2)	2.9 (0.7)
測定・検査	26.0 (▲11.6)	40.3 (▲11.0)	28.3 (4.5)	14.3 (▲2.8)	20.2 (-)	1.8 (1.2)	0.4 (▲0.2)	1.0 (0.6)	8.2 (1.9)

備考：カッコ内の数字は、前年との差を指す。なお、「デジタル技術に代替される」については、2019年は調査を実施していないため、比較できない。
資料：JILPT「ものづくり産業におけるDX（デジタルトランスフォーメーション）に対応した人材の確保・育成や働き方に関する調査」（2021年5月）

ほぼ全て50%以上
技能伝承は未だ課題

ほぼ全作業で、前年に比べて増加
10~20%の企業で考えられている

(出典) 2021年版「ものづくり白書」[4]より引用 経済産業省、厚生労働省、文部科学省

1.2.3 賃金の問題[5]

これまで、わが国の多くの企業は、賃金水準の低さなどから、アジア新興国など海外に生産拠点を移した。同時に、アジア新興国などは、先進国企業の直接投資を受け入れることで資本を蓄積し、所得を上昇させてきた。一人当たり GDP（国内総生産、企業収益と給与の合計額）の推移を見ると、新興国の所得増加率は著しい。2007 年から 2017 年までの間、ベトナムでは一人当たり GDP が 1.5 倍増加した。タイやフィリピンでの増加率は 70%前後に達し、中国では 2.3 倍程度も一人当たり GDP が増えた。それに伴い中間層の厚みが増し、富裕層も増えた。この間 OECD 加盟国の平均的な一人当たり GDP の伸び率は 8%にとどまっている（図 1-4）。

企業経営の立場から考えた場合、新興国における所得の上昇は、生産にかかるコスト増加に直接影響し、それは、海外で生産活動を行う意義が低下したことを意味する。つまり、最も大きい問題は、人件費の問題であり、いま「人手不足」は世界各国共通の課題である。とくに、潜在成長率が高いアジア新興国では労働需給がひっ迫している。すでに、生産 1 単位当たりの労働コストを示す『ユニットレイバーコスト』を基準にすると、わが国とアジア新興各国の賃金コストに大きな差はない。賃金の上昇圧力が高まる新興国で生産能力を増強する経済合理性は薄れていると言える。新興国に比べ、わが国の賃金上昇圧力は弱い。それは、新興国での生産に比べ、ファクトリーオートメーション（FA）などの先端技術を導入して労働生産性の向上を目指す余地があると考えられるからであり、それは企業の収益確保に欠かせない。その上で、わが国の価値観に基づいて品質管理を徹底し、海外で生産するよりもより良い品質を備えた製品（高付加価値製品）の生産を重視する企業が増えている。また、工場の自動化など、ロボット・IT 先端技術の導入によって、海外、あるいは国内で生産しても、コストが大きく変わらなくなると考えられる。

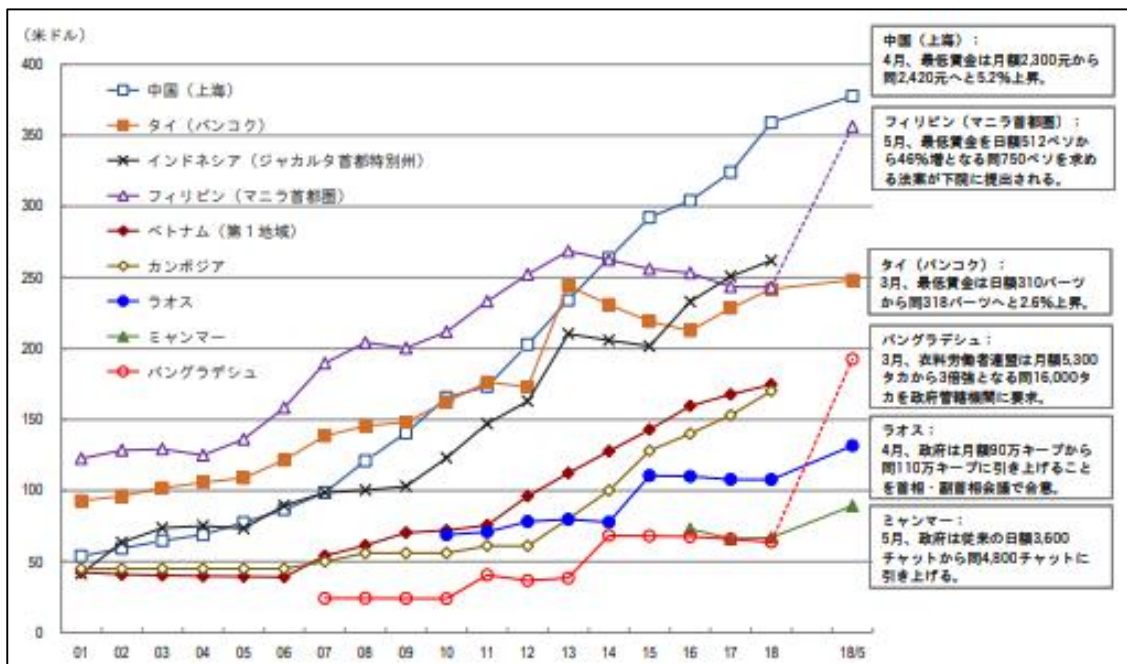


図 1-4 米ドル建てで見たアジア新興国の最低賃金の推移

(出典) IMF, 各種発表資料より大和総研が作成したものを引用

1.3 ロボットの活用方法と問題

1.3.1 ロボットやIT技術の活用について

現在、製造現場において最も期待されている技術が「産業用ロボットやIT技術の活用」である。過去の産業用ロボットは対応できる業務領域が狭く、大型で危険であったことから、安全柵内での限定された担当作業として、生産工程が明確に分けられていて、大きな工場を有している大企業しか活用できていなかった。しかし、技術の進歩にともなって、ロボットの対応できる業務の拡大と小型化、低コスト化が進み、安全性も確立し、中小企業でも活用が可能になった。また情報処理技術も普及し、ロボットの稼働データをインターネットを通じて蓄積、管理することで、工場全体の稼働状況を最適化できる「スマートファクトリー」を実現する企業も現れている。産業用ロボットやIT技術活用がもたらす代表的なメリットは「生産性向上」であるが、副次的なメリットとして「育成コストの低下」や「過酷労働からの開放」なども挙げられる。産業用ロボットの導入プロセスにおいて、各工程の作業分析や人とロボットの役割分担は必須である。これまで熟練者に依存していた作業をロボットに任せられれば、属人性の排除に加え、身体を酷使する作業を減らして、ロボットの点検を含む低負荷作業に置き換え可能となる。

産業用ロボットやIT技術による作業自動化の波は、日本だけでなく世界でも広がっている。ドイツに拠点を置く国際ロボット連盟(IFR)が発表した「World Robotics: Industrial Robots 2017」というレポートによると、産業用ロボットの世界販売台数は、2011年から2016年にかけて毎年平均14%ずつ増加していると記されている(図1-5)。

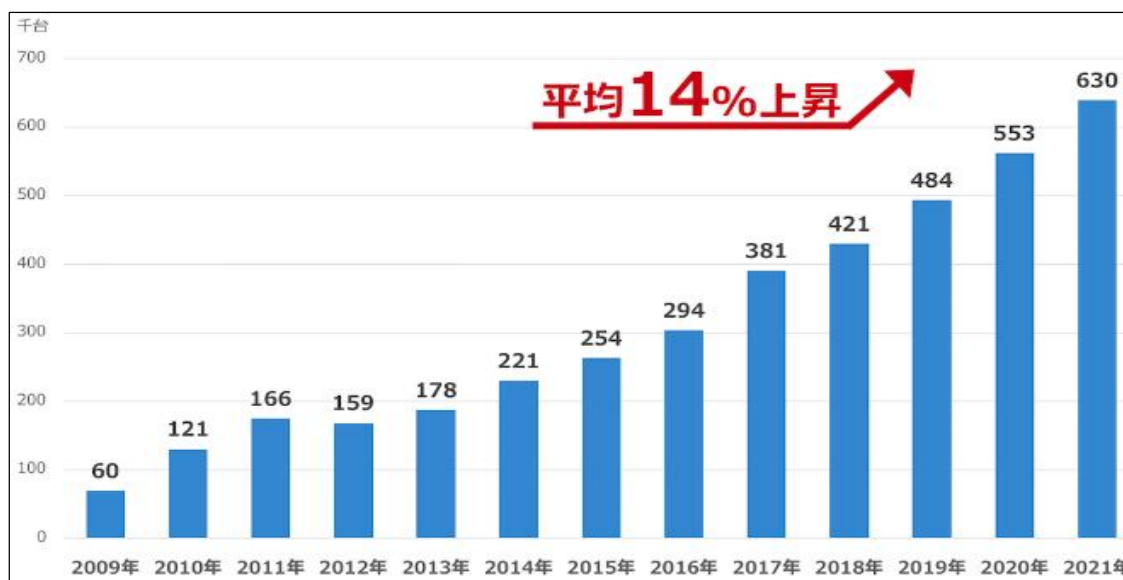


図1-5 世界の産業用ロボット販売台数

(出典) Global industrial robot sales doubled over the past five years – IFR

産業用ロボットの年間販売台数は、日本だけでなく世界的に増加傾向にある。アジアやヨーロッパでは、高騰する人件費に代わる生産力として、ロボットに期待が寄せられている。

近年、産業用ロボットの生産国として成長が著しいのが中国と韓国である。国際ロボット連盟（IFR）が発表した「2016年度ロボット販売台数世界トップ15カ国」[6]によると、販売台数1位は、中国（87,000台）で、次いで韓国（41,400台）、僅差で日本が3位（38,600台）という結果が出ている（図1-6）。

中国の急成長を支えたのは、国内メーカーの育成と保護を進めた中国政府とされる。政府の後押しを受け、生産力をつけ、世界販売台数の約1/3の87,000台の売り上げに至った。

また、韓国政府もスマートホンに使われる半導体やディスプレイなどの電子機器需要の高まりに狙いをつけ、大規模な投資を行い、その結果、ロボットの年間売上高が大幅に増加し、前年の8%増となる41,400台が販売された。日本は2016年の販売台数は3位だったものの、日本は国内に世界的に有名なロボット企業を抱えており、現在でも産業用ロボット大国として最先端の研究や開発が行われている。

こうした背景から、産業用ロボットの需要は今後ますます増加していくと考えられているが、Sierの不足や現場のロボットに対する理解不足といった課題も残っている。これから産業用ロボットをより普及するためには、こうした課題の解決が必要である。現在、メーカーと行政は導入の補助金制度や講習会なども積極的に実施しているため、現場の産業用ロボット理解も徐々に進んでいくと考えられる。いずれにせよ、ロボットを如何に活用できる人材が求められている（図1-7）。

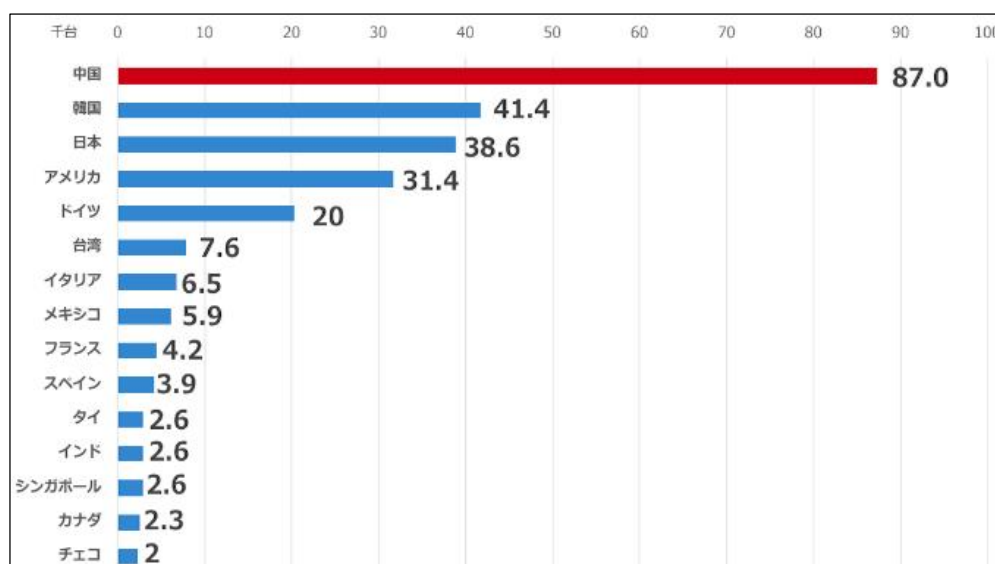


図1-6 2016年度ロボット販売台数

(出典) Global industrial robot sales doubled over the past five years

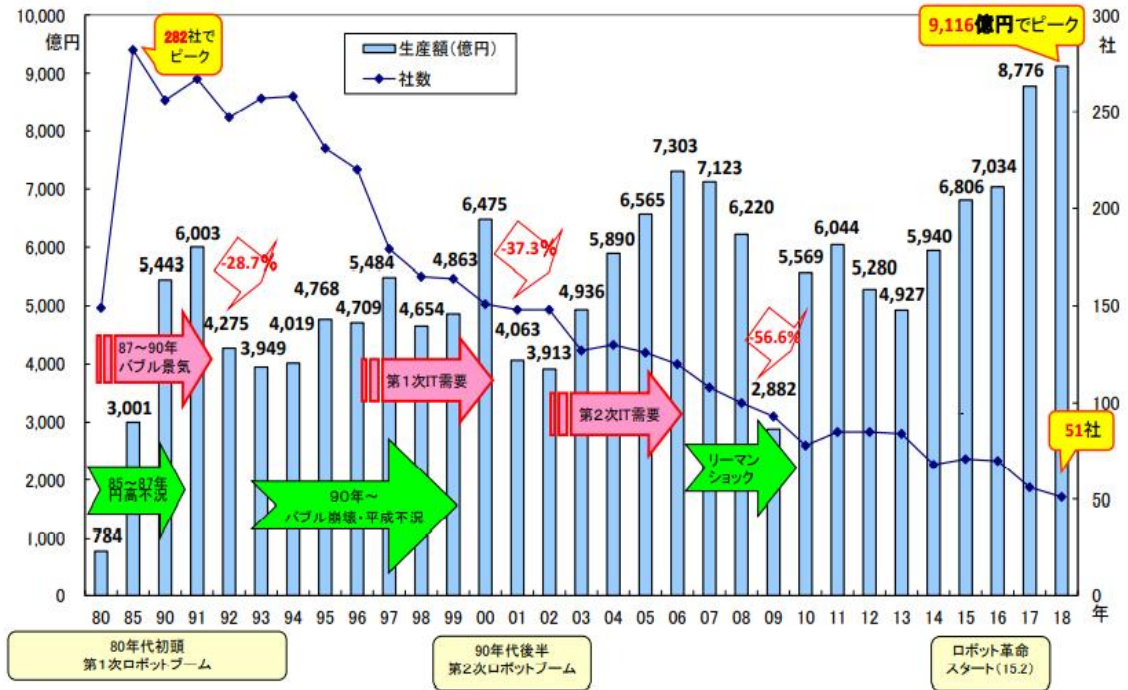


図 1-7 日本のロボット産業の推移

(出典) https://www.rsj.or.jp/content/files/event/openforum/2019/RSJ2019W_OF6_S1er1.pdf

1.3.2 製造業を対象とするロボットや IT 技術活用の取組み

日本はロボットの生産、活用、主要部品の供給、研究等の各方面において世界に誇れる強みを有しており、「ロボット大国」としての地位を維持してきた。しかし、近年、ロボットを成長の鍵とする世界の追い上げが激しく、こうした中、技術革新やビジネスモデルの変化に伴いロボット自体も劇的に変化している。単なる作業ロボットから自ら学習し行動するロボットへと「自律化」に向かって変化している。センサー技術やソフトウェア・情報処理能力の向上等の個々の技術の進展に加えて、ディープラーニングの活用を含めた AI 技術（画像・音声認識、機械学習）の飛躍的な発展に伴い、より高度な処理が可能となりつつある。IoT や AI など情報テクノロジーの活用として、産業用ロボットにも、IoT（Internet of Things）や AI（人工知能）が搭載されはじめており、工場の自動化や効率化を加速させる機能として期待が寄せられている。ロボットや周辺システムをインターネットに接続することで、各システムの稼働状況をデータとして収集できるため、注力すべき製造ラインの判断材料になったり、自動化システムの不具合をすぐに発見できたりする。さらに、様々なデータを自ら蓄積・活用することにより新たなサービス等の付加価値の源泉となる「情報端末化」、あるいはロボットがそれぞれ単体として個別に機能するものから、相互に結びつき連携するロボットへと「ネットワーク化」する流れがある。

ところが、こうした「自律化」「情報端末化」「ネットワーク化」の変化の中において、日本では、従来の生産の安定と省力化を動機とした生産プロセス自動化のためにロボットを活用することが多く、いまだに自動車産業や電気電子産業のように量産化技術に長けた一部の製造業分野を中心に、個々のロボットを造り込みつつ活用するという方法が主流である。

これに対し、世界は例えば米国における Industrial Internet Consortium の設立や、ドイツにおける Industry 4.0 戦略の推進など、新たな生産プロセスの開発やサプライチェーン全体の最適化を目指したロボットシステム化の大きな流れにある。その世界的な潮流に対応し、国内の競争力を高めるためには、ロボット導入において、高い付加価値を持つ生産工程の設計、ロボットのティーチングを含んだシステムの構築や立上げ、制御や人工知能のプログラミングを実装できる人材の重要性が増すことが考えられる。

AI は、産業用ロボットの動作を設定するために必要なティーチングの負担を軽減できる可能性があるとして、現在研究が進められている技術である。従来、ロボットの動作を設定するためには、専門知識のある人が取り扱い製品や自動化システムにあわせて適宜プログラミングしなければならなかった。しかし AI を活用すれば、ロボットがセンサーを使って製品を認識し、自ら考えながら動作できるようになるのである。



図 1-8 インダストリー4.0のデモを行う
独シーメンス社の工場[8]

1.3.3 ロボットや IT 技術の異業種への活用について

これまでの産業用ロボットは、自動車や電気機械といった大型機械の製造工場で主に活用されてきた。初期コストの高さや、ロボットに付随する周辺システムの構築のために、広い工場が必要など、資金力のある企業が産業用ロボットの導入を可能としてきた。

従来の産業用ロボットは、万が一にでも人と接触して怪我をすることがないように、柵や囲いをして作業員と隔離する必要があった。しかし、出力が 80W 未満のロボットなら、人のいるスペースで協働することが法律で認められた。そのため国内外の大手メーカーが、人と一緒に作業できる「協働ロボット」の開発を進め、市場規模も拡大している。

協働ロボットを導入するメリットは、人の代わりとして導入できるため、ロボット専用の製造ラインの構築が不要になり、導入コストを抑えられることである。また、人の腕を模した「双腕ロボット」も開発が進んでおり、人が行っていた作業も高速かつ正確に実行できるようになってきている（表 1-2）。

表 1-2 ロボットの特徴

	産業用ロボット	協働ロボット
特徴	特定の作業を対象として構築されたロボット（専用に開発, 市販ロボットの作り込み）	人との協働作業を前提して開発されたロボット（人間の作業の置き換え, 可搬重量は低）
構造	多様(加工方法に特化した専用機)	多関節ロボット(多様な動作)
処理速度・技術	高い処理速度と加工技術(精度)	低から中位の処理速度と加工技術(精度)
人との関係	柵で囲み, 人の作業との分離が必要(ロボットの動作が優先)	柵が不要。人の作業空間を共有が可能(多数のセンサー(停止判断), 動作の制限)
設置	主に固定設置	多様な場所に再配置可能。必要な工程に移設できるため, 設備の遊休化を回避
空間	安全柵を含めて広い空間が必要	小型。既存レイアウトに直接導入可能
動作の学習とプログラミング	専任の技術者が必要 ロボットの学習操作が複雑	理解容易なインターフェース ロボットの学習操作は容易(ロボットを直接操作)
導入と運用技術力	外部の協力が必要	製造技術の内製化が可能
自動化の対象	同一品種, 大量生産	大量～多品種少量生産（学習容易さの効果）
費用	中～高 (ロボット以外の装置多(安全装置))	低～中
再利用性	低～高	高

(出典) ユニバーサルロボット <https://www.universal-robots.com/> を参考に追加, 改良[6]

現在、産業用ロボットは小型化や低価格化が進んだことや、人と一緒に作業できる「協働ロボット」が普及したことで、中小規模の企業でも産業用ロボットを導入するようになった。広い工場を持たなくても導入が可能になったため、これまでロボットによる自動化が進んでいなかった領域への普及が進んだのである。そして、これからの産業用ロボットは、自動車業界や電子デバイス業界以外にも、食品や医薬品といった他業界にも普及が進んでいくと考えられている。しかし、こうした企業には産業用ロボットの活用ノウハウがない。そこで産業用ロボットの専門家である SIer の重要性が高まっている。産業用ロボットに求められるニーズは業界ごとに異なり、ピッキングやパレタイズといった用途だけでなく、工場の規模もさまざまである。こうした多様な条件のなか、柔軟に製造ラインを構築、運用できる SIer が非常に重要だと考えられる。

今後、ロボットは三品産業（食品・化粧品・医薬品）などの幅広い製造分野において、多種多様で特徴的な製品を製造する業務やサービス業を対象とした業務、人手に依存する中小企業などで利用できることが求められる（図 1-9）。多様な業務分野でロボットを活用していくためには、ユーザーの多様なニーズを汲み取り、ユーザーとメーカーをマッチングし、ロボットシステムを構築するシステムインテグレーション機能の強化が必要不可欠である。



図 1-9 活用分野ごとの将来市場予想

(出典) 平成 22 年ロボット産業将来市場調査 (経済産業省, NEDO) [9]

1.4 ロボットシステムインテグレータ (SIer)

1.4.1 ロボットシステムインテグレータ (SIer) の特徴

まず、システムインテグレータ (SIer) とはシステムインテグレーション (SI) を行う企業及び、技術者を指す。システムインテグレーション (SI) は複数のコンポーネントサブシステムを目的に対して 1 つのシステム (システムが包括的な機能性を提供できるよう連携するサブシステム群) に統合し、そうした複数のサブシステムが共に 1 つのシステムとして確実に機能するように実装するプロセスであると言える。具体的な業務としては、システムを構築する際にシステムの企画や設計、構築、運用サポートなどのシステム開発に関係する全ての業務が対象となる。SIer と呼ばれる企業はコンサルティング業務をメインとし、クライアントからの依頼によって企業が抱える課題の分析、システムの企画や構築、運用などを行う。

ロボットシステムインテグレータ (ロボット SIer) とは、ロボットを導入しようとする企業に対し、ロボットを使ったシステムの企画や分析、構築、運用まで、ロボットの活用を幅広くサポートをする事業者のことである。すなわち、ロボットに特化した SIer として、ロボットを使った機械システムの導入提案や設計、組み立てなど、ロボット導入の計画時から現場での効果的な運用の対策まで、幅広く業務を担っている。一般的にロボット SIer は企業や事業者を指すことが多いが、本論文では個人も指す。

ロボットが生産ラインなどで活躍するためには、動き方のプログラムや周辺設備を整え、現場に合わせたシステムを創り上げなければならない。現在のところ、自社における最適なシステムを構築するためには、ロボット導入のエキスパートであるロボットシステムインテグレータにサポートを依頼することが一般的である。

ロボットシステムのスムーズな構築を目的として、一般社団法人日本ロボット工業会 (JARA) は「ロボットシステムインテグレーション導入プロセス標準 (RIPS)」を作成している。これはロボット導入時の作業工程や作成する書類など、誰もが使いやすいようにまとめられたものである。この流れを活用することで、依頼先との認識のずれから発生する作業の手戻りを防ぐことができ、進捗が分かりやすく問題発生時に速やかに対処できる、といったメリットがある。実際の導入において、各業者による細かい作業の違いはあるが、今回は RIPS で定められている自動化システム構築の基本プロセスに沿った、SIer の業務の一連の流れを以下に示す (参考: Robot system Integration Process Standard 『ロボットシステム インテグレーション 導入プロセス標準』) [10] .

① 引合 (要件定義)

ロボット導入を検討している企業は、まず他社の事例などを参考にし、導入目的を明確にする。次に実務担当者が費用やスケジュールといった必要事項を検討する。これらの要件をまとめた資料が提案依頼書 (RFP: Request For Proposal) であり、作成した RFP をもとに、依頼先 SIer 企業からシステムイメージについて提案が行われる。

② 企画構想 (要求定義)

現場確認やヒアリングなどを通して、ロボットシステムの企画構想が行われる。自動化の目的やシステム概要などが明確になると、導入の目的や実現方法、想定運用などがまとめられた見積仕様書が作成される。その後、作業工程やスケジュールなどを決定するための正式見積もりが提示され、ここで依頼をすることでプロジェクト化となる。

③ 仕様定義

産業用ロボットの運用イメージや作業内容などを検討する、最も重要なプロセスであり、3D 図面などのビジュアルツールを活用して、具体的な運用イメージが提示される。また導入プロジェクトの進め方、運用におけるチェックポイント・処理方法などを依頼先 SIer とすり合わせる。この段階でシステムの全体像が明確になるため、必要に応じて見積もりの補正が行われる。

④ 基本設計～詳細設計

基本設計では、ロボット SIer が具体的なロボットシステムの方式や詳細の設計を行い、ロボットや必要部品を調達する。依頼主は自動化にかかわるリスクを確認し、安全対策について合意をすることで、設計に反映される。詳細設計では、基本設計をもとに出荷前テスト仕様を作成され、出荷前の最終確認事項が明確になる。

⑤ 出荷前テスト

加工や組み立てなどの製造工程後、ロボット単体の動作確認があり、さらにシステム全体での動作検証が行われる。また SIer による出荷前テスト後、工場の経営者も一緒に組み上がったシステムを確認する立会検査が行われる。立会検査が完了したロボットシステムは実際に稼働する場所へ移送・据付される。

⑥ 総合テスト

立会検査が済んだロボットシステムが実稼働環境に搬入され、据付・調整が完了すると、動作検証が行われる。検証項目は基本設計にて立案した内容である。基本的に、実稼働環境でも出荷前のテストと同じように動くかチェックしている。依頼先のロボット SIer が行う最後のテストであり、これ以降は依頼主が主体となる。

⑦ ユーザーテスト

ロボットシステムを使った実生産をはじめる前に、対象数量を減らして、実際に製造を行い動作確認をする。チェックをする内容には、性能、運用性、信頼性、安全性、メンテナンス性だけでなく、不具合があった際の対応方法なども含まれる。問題が無ければ、本来の製造予定数量にて本稼働となる。

1.4.2 ロボットシステムインテグレータ（SIer）の必要性

製造業界において、ロボットと周辺機器などを組み合わせて連動させる「ロボットシステム」の導入が進んでおり、「ロボットと共生する社会」の実現が進んでいる。そのために欠かすことのできない存在が「ロボットシステムインテグレータ（以下、「ロボット SIer」と略記）」である。ロボットを導入する企業に対し、課題の分析、システムの提案、機械設備の選定、設置までを担当するエキスパートであり、国を挙げてその育成が進められている。

しかしながら、国内では前述したロボットシステムを構築する人材であるロボット SIer が企業のロボット導入の需要に比べて少ない。このため、ロボットの研究開発を行う人材に加え、効率的にロボットシステムを導入できるロボット SIer の育成を早急に、短期間で効率的に行う方法を構築するとともに、活用できるしくみも構築することが、ロボットの導入を促進させるために必要であると考えられる。また、前述したロボットシステムの構築を専門に行う企業（以下、ロボット SIer 企業と略記）においては、新卒者に対する人材採用ではとくに、工業高校の出身や大学文系学部出身の卒業生の採用も多い。そのため、初心者レベルの人材として教育する必要が生じている（図 1-10）。

本研究では、ロボット産業の技術革新に伴う最大の課題をロボット産業における人材育成と捉える。ロボット SIer に求められる資質、能力、そして、あるべき姿を「ロボット・周辺機器等の広範囲の知識とシステム化する技術技能、システム化の課題究明・解決能力を有し、他者とコミュニケーションをとりながらシステムを構築していける人材」と定義し、ロボット SIer 企業の調査や先行研究から定義したロボット SIer を育てる方法を提案する。

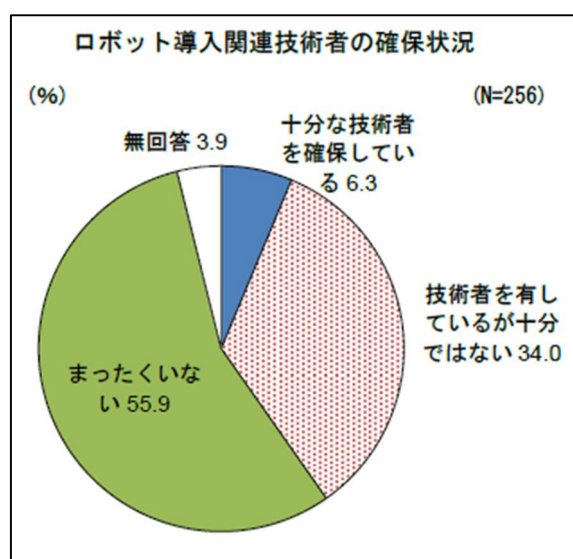


図 1-10 企業におけるロボット導入関連技術者の確保状況[11]

1.4.3 ロボット SIer（プロジェクトマネージャー：PM）に求められる資質能力の要素

企業における調査結果から、ロボットを扱う SIer は広い知識や技術が必要であり、とくにプロジェクトマネージャー（以下 PM と略記）を育成することは全てのロボット SIer 企業にとっても重要な課題であった。また、PM に求められる知識や技術力には工学技術の専門基礎知識とともにロボットの実機を使いこなす幅広いスキルを網羅する技術力が必要であり、自己の専門領域だけでなく、複数の専門領域に関する技術についても、高いレベルの専門知識が必要であることがわかった（図 1-11）。

従来型の生産ライン（大量生産現場の溶接、塗装、組み付け作業等）へのロボット導入においてはユーザー要求仕様が明確であり、ユーザー技術スキル主導、費用対効果も精度高く推定可能であるが、新分野（中小量生産現場、三品産業等）へのロボット導入においては、ユーザー要求仕様が不明瞭でユーザー技術スキルは期待できないケースや費用対効果も予測困難なケースが多い。したがって、今後ロボット SIer（PM）にとくに求められる資質能力の要素は新分野に対応できる力ということになる。もちろん従来でも必要とされた工学技術の知識、ロボット技術を使いこなすスキルは必須（前提条件）として、とくにロボットプラットフォームに関する知識・分野を横断的に包括し、活用できる能力であり、さらに必要なのは、ロボット導入の業務全体を俯瞰する中で、とくに上流工程における顧客ニーズの持つ課題の本質を究明し、適切な解決方法を提案できる力、場合によっては顧客の考え・イメージを否定、あるいは矛盾を指摘し顧客の当初の仕様を変更提案できる力であるといえる。

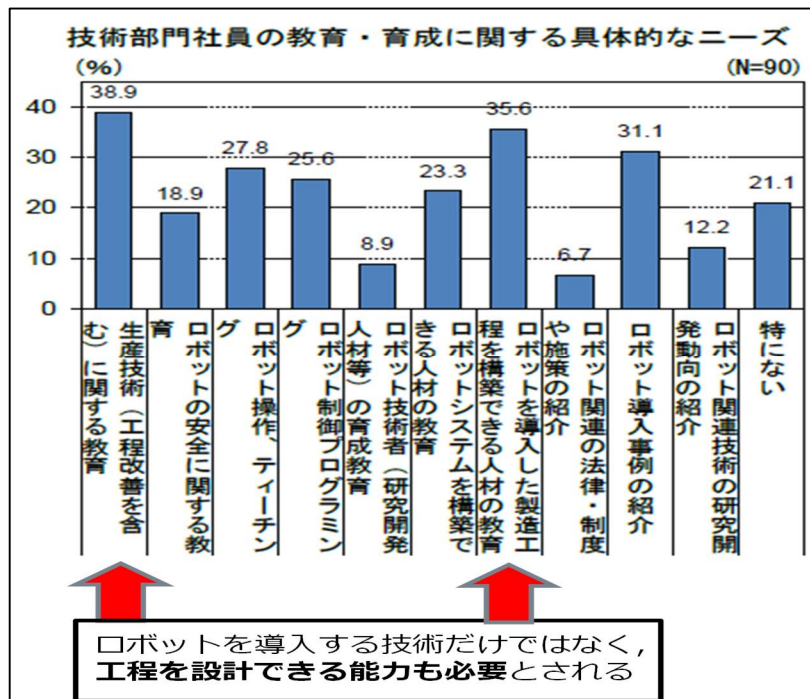


図 1-11 企業における技術員（ロボット SIer として）の教育・育成に関する具体的なニーズ [11]

1.5 ロボット Sier 教育の取り組み

諸外国におけるロボット関連技術やロボットシステムインテグレート技術の教育の実態調査が株式会社 NTT データ経営研究所により行なわれている。2020年7月に欧州、9月に米国、10月にアジア地域に対して、以下の（ア）～（エ）に掲げる事項について、諸外国における教育機関や文献等の調査が行われた。諸外国における現状のロボット教育の取り組みを図 1-12 に示す[12]。

大項目	小項目	米国	欧州	中国	星国	泰国	印国	ベトナム
(ア)欧州（ドイツ、フランス、英国等）、米国及びアジア地域（タイ、シンガポール、インド、中国等）を対象としたロボット技術やロボットシステムインテグレートに関連した教材、現場における実践演習、産学官の連携の実態、公的機関の関与・支援等	教材	-	-	○	-	-	-	-
	現場における実践演習	-	-	-	-	-	-	-
	産学官の連携の実態	△	△	○	○	△	△	△
	公的機関の関与・支援	△	△	○	○	△	○	△
(イ)諸外国における教育現場における教師の育成や専門家の確保	教師の育成や専門家の確保	-	-	-	-	-	-	-
(ウ)諸外国における職業訓練学校等のロボット教材、カリキュラム、シラバス等	職業訓練学校等のロボット教材など	○	○ 独国	-	○	-	-	-
(エ)諸外国におけるロボット技術やロボットシステムインテグレートに係る資格制度、それに対する教育訓練講座	資格制度教育訓練講座	○	○ 英国 独国	○	○	-	○	-

※凡例：“○”=事例が確認できたもの、“△”=事例は見つからなかったが、類似の事例が確認できたもの、“-”=事例が見つからなかったもの

図 1-12 諸外国におけるロボット関連技術やロボットシステムインテグレート技術の教育の実態[12]

（出典）https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000653.pdf

米国では、STEM 教育の取り組みが進んでいることから、プログラミング、ソフトウェア、機械、ロボットを含めた教育プログラムを提供する機関等が存在する。ドイツのケーブルメーカ・LEONI 社が、米 Nashville でロボットを含む生産機器に関する教育プログラムを開講している。ロボットのトラブルシューティングおよび安全について必要なスキルを身に付けることを目的とした 6 週間のプログラムで、ロボットは 3 つのコースに分類されている。Fanuc, ABB などのロボットシステムや PLC の保全を適切に行えるようになることが技術的な目標とし、高校卒業以上を対象としている。なお、同社はロボットについてオーダーメイドのトレーニングプログラムの独自開発や、トレーニング用のロボットシステムを提供している。米国以外では、LEONI 社が提供する同種のプログラムの存在は確認されていない[12]。これらの調査報告から、海外の教育ではロボットの要素技術の習得が目的とされ、実機を用いた操作技術の習得が目的である。このため、現場における問題の発見や対策案の検討などが行なえるプロジェクトマネージャーの人材教育の方法は考えられていない。

1.5.1 ロボット SIer 育成に関する施策

愛知県では「あいち経済労働ビジョン 2021-2025」[注 4]を策定し、6つの施策の「柱1」で『次世代産業の振興・イノベーションの創出』を目指す中、具体的な取組みとして、ロボット産業の振興、ロボットの社会実装の促進をあげている。

「あいちロボット産業クラスター推進協議会」を核として、省人化ニーズへの対応や高齢化に伴う介護・リハビリ支援ロボットなど、社会課題の解決に資する分野の取組みの推進をする。

さらに「柱6」で『愛知の産業を担う人財力の強化』として、高度なモノづくり人材の育成をあげ、具体的に「愛知総合工科高等学校」における取組みや県立工業高等学校の校名変更（工業を工科に変更）、及び学科改編（将来的にロボット工学科を7校に設置）し、ロボット SIer の育成を目指すとともに、ロボット SIer を教育するカリキュラムを県あげて考えている。

その一方で、運用方法はまだ考えられていない。現在は既存の類似する学科に対して取組みが考えられているが、現在のところ実現できていない。

したがって、愛知県教育委員会高等学校教育課より、今後、工科専門高校及び専攻科にロボット SIer 育成を目指すロボット工学科を順次開設していくにあたり、その教育方法の指針を本研究成果に求めたいとの要望があり、本研究はその意向も踏まえる。

1.5.2 公的機関におけるロボット SIer 育成の取組み

これまでに、関東経済局 SIer 育成プログラム研究会、FA ロボット SIer 協会[注 5]、あるいは各県、市主催のロボット SIer 教育セミナーが行われてきているが、いずれも初心者レベルであり、企業の有効な経営活動に質する意味での SIer 教育とはなっていない。ロボット革命イニシアティブ協議会内のワーキンググループによって、ロボット SIer として必要な技術や知識の分類と程度（レベル）が示された「経産省ロボット SIer スキル標準」[注 6]が作成されている。

しかしながら、この記述は技術者の業務遂行に対するスキル管理に有効であるが、人材教育のしくみは組み入れられていない。本研究では、今後、そのような教育機関がロボットシステムに関する一連の業務を担当できるプロジェクトマネージャー（PM）レベルの育成を想定し、効率的、かつ実効性の高い教育を若手ロボット SIer に対して実施するにはどうすればよいか、という視点からも研究を行う。

FA ロボット SIer 協会によるロボット SIer 教育・検定プログラムを図 1-13 に示す。



図 1-13 FA ロボット SIer 協会によるロボット SIer 教育・検定プログラム[13]
 (出典) https://www.rsj.or.jp/content/files/event/openforum/2019/RSJ2019W_OF6_S1er1.pdf

1.5.3 一般企業におけるロボット SIer 育成の取組み

SIer 育成方法については、現場で経験を蓄積させることで人材を育成する方法 (OJT 型) や、短期間集中して教育する観点から社内研修 (OFFJT 型) が有効なことは言うまでもない。実際に OJT を基本とし、個人の力量に合わせた仕事を選定し (OJT のレベルの配慮)、実践的な学習となるような配慮した人材育成を行っている企業が多い。ただし、前者の OJT 型では、目的・目標が具体的で明確なのでインセンティブも働き、取り組みやすいが、限られた人材への教育になる。

一方、後者 OFFJT 型は取り組み方しだいによってはインセンティブが働かず、知識だけの習得になりかねない。必要なのは SIer としてのスキル・知識を横横断的に有機づけ、組合せ、いかに新たな付加価値をのせていけるか、あるいは幅広く異分野からいかにアナロジー的に新技術を生み出し、多様な用途に対応し、ロボットをシステムとして活用することができるかといった能力を育成することが必要と考える。勿論、それにより生産性、収益性の向上が実感されるようにならない。

企業によって OJT の取り組み方は異なるが、これはロボット SIer 以前の事業の特徴や業務に必要な資格が関係している。しかしながら、すべての企業において、現状ではロボット SIer を育成するために効率的な教育カリキュラムが確立されているといえない。

また、問題点として OJT では計画的な学習内容となり難い。つまり、場当たりの、あるいはその企業の特性による分野の偏向的な内容になる。また、実践的な知識を経験により学習できるが、理論に基づく系統的な方法による教育ではないため、ロボット SIer に必要な複数の技術に関連付いて理解するには困難な場合が多い。

一方、これまでロボットを活用してこなかった分野においては、今後、現場で実際にロボットと協働する立場にある人々が新たにロボットに関する知見や活用ノウハウを取得する必要があるが、その点について「ロボット安全対応」、「画像処理」、「PLC プログラミング」に関する

る教育は対応策となる。とくに、熟練者の手の動きをいかにロボットにプログラミングしていくか、そこには熟練者の視点に立った高度な画像技術が不可欠であり、加工機・周辺装置とロボットとのマッチング、さらにそこに人間の作業者が介在し、まさに人、ロボット、加工機械・周辺装置の協働システム（ハーモナイズシステム）を構築していかなければならないと考える。

1.5.4 ロボットに関する技術教育における研究

これまでのロボットに関する技術教育における先行研究で山口ら[14]が今後、ロボティクス・IT 産業における必要な能力を「未知の問題に対する解決能力」とし、「提案力」や「開発力」等を課題発掘型の実習（PBL 実践トレーニング）を用いたカリキュラムで教育成果を上げているが、対象が大学院生で時間的余裕があることを前提としている。本研究では時間的余裕のない、さらに工学知識の未熟な若手（例えば工業高校を卒業した）新人を視野に入れた育成手法を考えていく。

また、中野ら[15]が ICT 人材に必要な能力であるコミュニケーション能力、問題解決能力等をロボットコンテストへの小中学生との協働参加により向上でき、ICT 人材育成におけるロボット教育効果の高さを結論づけているが、ロボット教育の体系化、あるいは育成方法の視点から標準化されていると言い難い。

また、赤羽根ら[16]の実践講座における演習に使用する実データに隠し玉と落とし穴（偽データ）を盛り込み、問題を発見させ、グループ討議で解決策を検討する方法をとっており、本研究でもそれが本当に確かな実践力の育成となるような一助としたい。

本稿では SIer 企業として、とくに人材育成分野でユニークな取り組みをしている B 社をはじめ中部地区 6 社の取り組みを代表事例として取り上げ、そこから学び得たものをもとに、今後必要とされる若手ロボット SIer 育成における、その教育手法の方向性を検討する。

1.6 本研究の目的

第1章（本章）では、市場におけるロボット導入の必要性を示す。ここでは、ロボットシステムを構築するロボット S1er が企業のロボット導入の需要に比べて少ないため、効率的にロボットシステムを導入できるロボット S1er の育成を早急に、短期間で効率的に行う方法を構築するとともに、活用できるしくみも構築することが、ロボットの導入を促進させるために必要であることを示す。そして、従来のロボット S1er 育成についてはどのように行なわれてきたか、その内容と特徴、さらにはどのようなところが欠けていたかを述べる。そして、本研究の目的として、ロボット S1er に求められる資質能力の要素を明らかにし、インストラクショナルデザインを活用し、ロボット S1er の技術形成プロセスにおける新しい教育方法を提案することを示す。そして、複数の技術区分をまとめて構造化することで異なる技術区分を関連付けて学習する教育方法により、短期に PM が育成できることを後の章により示す。

本研究では、初学習者あるいは、ロボットに関する技術・知識、経験の浅い者に対するロボット S1er の教育とし、ロボット導入業務の全体を俯瞰し、上流工程の業務から、実機の実装、および現実場への納入までの業務に必要な知識・技術を学習する教育方法を提案する。

そして、本研究の教育方法で得た知識や技術を活用することで、ロボット S1er 業務全体の流れを掌握し、顧客の現場の特徴分析や対策案の策定により、顧客先の業務の効率を高めるロボットシステムの導入を実現できる人材、とくにプロジェクトマネージャーとなりうるリーダーの育成のため、教育方法とカリキュラム作成を目的とする。

図 1-14 は本論文の内章の構成を図にしたものである。

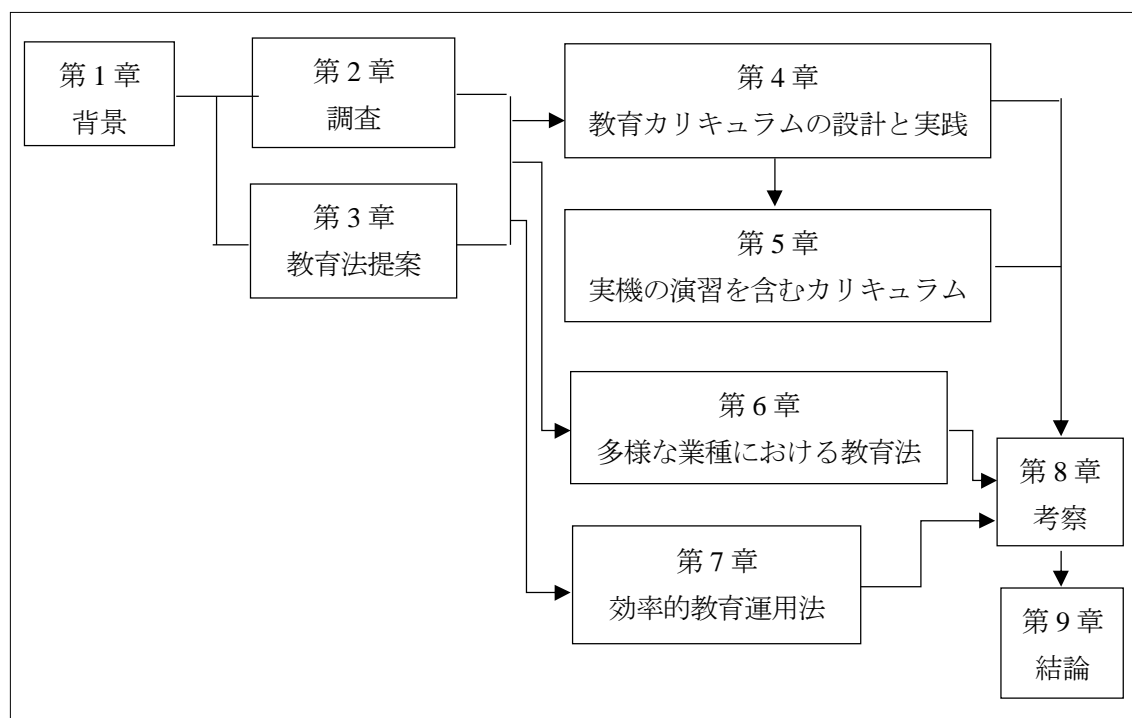


図 1-14 本論文の内章の構成図

第2章では、ロボット S1er のとくに若手に対する人材育成に着目し、企業における事例や過去の文献から分析することで教育に必要な技術や考え方、さらに運用法について提案する。ロボット S1er を効率的に育成するために、スキル標準シートをベースとした領域に分類した科目の知識と装置の利用に関する技術や技能を初心者レベルから段階的かつ分野融合的に関連付け、技術者が主体的に取り組める実践的なカリキュラムについて研究する。

第3章では、ロボット S1er の事業と人材に着目し、ロボット S1er に必要とされる知識や技術の特徴を調べるとともに S1er 企業の継続的な経営のための人材育成の方法を検討する。問題解決のために複数の企業にインタビュー、および現状の関係教育機関の調査を行い、企業の特徴やロボット導入の問題点、そして S1er の教育方法に関する状況と意見を得た。インタビューの結果を分析し、ロボット S1er に必要な知識と技術を示すと同時に、知識ベースと実践ベースの組み合わせによる効率的な人材教育の方法を提案すると同時に、現状の大学や工業高校の教育と比較することで、提案する教育方法がロボット S1er の教育に必要であることを示す。

第4章では、これまでに製造現場におけるロボット S1er 事業の調査とともに、人材育成の特徴分析と効率的な教育方法を検討し、提案したロボット S1er 教育方法に基づき、具体的な教育カリキュラムを設計し、工業高校電子機械科に適用、実施する。製造工程におけるロボット S1er 業務全体の流れの中で上流に位置する工程分析と設計を含めた工場におけるロボット導入に関する講義と演習を行なう。教育内容については全5回で構成し、教育方法の「Step1：既存の方法の学習」、「Step2：カスタマイズや応用問題に対する学習」、さらに「ID」に適用する。毎回の実習の実施後に教育効果の分析、及び課題を抽出し、生徒の理解度が向上するように次回の実習内容や学習方法の修正を行ないながら進める。生徒のプレゼンテーションや成果物、およびアンケートから学習の効果を分析し、本実施における問題を考察する。得られた結果の分析からロボット S1er 教育カリキュラムの改善案を示す。

第5章では、本研究で提案した教育方法に基づき、工程分析と設計を含めたロボット導入に関する教育カリキュラムを設計し、工科高校へ適用・実施する。カリキュラムの設計は、カスタマージャーニーマップを参考に開発した「カリキュラム作成ジャーニーマップ(Curriculum Creation Journey Map)」、以下「CCJM」と略す。)を利用する。さらに、インストラクショナルデザイン:IDを活用し、ロボットの実機を利用した生産工程の設計と構築、評価を行なう。生徒の学習の効果を生徒のプレゼンテーションや成果物、およびアンケートから分析し、分析結果から、教育の問題を抽出、考察することで専門知識が初期である人材に対する教育方法の対策と本研究で開発した CCJM の利用による教育カリキュラム設計法を提案する。

第6章では、介護福祉分野に着目し、ロボット導入における問題点を明らかにし、ロボット導入に必要な考え方やロボット S1er として必要な知識・技術を検討する。そして、ロボット S1er としての人材育成の方法を提案し、大学学部教育に適用することで効果を調べる。これにより、異業種に対するロボット S1er の教育方法として、製造現場を対象とするロボット S1er 育成カリキュラムにおける知識と実践をベースとした要求・要件定義の設定能力や、RTC・RTMを含めたシステムの上流設計の能力を育成する方法を提案し、検証する。超高齢化社会では介護問題は喫緊の課題であり、介護上の人材不足に対して、介護福祉分野へのロボットの導入は問題解決に有効な役割を有する。

第7章では、ロボット S1er の事業を継続的で発展的に運用する方策を検討する。国内中部地

区の複数のロボット Sler 企業へインタビューを行い、事業の特徴や運用の問題点から、継続的に事業運用を行うための経営活動の方法として、人材育成を含めた人材の技術マネジメントと業務管理の方法を検討する。

第 8 章では、第 2 章から第 7 章までの研究を通して、ロボット Sler の教育カリキュラムに対する考察を行なう。

第 9 章では、本研究の全体についての考察、及び知見をまとめ、今後の課題について述べる。

注意事項

[注 1] DARPA ロボティクスチャレンジ（ダーパ ロボティクスチャレンジ）は、アメリカ国防総省の機関である国防高等研究計画局（DARPA）が主催する、災害救助用のロボット競技大会である。人間が近づけない過酷な災害現場で活動するロボットの開発を促すのが目的である。

[注 2] SPARC は、欧州委員会と欧州の産学連携との間の官民パートナーシップであり、研究から生産まで、ロボット産業とバリューチェーンの成長とエンパワーメントを促進している。欧州の産業および研究から 250 以上のメンバー組織は、世界におけるヨーロッパのロボット工学の戦略的位置付けと、欧州経済と社会に対する利益を確保することを目指し、産業、研究、ビジネスから専門知識をもたらすこととしている。

[注 3] 政府は、「日本再興戦略」改訂 2014 で掲げられた「ロボットによる新たな産業革命」の実現に向けて、ロボット革命実現会議で審議してきたまとめを「ロボット新戦略」として 2015 年 1 月の末に公表した。これは、米国が 2011 年に「国家ロボットイニシアティブ」を発表し、人工知能や音声、画像の認識分野を中心としたロボットの基礎研究に毎年数千万ドル規模の支援をしていること。欧州委員会が民間企業・研究機関と共同で 28 億ユーロ規模のプロジェクトを立ち上げて、実用ロボット開発を推進していること。また、中国では「智能製造装置産業発展計画」で、産業用ロボットの国内売り上げを 20 年までに 10 倍の 3 兆元にする目標を掲げ、2013 年のロボット導入は 3 万 7000 台で世界一になったことなど、世界の追い上げが激しく、このままでは日本の強みとされてきたロボット分野においても世界から遅れをとるのではとの危機感から、取りまとめられたものと言える。

[注 4] 愛知県では、本県の産業労働政策の基本的な方向性と主な施策を示す「あいち産業労働ビジョン 2016-2020」に続き、新たな計画「あいち経済労働ビジョン 2021-2025」（計画期間：2021～2025 年度）を策定した。ビジョンでは、現下の危機である感染症に対応した緊急対策に全力で取り組むとともに、強みであるモノづくりとデジタル技術の融合やスタートアップ・エコシステムの形成などにより、愛知発のイノベーション創出や本県産業の持続的な発展を図ることを目的とする。

[注 5] Sler の共通基盤組織として、事業環境の向上及び能力強化、関係者間の連携促進を目的に 2018 年 7 月 13 日創設。

[注 6] 経済産業省ロボットシステムインテグレートスキル標準（ロボット Sler に共通して求められるスキル項目を抽出し、それぞれの項目について能力の高さに応じたレベルを設定して一覧形式にしたもの）

参考文献

- [1]国立社会保障・人口問題研究所：「日本の将来推計人口」, <http://www.ipss.go.jp/> (2019/07/30 閲覧).
- [2]United Nations “ World Population Prospects 2019”,
<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/> (2019/07/30 閲覧).
- [3]総務省：「労働力調査年報」, <https://www.stat.go.jp/data/roudou/report/index.html> (2019/07/30 閲覧).
- [4]経済産業省：2021年版「ものづくり白書」,
<https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2021/index.html> (2019/07/30 閲覧).
- [5]真壁昭夫：「日本企業が工場を国内回帰させている理由」『PRESIDENT Online2019/02/13』,
<https://president.jp/articles/-/27643?page=2> (2019/07/30 閲覧).
- [6]国際ロボット連盟：「IFR forecast: 1.7 million new robots to transform the world’s factories by 2020」, <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/ifr-forecast-1.7-million-new-robots-to-transform-the-worlds-factories-by-20> (2019/07/30 閲覧).
- [7]ユニバーサルロボット：<https://www.universal-robots.com/> (2019/07/30 閲覧).
- [8]現代ビジネス：「世界的な関心を集める『第4次産業革命』と、そのカギを握るAI（人工知能）」, <https://gendai.ismedia.jp/articles/premium01/43775> (2021/11/6 閲覧).
- [9]NEDO：「2035年に向けたロボット産業の将来市場予測」,
<https://www.nedo.go.jp/content/100080673.pdf> (2020/11/6 閲覧).
- [10]経産省：「ロボットシステムインテグレータ（ロボット Sier）のスキル標準・プロセス標準 2017.6」
- [11]公益財団法人 ちゅうごく産業創造センター：「製造業における省力・自動化(ロボット)技術導入並びに地域産業人材活用のための人材プラットフォーム構築に係る方策検討調査報告書」(2018).
- [12]株式会社 NTT データ経営研究所：「ロボット関連技術及びロボット利活用にかかる教育の実態並びに我が国の教材・カリキュラムの策定に向けた調査事業 調査報告書」, 2020年2月28日, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000653.pdf (2020/11/6 閲覧).
- [13]F A・ロボットシステムインテグレータ協会：「ロボットシステムインテグレータの役割とその育成」, 2019年9月3日, https://www.rsj.or.jp/content/files/event/openforum/2019/RSJ2019W_OF6_Sier1.pdf (2020/11/6 閲覧).
- [14]山口明彦 他：「課題発掘型学習を中心とするロボット教育の大学院向けカリキュラム」『日本ロボット学会誌第34巻9号』 pp.45-52 (2016).
- [15]中野統英 他：「経営学部におけるシステムエンジニアになりうる若手人材の育成」『VENTURE BUSINESS REVIE Vol.10』 pp.45-62 (2018).
- [16]赤羽根亮子 他：「人材育成を目的とした実践講座の開講」『プロジェクトマネジメント学会 2010年春季研究発表大会予稿集』 pp.277-282 (2010).

第2章 ロボット産業人材における若手ロボットシステム

インテグレータの育成法の調査

2.1 はじめに

世界的な関心を集める「第4次産業革命」成功のカギはAI（人工知能）、ロボットの更なる普及拡大にある。世界ではIoT（Internet of Things）社会の到来に伴い、グーグルに代表されるような個別企業レベルでの新たなビジネスモデル構築に向けた動きや、製造業での米国におけるIndustrial Internet Consortiumの設立や、ドイツにおけるIndustry 4.0戦略の推進など、新たな生産プロセスの開発やサプライチェーン全体の最適化を目指す官民を挙げての取組みが本格化している。ロボットを巡る世界的な流れや日本の置かれた現状を踏まえ、ロボット技術やロボットを活用するためのシステムも含めて大きく革新させることができれば、日本が直面する少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少と人手不足の問題解決にとって有効な手段になりうる[1]。

これまで、ロボットの活用の主たるフィールドは、自動車や電気電子産業等の大企業が中心であり、大規模な生産ラインに組み込まれた専用作業の仕様によるものであった。今後、ロボットは三品産業（食品・化粧品・医薬品）などの幅広い製造分野において、多種多様で特徴的な製品を製造する業務やサービス業を対象とした業務、さらには人手に依存する中小企業などで利用できることが求められる。多様な業務分野でロボットを活用していくためには、ユーザーの多様なニーズを汲み取り、ユーザーとメーカーをマッチングし、ロボットシステムを構築するシステムインテグレーション機能の強化が必要不可欠である。

現在、ロボットシステムインテグレータ（以下、「ロボットSIer」と略記）は、国内では需要に対して質と量がともに不足しており、早急に対応する必要がある。とくに、新卒者に対する人材採用では工業高校の出身や大学文系学部出身の卒業生の採用も多く、初心者レベルの人材として教育する必要性が生じている。

本研究では、ロボット産業の技術革新に伴う最大の課題をロボット産業における人材育成と捉える。ロボットSIerに求められる資質、能力、そして、あるべき姿を「ロボット・周辺機器等の広範囲の知識とシステム化する技術技能、システム化の課題究明・解決能力を有し、他者とコミュニケーションをとりながらシステムを構築していける人材」と定義し、ロボットSIer企業の調査や先行研究から定義したロボットSIerを育てる方法を提案する。

2.2 ロボットSIer業界の状況

2.2.1 ロボットSIer企業の現況

ロボットメーカーが販売する「産業用ロボット」には物を把持するためのハンドは付いておらず、動き方も教えられていない。このため、生産ラインにロボットを導入するためには、生産ラインに適合するようにロボットや関連する制御装置を使用したシステムを提案、設計、構築を行う。このようなロボットシステムインテグレーションを行う企業では、近年のロボット化への要請の高まりから、引き合いや売り上げを伸ばしており、業界全体のビジネスは活況である[2]。

しかしながら、仕事量の増加が利益の増加に直結していない状況となっている。その理由とし

て、

- ① 開発・設計コストの回収のしにくさ
- ② ユーザーの知識不足による仕様変更の常態化
- ③ ロボット SIer 事業の対価の低さ

が挙げられる。

とくに、顧客から複雑な要求が増加しており、顧客の知識不足によるテスト後の手戻りの発生や開発中での仕様変更の発生により、時間とコストが増大している。さらに、ほぼ全企業でエンジニアが不足しており、若手のスキル向上が課題となっている。

2.2.2 ロボット SIer 人材に関する状況

ロボット SIer の企業においては、10 人以下でキャリア 10 年未満とする企業が多く、ほとんどの企業では高キャリアな人材が不足しているため、ビジネス機会を逸失しているケースが多い。今後、採用数を増す、あるいは現状と同程度とする方針を持つ企業が多く、多くの企業は若手のスキル向上を目指し、育成のために自社内での教育のほか、外部研修機会の提供や資格取得費用の補助などを行っている。

ロボット SIer に共通して求められるスキル項目に能力レベルを設定した「経産省ロボット SIer スキル標準」[注 1]が存在する。この中で、ロボットシステムの主となる技術である、「ロボット制御」、「画像処理」、「システム制御」、「機械設計」のスキルを強化していきたいとする企業が多い。一方で、この中で、「画像処理」、「電気配線」、「品質保証」については、自社対応が一部にとどまる企業が多い。さらに、ロボットシステムに関する一連の業務はプロジェクトマネージャー(以下、「PM」と略記)の管理の下で行われるため、PM の人材が多いほど多数の案件を受け持つことができることから、広い専門範囲の技術レベルを短期間で高める人材育成のしくみが必要である。

2.3 事例調査から考察される人材育成の問題と課題

ロボット SIer の企業を訪問調査し、現在の SIer の人材育成方法と教育上の問題点、及び課題を抽出する。調査対象は中部地区の異なる 6 社のロボット SIer の企業とした。

調査から、各社における社内教育の実施例として、資格取得に関する講習会、自社で開発した教育実習装置を利用した実習、自社において自由に装置を利用できる練習室の用意(検証含む)、自社の教材テキストの利用による学習、ロボットの供給元のセミナーへの参加、協力会社と連携したプログラムの提供が行われていた。また、OJT を基本とし、個人の力量に合わせた仕事を選定し(OJT のレベルの配慮)、実践的な学習となるような配慮した人材育成を行っている企業が多い。

企業によって OJT の取り組み方は異なるが、これはロボット SIer 以前の事業の特徴や業務に必要な資格が関係している。しかしながら、すべての企業において、現状ではロボット SIer を育成するために効率的な教育カリキュラムが確立されているといえない。また、問題点として OJT では計画的な学習内容となり難い。つまり、場当たりの、あるいはその企業の特性による分野の偏向的な内容になる。また、十分な教育が行き届いていないために人事採用では中途採用が中心となっている企業や SIer の技術者として教育の仕組みが存在していないために PM (プロジェク

トマネージャー)のような責任者が不明確である企業があった。さらに、コスト、リードタイム、納期等の管理、システムの構想における良し悪しを決定する上流業務のコンサルティング的な能力を教育する仕組みはどの企業も存在していなかった。したがって、課題として現組織にPMを立て、全体(全期間)を管理する人材や組織的な仕組みが必要と思われる。表2-1に各企業の特徴を示す。

表2-1 インタビューを行った企業の特徴

企業	SIerとしての特徴	人材育成の特徴	ほしい人材の特徴
B社	工場へのロボットの導入と産業教育教材の開発を事業としているため、特定のロボットメーカーの傘下でも無く、また固定された顧客の業界も無いため、一つ一つを構想し、検証し提案することができる環境と能力がある。導入先の企業の特徴に合わせた開発を可能とし、顧客の要求に合わせて、システムを柔軟に開発できるとしている。	産業教育教材の開発で得た教育技術と現実の工場に対する生産設備の開発や導入の経験を活かして社内の人材育成や技術教育を行っている。会社は学べる環境が整っている。教育研修用のトレーニングルームを設け、自社で開発した実習機等も利用できる。実践的なOJT教育を主体とする。	機械設計から電気設計、制御にいたるロボットを使用した全てのプロセスを熟知した人材。また、顧客のニーズを聞き取るコミュニケーション能力があり、顧客の生産工程を分析でき、効果の上がるロボット設備を提案できる生産技術能力を持った人材。
T社	加工方法を含めたロボットシステムを提案している。とくに、加圧型サーボモータを利用した加工機械(ロボット)やカシメ加工(ハミング)のロボットシステムなどの技術を持つ。	PMがOJTを進めている。その他はロボットを提供しているメーカーのセミナーに参加。人数が少ないため、技術系の人材に限らず、採用している。	ソフトが作れ、3DCADが扱え、制御装置の設計・製造ができ、PLCが扱え、生産技術等いろいろな分野の知識を持った人材。
I社	ISO/IECに基づき、リスクアセスメントを設計に組み込むことで協働ロボットを設計・開発している。	OJT(PMがプロジェクトを通して指導)、ロボットに関する技術はロボットの供給元のセミナーに参加。	SIerのための広い知識(機械設計、電機設備設計)、専門性の高い人材。
M社	自動化装置をベースにシステムを設計することとし、ロボットにこだわらない。ロボット自体の動きのプログラミングに重点を置いている。	実践的に客先からの受注そのものが学習内容となる。組織的にチームであたる。チームの構成は能力・経験を配慮し、若手が育つ環境にする。	客の要求事項の具体化できるか(ロボットにこだわらない)・ロボットの特徴(あるいは汎用性)をどう生かすことができる人材。
S社	工場の設備設計、開発、製造、導入が主な事業。そこから、ロボットを使った設備に発展させている。	基本はOJTで、先輩と一緒に仕事をする事で総合力を学習させている。ロボットメーカーのセミナーも参加させている。	ロボットだけではなく、制御できることや、SIerとしての専門的な総合力(提案力、メカの知識)のある人材が欲しい。
K社	供給・排出・搬送から、測定・検査・箱詰めなど自動車部品製造の経験を活かした提案・開発ができる。	新入社員研修を3か月間実施する。(8:00~15:00)で現場実習(15:00~17:00)で機械設計製図等の座学、研修後は各配属先でOJT。	多能工的人材。とくにスキル(ロボット、シーケンサー、メカ設計)の高い者。

2.4 新しい教育方法の提案

6社の調査からロボットSIerの業務の特徴と人材育成の特徴を調べた。本章では、この調査結果を踏まえロボットSIerの人材育成の方法を提案する。

調査結果から、ロボットを扱うSIerは広い知識や技術が必要であり、その人材を育成することは全てのロボットSIer企業にとっても重要な課題であった。また、SIerに求められる知識や技術力は工学技術の専門基礎知識とともにロボットの実機を使いこなす幅広いスキルを網羅する技術が必要である。

これはSIerとして成長するには、自己の専門領域だけでなく、複数の専門領域に関する技術についても、たとえ初心者レベルでも高いレベルの専門知識が必要であることを示す。ここで必要

な技術のレベルとして、「経産省ロボット S1er スキル標準」の3以上のレベルを想定している（1～7段階のレベルに対して、B社へのインタビューから2段階までが初心者レベルとして想定されている）。ロボット S1er として活躍できる知識はロボットプラットフォームに関する技術分野を横断的に包括し、活用できる能力であると考える。

ロボット S1er を育成するためには、学習すべき技術が多いことから学校教育のようなカリキュラムのように専門技術を科目毎に単発に教育するのではなく、複数の技術を関連付けて、複合かつ段階的に教育することで実践的な技術として仕上げるカリキュラムを実施することが有効と思われる。たとえば、従来では実習装置（例えばサーボやインバータ、エア駆動機器、PLC など）に関する教育では、単体の装置に特化した実習による教育が行われるため、個々の実習からでは装置を組み合わせたシステムとして作り上げるプロセスの学習は困難である。このことから、以下に示す、ロボット S1er の人材育成の方法を提案する。

提案する教育方法では知識ベースと実践ベースに分類して教育を行う。知識ベースでは、ロボット S1er スキル標準の技術区分を6つの構造（S1er テクニカルカテゴリー）に分類し、同一分類内の複数の技術をまとめて学習する。図2-1に教育の構造、表2-2にS1er テクニカルカテゴリーとスキル標準の技術区分を示す。

表2-2 S1er テクニカルカテゴリーと技術区分

S1erテクニカルカテゴリー	「ロボットS1erスキル標準」における技術区分
1 メカニクス（機械設計）	「機械設計」「機械組立」 「ロボット制御」
2 エレクトロニクス（電子回路）	「電気設計」「電気配線」 「ロボット制御」
3 ソフトウェア	「画像処理」「システム制御」 「ロボット制御」
4 生産・品質管理法	「生産技術」「品質保証」
5 プロジェクトマネジメント （システム分析・管理技法）	「組織体制」「営業技術」
6 法規	「安全対応」

例えば、『メカニクス』というテクニカルカテゴリーの中に「機械設計」、「機械組立」、「ロボット制御」の技術区分を設定し、機械系のハンドの設計製作等の一連の仕事に必要な専門要素を横断的に融合しながら学習する（「ロボット制御」は『エレクトロニクス』及び『ソフトウェア』のカテゴリーにも関連深いため、重複させる）。

はじめに、知識ベースとして理論や方法を説明し、その後、実践ベースとしてアクティブラーニング方式をベースとした実習を行うことで知識を技術として定着させる。下記は提案する教育法の手順を示す。各ステップにおける評価は「経産省ロボット S1er スキル標準シート」において各技術区分を構成する能力要素に対する知識量や経験実績、技能の習熟度合いに応じて設定されたレベル指数を基準におく。

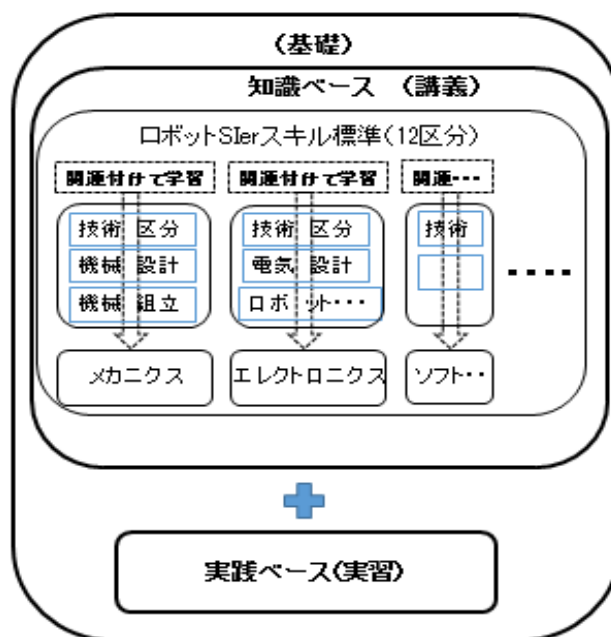


図 2-1 教育の構造図

【教育法】

知識ベース+実践ベース (Step1) →実践ベース (Step2) →実践ベース (Step3)

実践ベースの方法及び評価基準：

Step1：単純化したモデルを利用した既存法の学習

(適用例) ティーチング, 既存ロボットによるピックアップ処理, 画像認識による物体認識, 工程分析法学習

(評価基準) 「経産省ロボット S1er スキル標準」のレベル 1~3 を想定

Step2：カスタマイズや応用問題に対する学習

(適用例) システム分析手法の演習学習, パターンによるカスタマイズや応用問題の考え方の学習, 及び実際の問題を例にした実習.

(評価基準) 「経産省ロボット S1er スキル標準」のレベル 4~5 を想定

Step3：ロボット導入の総合的実践問題

(適用例) 工場の特徴分析からロボット導入のためのカスタマイズ案の策定, 自主検討とグループ検討による学習. さらには OJT(On Job Training)として, 業務を通して, 複合する技術を総合的に扱って学習することもある.

(評価基準) 「経産省ロボット S1er スキル標準」のレベル 6~7 を想定

2.5 具体的教育法の方策と妥当性の検証

提案する教育法の機能を示し, 妥当性を過去に示された文献, 及び現在企業で行われている類似の教育方法と比較することで検証する.

(機能1) 技術区分の構造化による教育

提案法では複数の技術区分をまとめて構造化することで異なる技術区分を関連付けて学習する。

例えば『エレクトロニクス』カテゴリーの学習を例に挙げると、カテゴリーの技術区分に関する例題（コンベア、センサーと接続し、コンベアから送られてくるワークを検出し、ロボットに搬出・格納作業をさせる）を設定し、技術区分「電気設計」，「電気配線」，「ロボット制御」のそれぞれのスキル項目の知識を同時に例題に関連付けながら構造化して（例題のロボットシステムを構築する構造的な）学習をする（知識ベース）。

複数の科目を構造化して教育する方法について、藤原[3]は「従来の縦型または横型単独の教育から、両軸（面）での教育を目指すことが重要である。横断型教育を実施すると専門的知識も必然的に深まり、専門知識を極めるとさらに横断型知識も深まるために、教育の“共同化”，“表出化”，“連結化”，“内面化”のサイクルが回りだすことが期待される」としている。

(機能2) 評価を含む段階的教育

提案する方法ではステップを組み、評価をはさみ、段階的に専門技術を高めていく。例えば、実践ベースにおいては知識ベースで学習した知識を基に実習装置を使用して構造化された知識を実機にて具現化していく。つまり、例題の解答を実機で出していく。正解を得るまでトライ・アンド・エラーを繰り返すが、このことで応用力や実際の生産現場で発生する困難な状況にも対応できる実践的問題解決能力も身に付けられると考える。

評価基準を設定し段階ごとに練習問題や課題を設定した実習機を用いたカリキュラム（実践ベース）によりスキルアップを図る。この手段について、Bransford[4]の学習環境のデザインの原則における第三の原則の「評価中心」の考え方として『プログラムの最後に行う総括的な評価より、プログラムの途中で行う形成的評価の重要性を認識すべきである。形成的評価とは、いわば学習者のそれまでの活動に対する「診断」であり、その後の学習活動をどのように展開すべきかが彼ら自身に有意義な形で返されるものでなくてはならない』と説明している。これは、提案法における段階的に専門技術を教育と評価を行うプロセスの有効性を示している。

(機能3) コンサルティング能力の教育

ロボット Sler の重要な業務として、コンサルティングが存在する。具体的には、ロボット導入において工場の特徴を分析し、顧客の要求を具現化して仕様を決定する作業が必要となる。仕様の決定の煩雑さは設計変更を発生させ、費用対効果の見積もりが出来なければ赤字が発生する。とくに、顧客が三品産業のような場合には、作業の特徴からロボットの技術に具現化する知識は期待できないため、ロボット Sler は多様な業界であっても問題を抽出し、要求仕様を作成できる能力が必要となる。ここで、コンサルティングに必要な「顧客ニーズの持つ課題の本質を究明し、適切な解決方法を提案できる能力」は業務または業種に関する高度な専門知識だけではなく、思考力であり、創造的な「考える力」が必要であると思われる。この基本的な「考える力」のベースとなる知的能力を細谷[5]は「地頭力」と定義しており、コンサルティング業界でクライアント企業とともに問題解決を進めていくために必要な能力である。短期間で成長していくコンサルタントに共通の思考回路として、例えば「フェルミ推定」[注2]などを具体的な訓練ツールを利用して鍛えることができるとしている。細谷は、地頭力は「仮説思考力」，「フレームワーク思考力」，「抽象化思考力」の三思考力とその基礎的な力として知的好奇心，論理思考力，直観力から構成されると定義し、訓練により必ずあるレベルまで到達できるとしている（図2-2）。

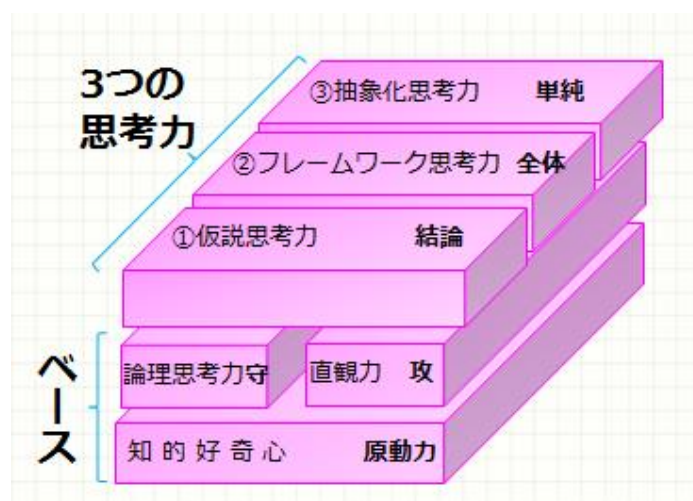


図 2-2 知の構造イメージ図

出所：細谷[5]より筆者加筆・修正

ロボット S1er の中で PM の人材育成にはこのコンサルタント育成の考え方は重要と考えられ、ロボット S1er の育成の過程で「地頭力」の考え方や訓練を組み入れることで PM の早期的な育成につながると思われる。そこで、より実践的な知識を獲得するためにアクティブラーニングの考え方を利用し、表 2-3 のような PM 育成プロセスを提案する。具体的な論理思考力については知識ベースで学ぶものとする[8] - [25]。なお、GD はグループディスカッションを示す。

表 2-3 PM 育成プロセス

(1) 目的の設定
(2) 個別の知識・技能及び情報の収集
(3) GD（グループディスカッション）による説明と意見交換
(4) GD による情報のまとめ
(5) GD による実践（問題点の発見と修正の対策）

赤羽根ら[6]は実践的な演習において、データに偽データを混在させることで自発的に発見させることやグループ討議を通して問題解決を行う方法が有効であることを示している。山口ら[7]はロボティクスや IT 産業において必要な能力を「未知の問題に対する解決能力」とし、「提案力」や「開発力」を訓練するための課題発掘型の実習を実施し、教育成果を上げている。いずれの事例も「地頭力」相当の訓練に着目しており、この「地頭力」訓練は提案する教育法の「プロジェクトマネジメント（システム分析・管理技法）」の категорияにおける実践ベース Step2 への導入が考えられる。

(機能 4) OJT における教育とスキル管理

OJT での教育として管理、計画的かつ継続的に行う方法を考える。

学習評価の視点から OJT 教育でのスキル項目におけるセルフチェックシート、管理者による到

達成テストの実施によるスキル到達度の指数からスキルマップを作成することで個人毎のSIerとしてスキル到達度を管理、さらにレーダーチャートによる個人のカテゴリーごとのスキル度を管理、フィードバックし、レベル指数の足りないカテゴリーをカバーする業務を与えることでOJTを進める。6カテゴリーすべてレベル6以上でPMと認定する。これにより、早期にPMに到達するという目標を達成すると同時に全体の技術者のスキルの特性を判断するとともに適切な仕事を割り振ることで計画的なOJT教育ができると考える。

B社が開発した「ロボトレナー」は提案法の一部の考え方を実践する装置として当てはめることができる。つまり、実践による教育方法を実現しているものである。このB社による教育法は我々の教育方法からすると、2.5章の(機能1)と(機能2)を具現化し、Step1からStep2の一部を実現できる装置を利用したカリキュラムであるとみなすことができる。(機能1)として、ロボットとその周辺の個々の技術要素を横断的に融合し、実際に現場で稼働させる生産設備の立ち上げと同じ業務工程を互いに関連付けながら学習できる。

(機能2)に関連して、「ロボトレナー」ではカリキュラムの段階ごとに練習問題や課題を設定し、学習の進捗を確認できるようにしている。この段階ごとに設定された練習問題や課題、あるいは、スキル標準シートの等級、資格・検定は形成的評価といえる。上記の類似性により、B社の「ロボトレナー」による教育プログラムは多数の企業の人材育成に利用されていることから、提案する教育法の機能1, 2が有効な方法であると考えられる。

B社が提供するカリキュラムはSIerにとって必要とされる技術を全てカバーするものではないが、初歩の技術者に対する、①プログラミング、②ピッキング・パレタイジング、③周辺機器の制御等、の必要な知識・技術・スキルに関する教育を行っている。表2-4にロボトレナーに関する教育プログラム受講者のアンケート結果を示す。この結果から、初歩の技術者養成においてロボトレナーは有効という回答が得られている。その一方で、異なる構造のロボットや高レベルの仕様(高速位置決め)のロボットに対する導入技術に関する教育が不十分という意見があった。

なお、「ロボトレナー」を利用したB社での教育プログラムではこれまでに105社、180名の参加者がある。「ロボトレナー」は市販され、これまでに13社による購入があり、企業の人材教育に利用されている。これらの結果は「ロボトレナー」を利用した教育プログラムの有効性が広く評価されていることを示唆する。

しかしながら、一方で我々の考えているStep2の部分について、ロボトレナーによる教育では不十分である。なぜなら、実践的な教育を行うにはロボットを複数台、あるいはモノの流れなどを正確に評価した上で工程を設計しなければならないからである。また、ロボットの配置を考え、さらにはカスタマイズが柔軟にできるようなロボットの導入を行い、工程分析、さらには要求定義、要件定義からの基本設計手法の教育も取り入れる必要があると考えられる。

Step2における高い技術レベルの教育では機能3の方法が適用できる。しかしながら、企業の技術者への教育を行い、その成果を検証するには数年の経過を要するため、ここでは工業の専門高校3年次に行ったロボット導入に関する上流設計や工程設計に関する実習・演習の事例の結果を示す。この実習・演習では個人の考えを創造し、グループとして最終案を具現化する過程で機能3のPM教育プロセスのGDを含む。下記に実施後に得られた学生の意見を示す。

- (1) GD を通して異なる情報を集め、違う意見に気付くことによる知識が増加した。
- (2) 自分の考えを説明することで自分の知識を確認できた。
- (3) グループ間で相談することで、ミスを実際に試して正解を見つけることができた。
- (4) 総合的にまとめることで目的を完成することの価値と有効性を認識できた。
- (5) メンバー間での有効な関係が構築できた。

上記は専門性の知識を広めること、及び問題点を解決することに対して（機能 3）の方法が有効な手段であることを示している。

以上より、我々が開発した新方式のロボット Sler の育成方法を適用すると短期に PM が育成できると考えられる。考え方の一部を企業の類似の教育方法で検証しその有効性をアンケート結果により示した。

表 2-4 ロボトレーナー基礎講習に関するアンケート

5 かなり向上 4 まあまあ向上 3 普通 2 あまり向上しなかった 1 まったく向上しなかった		A社	B社	C社	D社	平均
4	「メカ・ツーリング技術」について					
4.1	ロボットの構造・運用技術	3	3	5	5	4
4.2	ロボット・機械装置の配置、調整	3	4	3	4	3.5
4.3	ハンド設計対応能力（エフェクタ）の選定、調整	3	4	3	4	3.5
4.4	ソレノイド、空圧シリンダなどのアクチュエータの利用技術	3	3	3	4	3.3
5	「電気技術」について					
5.1	ロボット動力及び制御信号について	2	4	4	4	3.5
5.2	光電スイッチ、リードスイッチ、色判別などのセンサ技術	3	3	4	4	3.5
5.3	各種アクチュエータの制御	2	1	4	4	2.8
6	「プログラミング運用技術」について					
6.1	ロボット教示技術	3	3	5	4	3.8
6.2	周辺装置の制御とプログラミング技術	3	4	5	4	4
7	「知識」について					
7.1	安全教育（法令・安全対策）	3	3	5	5	4
7.2	産業用ロボットの知識	3	4	4	5	4
8	「スキル」について					
8.1	ロボットを使用した自動化設備に必要な基礎知識	3	4	5	4	4
8.2	ロボットを使用したワークの整列を行うプログラミング及びロボットティーチングの技術	3	4	4	4	3.8
8.3	パレタイズ	3	4	4	3	3.5
8.4	ワークの仕分け作業を行うための制御をロボットプログラムから行う技術	3	4	4	4	3.8

2.6 まとめ

本研究では、ロボット産業の技術革新に伴う最大の課題をロボット産業における人材育成と捉え、ロボット Sier に求められる資質、能力、そして、あるべき姿の定義を示し、ロボット Sier 企業の調査からロボット Sier 事業の問題点を示すとともに若手の人材育成のための教育方法を提案した。そして、過去の文献の引用、及び現在企業で行われている類似の教育方法、学生に対する模擬実習から、提案法に含まれる教育の機能の有効性を検証するとともに、Sier 人材に対する教育の考え方や対応法を示した。

異なるロボット Sier の企業においても、B 社のようにロボット Sier の事業に携わる以前の事業から発展させた得意技術が存在しており、その技術を持続的に発展させながら事業を進めている。需要に対して、ロボット Sier 企業の規模は小さく、人材育成は個々の企業だけの問題ではない。それぞれの企業の持つ高度な技術を Sier 育成の個々の技術要素として集約することで効率的な人材育成が考えられるが、この方策の検討は今後の研究課題とする。

注意事項

[注 1] 経済産業省ロボットシステムインテグレートスキル標準とは、ロボット Sier に共通して求められるスキル項目を抽出し、それぞれの項目について能力の高さに応じたレベルを設定して一覧形式にしたもの。

[注 2] 「日本中に郵便ポストはいくつあるか?」といったような実際に調査するのが難しいようなとらえどころのない量を、いくつかの手掛かりを元に論理的に推論し、短時間で概算することを指す。

参考文献

- [1] 経済産業省：「ロボット新戦略」（2017）.
- [2] 関東経済産業局：「ロボット S1er 業界の人材確保に関する調査報告書」（2017）.
- [3] 藤原靖彦：「企業における横断型人材育成の現状と課題」，横幹 第 3 卷 第 1 号，pp.36-43（2009）.
- [4] Bransfor, J. : “How people learn: Brain, Mind, Experience, and School.” N.R.C. pp.139-144（2000）.
- [5] 細谷 功：『地頭力を鍛える』，東洋経済新報社（2007）.
- [6] 赤羽根子 他：「人材育成を目的とした実践講座の開講」，プロジェクトマネジメント学会 2010 年春季研究発表大会予稿集，pp.277-282（2010）.
- [7] 山口明彦 他：「課題発掘型学習を中心とするロボット教育の大学院向けカリキュラム」，日本ロボット学会誌第 34 卷 9 号，pp.45-52（2016）.
- [8] Mission Driven Brand：「構造化とは | 構造化の意味と【5つの構造化思考】」，
https://www.missiondrivenbrand.jp/entry/thinking_Structured（2018/07/30 閲覧）.
- [9] Mission Driven Brand：「ロジカルシンキングとは | 頭の使いかたとフレームワークを事例で解説」，
https://www.missiondrivenbrand.jp/entry/thinking_logicalthinking（2018/07/30 閲覧）.
- [10] ロジカルシンキング研修：「問題解決プロセス」，<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-2/2-4.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [11] ロジカルシンキング研修：「プレゼンテーション・シート作成」，
<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-3/3-3.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [12] ロジカルシンキング研修：「ロジカルな主張」，<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-3/3-4.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [13] ロジカルシンキング研修：「ロジックツリーの作成」，<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-4/4-4.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [14] ロジカルシンキング研修：「ロジックツリーの Excel 表記」，
<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-4/4-2.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [15] ロジカルシンキング研修：「フレームワーク思考」，<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-4/4-7.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [16] ロジカルシンキング研修：「アイデア創出」，<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-4/4-8.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [17] ロジカルシンキング研修：「因果関係の解明」，<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-5.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [18] ロジカルシンキング研修：「因果関係図の作成」，<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-5/5-1.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [18] ロジカルシンキング研修：「演繹法推論」，<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-1/1-2.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [20] ロジカルシンキング研修：「課題形成」，<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-2/2-4.html>（2018/07/30 閲覧）.
- [24] ロジカルシンキング研修：「原因の分析」，<https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-4/4-4.html>（2018/07/30 閲覧）.

- [21]ロジカルシンキング研修:「解決策の創出」, <https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-4/4-5.html> (2018/07/30 閲覧).
- [22]ロジカルシンキング研修:「解決策立案と実行」, <https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-2/2-5.html> (2018/07/30 閲覧).
- [23]ロジカルシンキング研修:「基本戦略方向の見極め」, <https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-3/3-5.html> (2018/07/30 閲覧).
- [25]ロジカルシンキング研修:「状況に応じた使い方」, <https://www.ltkensyu.com/logicalthinking/1-5/5-3.html> (2018/07/30 閲覧).

付録1

B社へのヒアリング内容と結果

- ①【質問】 B社がなぜロボット分野に進出していったのか？
- 【回答】 Y社の子会社時から M社製ロボットとテキストをセットにした FA 実習装置を工業高校や職業訓練校を対象に販売しており, FA の技術はあった. 2008年に Y社から C社の傘下に移った時, B社の所有する工場の生産施設設備に利用法を模索したところ, 学校における少子化問題を踏まえ, 業務の拡大化を目指して民間企業に対するロボット導入に関する産業に進出した. 同時期にパラレルリンクロボット (ABB スイス) の特許が切れ, 国内メーカーが安く同タイプのロボットが製作できることから, 活用の拡大を予測した.
- ②【質問】 B社が教育事業からロボット Sler に転進できた背景はなにか？
- 【回答】 Y社の教育事業部であった時期からロボットや画像処理を扱っていた. 両方の技術を組み合わせることでロボット Sler の事業を行うことができた. 画像処理技術, 力覚センサーとパラレルリンクロボットの活用は得意な分野であった.
- ③【質問】 三品産業への事業を始めたプロセスを教えてください.
- 【回答】 11年前から海外ではパラレルリンクロボットと画像処理技術の組み合わせにより, 食品工場で多く使用されだした. 米国では大企業が大量生産し, 全国に供給する体制をとるため, ロボット導入の需要があった. 一方, 当時の日本は中小企業レベルの会社が少量供給体制で人手に頼る事業を行っていたが, 約10年前のパラレルリンクロボットの日本への導入から, 日本でもパラレルリンクロボットと画像処理技術を組み合わせるようになってきた. B社では顧客から他社ではできなかった仕様の依頼があり, 対応していく過程で三品産業へ進出していった.
- ④【質問】 三品産業と機械加工や電子部品の製造業へのロボットの導入割合は？
- 【回答】 三品産業の事業が約60%, 機械加工や電子部品の製造工程の事業が約40%である.
- ⑤【質問】 多様な業種に対してロボット Sler 事業を継続的に行っている理由はなぜか？
- 【回答】 B社では独自で学習できる環境が整っている. また, 自社開発の教育実習機が存在し, 利用できる. 社内では個人のレベルに合わせて仕事を設定しており (OJT のレベルの配慮), 実践的な学習となるよう配慮した人材育成を行っている.
- ⑥【質問】 仕事はどうやって受注しているのか？リピーターや新規顧客の状況はどの程度か？

【回答】新規顧客は年間4～5社である。受注は30%が代理店を通して、70%がSIer協会、展示会、インターネット等を通して直接、依頼される。

⑦【質問】どのようにして、工場に納入できる事業体になれたのか？当時の人材の特徴は？

【回答】SIer事業の開始時期では、実力は高くなかったため、商社経由で実績を作れた。事業を進めていき、社内に設計のノウハウが蓄積でき、難しい提案に直接の対応が可能となった。事業開始時では自動車ドアの設計・製造企業の設計部門から人材の提供を受けた。製品設計の経験があったが、ほぼ全従業員のロボットSIerとしての知識は初心者レベルであった。社内の技術者はB社の開発した教育実習装置、教材テキストを利用して学習を行い、OJTとして協力会社の現場で育成してきた。初心者レベルの技術力から約5年間で大きく成長し、戦力となった。

付録2

B社で開発されたロボットシステムの実績と特徴

[A] 企業導入のロボットシステム

(1) パラレルリンクロボットによるシステム構築例

① 食用パン製造における枠外しロボット

特徴：・食品に対するロボットハンドの開発
・2Dビジョンによる不均質な物体の把持

② 薬液パックのラベル貼りロボット

特徴：・液体の入った不定形な物体への高速ラベル貼り
・2Dカメラを利用したワークの高速検出
・貼付け後の検査の自動化

(2) スカラロボットによるシステム構築例

③ ポテトサラダ均しロボット

特徴：・食品かつ粘着物の把持用ロボットハンドの開発

(3) 垂直多関節ロボットシステムの構築例

④ カムスイッチの組立ロボット

特徴：・不安定な樹脂成型品への部品組付け
・カメラの補正による組付け精度の向上
・マルチハンドによる多品種対応。

⑤ マジックペン組立ロボット

特徴：・電動ハンドによる異なる大きさの対応
・治具交換の自動化による多品種生産への対応

[B] 産業教育機材等の取り組み**(1) コンピュータ言語教育用システム****① 3D-LOGO**

- 特徴：・コンピュータ言語教育用システム
・三次元多視点を実現

② マイクロマウスキット「MMZ-2 Z-80」と「移動ロボット“スコーピオン”

- 特徴：・高校向けコンピュータ言語教育とエレクトロニクス教育のシステム。
・自立搬送車および無人搬送車システム

(2) 技術教育用ロボットシステム**③ スカラロボット多関節型ロボットのカスタマイズシステム**

- 特徴：・ロボットシステムのしくみの学習教材
・国内の工業高校への販売実績

④ フレキシブルロボット“BR2”

- 特徴：・マイコンを利用した工場でのハンドリングを模した実習装置
・ロボット制御，プログラミング制御の学習教材

⑤ 高速パターンセンサ“FLEXIBLE・EYE FE560”

- 特徴：・画像処理技術搭載のシステム

⑥ 3D ロボットシミュレータ

- 特徴：・ロボットに使用する画像処理技術の教育システム
・KVM シリーズと同時に販売・利用によるロボット Sler 教育の効率化

第3章 現状の関係教育機関の調査および企業の事例に基づく

分析からロボット S1er 育成に対する教育法の提案

3.1 はじめに

現在の製造業ではドイツ発の Industry 4.0 が着目されており、Industry 4.0 の実現のため、AI (Artificial Intelligent (人工知能)) やロボットの開発が全世界で進められている。ドイツにおける Industry 4.0 の戦略だけではなく、米国における Industrial Internet Consortium の設立や中国政府による製造強化の取組みである中国製造 2025 など、世界中で新たな生産プロセスの開発やサプライチェーン全体の最適化を目指す取組みが行われている[1]。

日本国内では、Society5.0 としてロボットや AI 技術を産業や社会生活に取り入れることで、多様な社会的ニーズに合った問題解決の取組みが行われている。製造業においては、これらの技術により多品種生産を短納期で行えるマスカスタマイゼーションの生産システムの開発が進められている。これらは、海外の製造方法の近代化を争うだけではなく、国内における少子高齢化による労働者人口の減少やエネルギー費や人件費などの高騰に対する原価削減の対策として取り組まれている面が強い。その中でも、経済産業省の主導によってロボットを製造工程に積極的に導入することが進められている[2]。

工場へのロボット導入はロボットと生産工程を同時に扱い、生産ラインを構築する専門企業に依頼するケースが多い。ロボットの現場導入を担当する業務、およびその人材はロボット System Integrator (システム・インテグレータ) (以下、ロボット S1er と略記) と呼ばれており、ロボットシステムの構築を専門に行う企業 (以下、ロボット S1er 企業と略記) が多数存在する。

労働者人口の減少に対して、ロボットの製造現場導入が有効であるが、ロボット導入にはコストや幅広い専門技術が必要なため、中小企業を中心に導入が困難なケースが多い。このため、経済産業省は企業へのロボット導入を促進するため、ロボット S1er 企業のサポートを進めている。

しかしながら、国内のロボット S1er 企業の多くは中小企業の規模であるため、拡大するロボット需要に応え切れていない。関東経済産業局「ロボット S1er 業界の人材確保に関する調査報告書」(2017) [3]ではロボット S1er 人材に関する状況とこれまでの企業の対策について、『ロボット S1er の企業においては、10 人以下でキャリア 10 年未満とする企業が多く、ほとんどの企業では高キャリアな人材が不足しているため、ビジネス機会を逸失しているケースが多い。今後、採用数を増す、あるいは現状と同程度とする方針を持つ企業が多く、多くの企業は若手のスキル向上を目指し、育成のために自社内での教育のほか、外部研修機会の提供や資格取得費用の補助などを行っている』と示されている。これまでに、関東経済局 S1er 育成プログラム研究会、FA ロボット S1er 協会、あるいは各県、市主催のロボット S1er 教育セミナーが行われてきているが、いずれも初心者レベルであり、企業の有効な経営活動に質する意味での S1er 教育とはなっていない。また、ロボット革命イニシアティブ協議会内のワーキンググループによって、ロボット S1er として必要な技術や知識の分類と程度 (レベル) が示された「経産省ロボット S1er スキル標準」[注 1] が作成されている。しかしながら、この記述は技術者の業務遂行に対するスキル管理に有効であるが、人材教育のしくみは組み入れられていない。このため、ロボット導入を促進するためには、

上記の課題を踏まえ、ロボット Sier の事業を継続的に有効な経営活動として発展させていく対策が必要であると考えられる。したがって、本研究では、ロボット Sier の事業の継続的運用に必要とされる要素のうち、人材育成に着目し、効率的な人材教育の方法を検討する。以下に研究手順を示す。

- (1) 中部地区のロボット Sier 企業へインタビューを行い、ロボット Sier に必要とされる知識や技術の特徴や人材育成の取り組みを調査する。
- (2) (1)の結果から、企業の長所を考慮した知識ベースと実践ベースの組み合わせによる人材教育の方法を提案する。
- (3) 提案する教育方法を現状の学校教育と比較することで、提案法が Sier 育成に必要なカリキュラムであることを示す。

また、本研究の背景として、愛知県教育委員会高等学校教育課より、今後、工業科専門高校及び専攻科にロボット Sier 育成を目指すロボット工学科を順次開設していく意向が示された。上記の教育課ではその教育方法の指針を本研究成果に求めたいとの要望があり、本研究はその意向も踏まえたものである。また、現在、既に FA ロボット Sier 協会や、なごやロボット・IoT センター（名古屋工業大学）によって、ロボット Sier の基礎的な講習が Sier 企業やロボット導入を考えている企業のエンジニアを対象に実施されている[4]。本研究では、今後、そのような教育機関が PM（プロジェクトマネージャー）育成を想定し、効率的、かつ実効性の高い教育を若手ロボット Sier に対して実施するにはどうすればよいか、という視点からも議論を行う。

3.2 ロボット Sier 事業の特徴と人材育成の問題

ロボット Sier およびその企業は、受注元の企業の工場の生産ラインに適合するようにロボットをカスタマイズすることで導入する。このとき、ロボットや生産ラインの企画、設計、実装、テスト、運用までのロボットに関する設備を統合し、組み立てることがロボット Sier の業務の対象となる。

ロボットや関連装置は市販される装置を利用し、自分たちでカスタマイズする。たとえば、ロボットの把持方法は生産ラインや製造対象の製品などの特徴から決定されるため、ロボット Sier 企業で工程の特徴を判断してハンドを作成する。ロボット Sier はロボットシステムの企画、設計、開発、実装、テスト、運用から構成される一連の業務を担当するため、必要とする知識は非常に広い。技術の点から見ても、企業内では機械設計、電気回路設計（制御プログラムを含む）、AI などのソフトウェア（画像解析処理を含む）によるメカニクス、エレクトロニクス、ソフトウェアの全技術が必要である。

さらに、生産ラインの分析や工程設計の技術、リスクアセスメント技術、要求仕様の具現化も含めた営業技術など、システム開発で必要とする技術や知識も必要とする。しかしながら、現在の国内のロボット Sier 企業の規模は小さいため、上記の技術を少数で賄う必要がある。現在のロボット Sier の事業の需要増加に対して、短期間で技術者を増やすために、文系の新卒者や未経験者、あるいは工業高校新卒の若年者も採用の対象とし、効率的に人材育成を行うことが要求されている。

経済産業省、およびロボット工業会では Sier 育成事業として、Sier 企業の技術向上と事業促進のためロボット導入実証事業[注 2]を支援しているが、これらは各企業での独自の技術開発を通

して、人材の教育を行う取り組みであり、業界全体に対して体系的な教育方法やカリキュラムが提供されるものとはなっていない。上記のロボット Sler 事業の特徴から、本研究では次の(1)から(3)を考慮した体系的な人材育成の方法を検討する。

- (1) ロボット Sler の業務においてプロジェクトマネージャー（Project Manager 以下、PM と略記）として必要な技術と知識
- (2) ロボット Sler の事業における課題
- (3) 企業の強み（コア技術）に関連付く技術と知識

3.3 インタビューによるロボット Sler の特徴

中部地区のロボット Sler 企業の 6 社について、管理的立場の方にインタビューを行った。6 社の特徴を表 3-1 に示す。インタビューの全対象は PM であり、役職は課長から取締役相当の方であった。付録にインタビューで利用した質問票を記述する。インタビューでは、ロボット Sler の事業の切掛け、コア技術と特異な事業、ロボット Sler（技術者）の人数とレベル、導入対象とする市場・業種、発注から導入までで発生する問題などを質問した。インタビューから、各企業の事業運用に対する共通の意見として以下の特徴が得られた。

- (a) 中部地区を対象とした企業であるため、導入先の主な対象は自動車関連の工場である。自動車関連の工場に納入するため、短納期、低コスト、高速処理が求められる場合が多い。
- (b) 各企業でコアとなる専門技術が異なり、受注獲得の強みとなっている。この技術はロボット Sler の事業以前の事業を通して習得した技術を発展させた場合が多い。自動車関連企業の顧客による高い要求を解決することで技術を高めたケースも多い。
- (c) ロボットシステムの要求条件を決定するプロセスに時間がかかる。また、仕様書や設計書の作成後や装置実装中においても設計変更が生じる場合が多い。原因は顧客との間での要求条件の乖離やレビュー後の実装部分の改良などが挙げられる。この再設計や装置改良により、納期の圧迫や原価増が生じている。
- (d) 企業の得意とする専門技術に優れた人材が採用されやすい。また、技術者は経験を積むことで企業の得意な専門分野の技術を高めている。一方で、その企業の専門性の弱い技術分野の人材は少ない。このような状況から、Sler は広範囲な技術を有する人材が必要なため、自社の弱い技術分野の人材を育成することが要求されている。これは受注案件に対する PM や責任者となる人材が少ない理由となっていることから、短期間で PM を育成することが企業の事業を拡大し、利益を高めるために重要であることが考えられる。

さらに、人材育成に関するインタビューについては以下の特徴が得られた。

- (e) 開発には PM が必要なため、機械設計から電気設計、制御に至るロボットを使用した全てのプロセスを熟知した人材の育成が必要である。
- (f) 上流工程である要求機能の抽出と具現化、そして、仕様書に表現できる能力が必要である。具体的には顧客のニーズを聞き取るコミュニケーション能力と顧客の生産工程を分析し、効果の上がるロボット設備を提案できる生産技術能力を持った人材が必要である。
- (g) 若手の現場のスキル(主にロボットに関する専門技術)を高めることが重要であり、知識と技能の両方を経験できる教育が必要である。現場のスキルは、OJT (On-Job-Training) により、PM などの上司から指導されることが必要である。

- (h) 業務プロセスを円滑にこなすためのマネジメント能力やプロジェクト全体を運用できる管理者の育成が必要である。さらに、PMを担当できる人材の知識や技術を習得するためには実務経験が必要と考えている。
- (i) ティーチングを含む、ロボットの操作法や操作のプログラミング法はロボット製造企業が提供する教育セミナーを利用している。
- (j) 社内教育の実施例として、資格取得に関する講習会、自社で開発した教育実習装置を利用した実習、自社において自由に装置を利用できる練習室の用意(検証含む)、自社の教材テキストの利用による学習、協力会社と連携したプログラムの提供が存在する。企業によって取組み方が異なるが、これはロボット S1er 以前の事業の特徴や業務に必要な資格が関係している。

これらの特徴などから、ロボット S1er 企業の多くは小から中規模の企業のため、限られた技術者の人数で複数の案件を担当する必要があり、技術者には多能工化が求められている。一方で未経験者や工学的な知識が無い新卒者を業務実施レベルまで育成する負担は大きいため、社内教育はOJT以外ではほとんど実現できていない企業が多い。OJTでは実践的な知識を経験により学習できるが、理論に基づく系統的な方法による教育ではないため、ロボット S1er に必要な複数の技術が関連付いて理解するには困難な場合が多いことがわかった。

表 3-1 インタビューを行った企業の特徴

企業	売上高 (億円)	S1er 技術者数	主な納入先	得意な技術分野 (コア技術)
B 社	15.5	54 名	自動車産業, 三品産業	周辺機器の利活用技術
T 社	10.4	18 名	自動車産業, 航空業界	ヘミング, FSW 技術
I 社	642	15 名	自動車製造, 自動車部品製造企業	安全関連装置, リスクアセスメント設計
M 社	107.8	10 名	自動車製造, 自動車部品製造企業	自動化システム設計, 画像処理
S 社	90	3 名	自動車関連工場, 航空機関連工場	メカトロ+制御+電子計測
K 社	75	150 名	自動車, IT, 携帯電話, 三品産業	画像検査, 供給, 排出, 搬送, ピッキング, 機械設計

3.4 系統的な人材育成のしくみの提案

3.3 節では 6 社の調査からロボット S1er の業務の特徴と人材育成の特徴を調べた。本章では、この調査結果を踏まえてロボット S1er、とくに PM の人材育成のしくみを提案する。

調査結果から、ロボットを扱う S1er は広い知識や技術が必要であり、とくに PM を育成することは全てのロボット S1er 企業にとっても重要な課題であった。

また、PM に求められる知識や技術力には工学技術の専門基礎知識とともにロボットの実機を使いこなす幅広いスキルを網羅する技術力が必要であり、自己の専門領域だけでなく、複数の専

門領域に関する技術についても、高いレベルの専門知識が必要であることがわかった。

ここでPMの必要な技術のレベルとして、「経産省ロボットSIerスキル標準」の6以上のレベルを想定している。1～7段階のレベルに対して、B社（経産省ロボットSIerスキル標準作成に関与）へのインタビューから2段階までが初心者レベル、3～5段階のレベルが中級者レベルとして想定されている。ロボットSIerのPMとして活躍できる知識はロボットプラットフォームに関する技術分野を横断的に包括し、活用できる能力であると考え。

上記の考察から、以下に示すロボットSIerの人材教育の方法を提案する。この方法では、「ロボットSIerスキル標準」[注1]の技術区分の関連性を考慮して複数の区分をまとめた「SIerテクニカルカテゴリー」において教育することで効率的な教育を行う。例えばカテゴリー「メカニクス」ではロボットハンドの設計・製作・組付け・試運転までの一連の流れに沿った業務の要素（技術区分）を互いに関連付け、まとめて学習する構造を指す。

なお、教育の実施主体は今後、ロボットSIer育成を目指す大学、および工業科専門高校ロボット系学科、県、市、あるいはFAロボットSIer協会等の人材育成部門等の関係教育機関、そして、SIer企業自社におけるOJT教育現場を想定する。

ロボットSIerが必要とする技術を構造化することにより、複数の技術区分を組み合わせることで効率的な教育法を提案する。技術の構造化とは、一連のロボット導入業務に必要な専門要素を横断的に融合しながら学習する構造を指す。

提案する教育方法では「知識ベース」と「実践ベース」に分類して教育を行う。前者では座学と単純化したモデルによる演習を中心にする教育を、後者では現実問題に関連する実習によって教育を行う。

「知識ベース」では、ロボットSIerスキル標準の技術区分を6つの構造（SIerテクニカルカテゴリー）に分類し、同一分類内の複数の技術をまとめて学習する。

「実践ベース」では下記に示す3つのStepによる段階的な教育法を提案する。

実践ベースの方法：

Step1：単純化したモデルを利用した既存法の学習

（適用例）ティーチング、既存ロボットによるピックアップ処理、画像認識による物体認識、
工程分析法

Step2：カスタマイズや応用問題に対する学習

（適用例）パターンによるカスタマイズや応用問題の考えの学習。

Step3：ロボット導入の総合的実践問題

（適用例）工場の特徴分析からロボット導入のためのカスタマイズ案の策定、自主検討とグループ検討による学習。

下記に示す教育法「知識ベース」と「実践ベース」をSIerテクニカルカテゴリーにより、構造化して実施する。矢印は学習順序を示しており、実践ベース[Step3]は該当する技術を総合的に扱って学習することを示す。

【教育法：A型構造】

知識ベース+実践ベース（Step1）→実践ベース（Step2）→実践ベース [Step3]

【教育法：B型構造】

知識ベース+実践ベース（Step1）→実践ベース（Step2）

【教育法：C型構造】

知識ベース+実践ベース（Step1）

（例）上記の教育法：C型構造として、SIerテクニカルカテゴリー⑥法規：安全対応における実践ベース（Step1）の具体的な学習例を下記に示す。

『例題ワークを設定し、各要素における安全を配慮、確保するためのチェックリストに基づいたワークドリルを実施することで学習する。例題ワークの要素として、ティーチング、既存ロボットによるピックアップ処理、システム組付け等の現場業務、あるいは例題ワークの機構・電気・システム設計・制御等の設計業務を想定する。』学習方法として、コンベアにセンサーを接続し、コンベアから送られてくるワークを検出し、ロボットに搬出・格納作業をさせるシステムに安全確保を作り込む設計を行なうことが考えられる。

図3-1に教育方法の概要、表3-2にSIerスキル標準における構造化したSIerテクニカルカテゴリーと該当する技術区分、教育法構造型、関連するスキル項目数を示す。

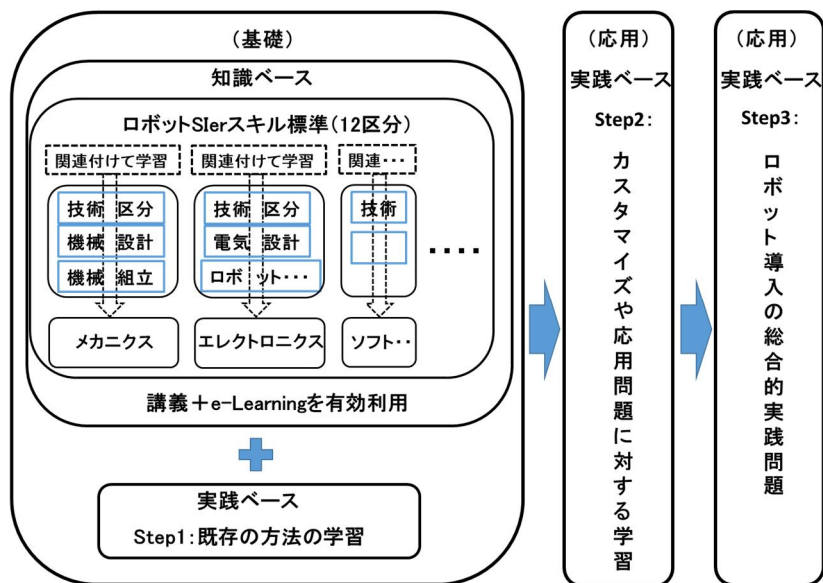


図3-1 提案する教育方法の概要図

表 3-2 S1er テクニカルカテゴリーと技術区分および教育法構造型、スキル項目数一覧表

	S1er テクニカルカテゴリー	技術区分	教育法 構造型	スキル項目数
1	メカニクス	機械設計, 機械組立 (ロボット制御)	A 型	18 件
2	エレクトロニクス	電気設計, 電気配線 (ロボット制御)	A 型	17 件
3	ソフトウェア	画像処理, システム制御 ロボット制御	A 型	17 件
4	生産・品質管理法	生産技術, 品質保証	A 型	7 件
5	プロジェクトマネジメント	組織体制, 営業技術	B 型	14 件
6	法規	安全対応	C 型	4 件

技術区分をまとめて学習させることで、異なる技術区分を関連付けて学習できる。自社のコア技術や得意な技術に関する高度な技術ならば OJT の教育の前後で e-Learning により予習復習を含めた自主学習を行わせることで知識や技術の定着が期待できる。

3.5 学校教育との比較による提案する教育法の評価

提案する教育法の妥当性を評価するため、現状のロボット技術の関連する学校教育のカリキュラムと提案する構造化した技術区分による教育法を比較する。比較から問題 a, b を調べるとともに、該当する技術区分数から提案する教育法の必要性を評価する。

(問題 a) 学校教育のカリキュラムが、提案する教育法の技術区分をどの程度、実現できているのか？

(問題 b) 学校教育のカリキュラムでは導入できていない技術区分が存在するか？

比較対象としたロボット関連の学校教育の学校数は7校とする[5]- [11]。図3-2は各大学・工業高校について、各 S1er テクニカルカテゴリーにおける技術区分に該当する関連の科目数を示す。

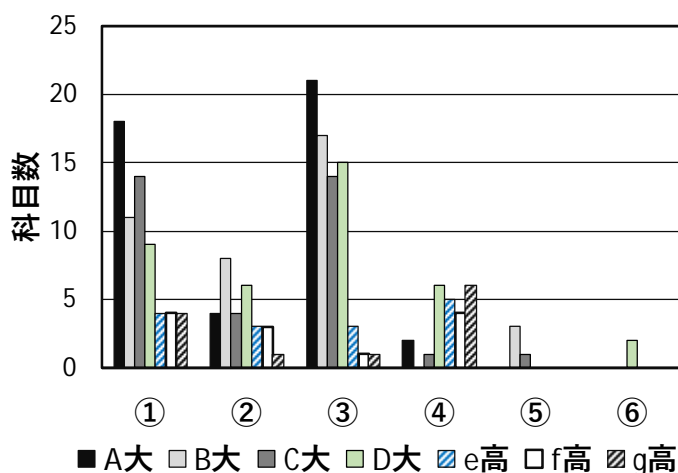


図3-2 各大学・工業高校におけるSIerテクニカルカテゴリーに対する関連科目数 (①メカニクス, ②エレクトロニクス, ③ソフトウェア, ④生産・品質管理法, ⑤プロジェクトマネジメント, ⑥法規)

大学においては、①メカニクス、②エレクトロニクス、③ソフトウェアの技術分野の授業が専門科目の全授業の80%以上である。とくに、①メカニクスと③ソフトウェアが多い。一方で、④生産・品質管理法、⑤プロジェクトマネジメント、⑥法規に関する授業は、総数でも0~3科目程度であり、選択科目として設定されている。

工業高校では①メカニクス、②エレクトロニクス、④生産・品質管理法に関する授業が専門科目の主な構成である。一方で、③ソフトウェアの専門科目は1~3科目程度である。工業高校の専門科目の総授業数は大学に比べて少なく、50%以下である。

工業高校においては工業の基礎となる学習が主となり、機械、電気の分野については、文科省の高等学校学習指導要領に基づき、全工業高校が基準に従った内容を履修する。ロボットの専門科目については、学校によっては学校設定科目として「ロボット技術」を設定しているところもあるが、一般的にはロボットやソフトウェア(制御プログラム)の内容は「実習」や「課題研究」の科目で履修されるため、科目名からでは図2の分類が困難なものも多い。

とくに、「課題研究」では科目数は1科目で3単位が設定されておりウエイトは大きい。「課題研究」における学習内容については、かなり自由度が大きいため、専門的な内容についての選択の幅も広くとれる。

「実習」では学校によっては60~90時間程度のロボット、およびその制御に関する実習時間が設定されており、実習を通してロボットと周辺装置の知識、操作方法、組込み技術が学習されるなど、科目数のみでは評価が困難な学習の負荷が存在する。

しかしながら、このような科目を設定しても工業高校生の学習対象の科目数や専門の内容も大学教育に比べて劣ることは明らかである。

大学のロボット関連の学科ではロボットに関する理論と実験に多くの時間を費やすが、生産管理や品質管理などの工場の管理技法に関する教育は行われていない。

一方で、学校への調査の結果から工業高校では機械設計と電子回路を中心に文科省の指針に沿った基本的な技術に関する知識と実践が行われており、とくに“ものづくり”に関わる技能的分

野の教育に重きが置かれている。その技能的分野の教育内でロボットに関する制御，組み立て，配線等の実習が行われている。

図3-3は各大学・高校について，授業科目から見積もられるSIer率を示す。ここで，SIer率とは履修設定科目がどれだけSIerとして必要な知識・技術と関係するかをロボットSIerスキル標準に照らし合わせた計数的データである。SIer率はシラバスから履修設定科目の内容を判断し，ロボットSIerスキル標準の各技術区分に割り振り，式(1)により算出した。

$$SIer率 = \frac{\sum_{i=1}^6 k_i x_{ia}}{\sum_{i=1}^6 k_i x_i^s} \quad (1)$$

ここで， i はSIerテクニカルカテゴリー， k_i はSIerテクニカルカテゴリー i の技術配分比， x_{ia} は学校 a のSIerテクニカルカテゴリー i の技術区分に対する科目数， x_i^s はSIerテクニカルカテゴリー i におけるロボットSIerスキル標準シートのスキル項目数を示す。 k_i は文献[3]および，SIer企業の意見から配分比を設定した。意見ではソフトウェアの技術を必要としていることを大きなウェイトとして，高い値に設定した。一方，法規については実務的な内容であるが，関連するスキル項目数を考慮し，低い値に設定した。表3-3は各SIerテクニカルカテゴリーに対する技術配分比を示す。

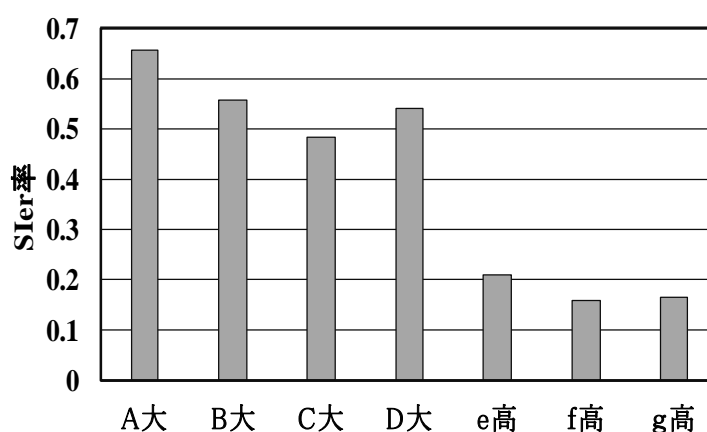


図3-3 各大学・高校におけるSIer率

表3-3 SIerテクニカルカテゴリーに対する技術配分比

	SIerテクニカルカテゴリー	技術配分比 k_i
1	メカニクス	0.16
2	エレクトロニクス	0.16
3	ソフトウェア	0.24
4	生産・品質管理法	0.20
5	プロジェクトマネジメント	0.16
6	法規	0.08
	全体	1.00

(問題 a) に関して、下記の考察が得られる。図 3-2 と図 3-3 から大学のロボット工学科のカリキュラムは工業高校のカリキュラムに比べてロボット SIer 育成のカリキュラムを多数実現できている。しかしながら、大学のカリキュラムでさえ、SIer 率は 48~65%程度であり、ロボット SIer に必要な広い専門分野での学習は十分ではない。とくに、生産管理や品質管理の技術の学習が十分ではない。

工業高校については、SIer 率が 15~20%程度であることから、全技術分類での SIer の学習は十分ではない。しかしながら、①メカニクス、②エレクトロニクス、④生産管理・品質管理に関する初歩的な知識を理論や実践レベルで習得していることが考えられ、ロボット SIer の教育を開始するレベルを適切に設定することで早期に PM への教育が可能になることは予想できる。ここで、本論文でいう PM とは、複数の SIer テクニカルカテゴリーにおいてスキル標準のレベル 6 以上のロボット SIer とする。

(問題 b) に関する考察は以下となる。図 3-2 より、ロボット SIer の教育として必要な技術分類から、大学では④ 生産・品質管理法が、工業高校では③ソフトウェアの技術が、また、大学と工業高校の両方では⑤プロジェクトマネジメントと⑥法規のカリキュラムは不足、もしくは存在していない。これは、現行のロボット関連の学校教育だけではロボット SIer の教育が不足していることを示唆する。

一方で、④生産・品質管理法に関する技術は座学だけでは現実の作業工程をイメージできないために内容の理解が困難な場合が多い。また、生産や品質の管理は製造工程の構築に必要な技術であるため、企業に入社後、製造現場での OJT を含めた教育が有効であると考えられる。これは『知識ベース+実践ベース (Step1) →実践ベース (Step2) →実践ベース [Step3]』のプロセスで実現可能と考えられる。

⑤プロジェクトマネジメントにおいても管理の手法に焦点を当てれば、初歩的な講義と実践を想定した演習により技術の習得が可能になると考えられる。

⑥法規については、知識となる情報が学習対象となるため、座学と単純化された演習での学習で技術の習得が可能であると考えられる。これは 4 章に示す提案法の適用を示唆する。

現行の学校教育では『知識ベース+実践ベース (Step1)』に相当する教育が行われていると考えられる。大学と工業高校の間で学習する技術レベルが異なることは予想される。4 章に示した各技術分類に対して、各技術者が『知識ベース+実践ベース (Step1)』や『実践ベース (Step2)』のどの程度の技術レベルを有しているかを把握することで、同一レベルの技術者を集めて同一カリキュラムで教育することで効率的な人材育成が行え、PM の育成の短期化を実現できると考えられる。

以上より、現在の学校授業と提案法の比較と(問題 a)と(問題 b)による考察から、提案する教育法の必要性を示すとともに、提案法が短期間で PM の育成に有用であることを示した。

3.6 まとめ

本研究では、ロボット SIer に必要とされる知識や技術の特徴を調べるとともにロボット SIer 企業における人材育成の方法を検討した。複数のロボット SIer 企業の PM にインタビューを行い、ロボット SIer に必要な知識と技術をまとめ、効率的な人材育成のために知識ベースと実践ベースの組み合わせた教育方法を提案した。さらに、ロボットに関する学部をもつ大学、工業高校

の現状のカリキュラムを調査し、提案する教育方法の必要性を評価した。

今後は具体的かつ、詳細なカリキュラムの開発やパターン化された実践学習の方法を開発し、実際の教育の場に導入することで有効性を調べていく。

注意事項

[注1] ロボット Sier に共通して求められるスキル項目を抽出し、それぞれの項目について能力の高さに応じたレベルを設定して一覧形式にまとめたもの。機械・電気・制御といったロボットエンジニアリング系の能力だけでなく、生産技術や営業技術、組織体制など、多面的な観点からロボット Sier として備えるべき能力を規定している。

[注2] 従来、ロボット活用が進んでこなかった阻害要因を明確に特定し、これを解決するためのロボット導入実証や FS（実現可能性調査）を行う計画。

参考文献

- [1] 経済産業省：「ロボット新戦略」（2017）。
- [2] 内閣府：「第5期科学技術基本計画」（2017年版）。
- [3] 関東経済産業局：「ロボットシステムインテグレータに関する調査結果」（2017年度）。
- [4] Nagoya Robot and IoT Center なごやロボット・IoT センター，<https://nri.web.nitech.ac.jp/>（2019/06/30 閲覧）。
- [5] 茨城県立つくば工科高等学校，<https://www.tsukubakoka-h.ibk.ed.jp>（2019/07/30 閲覧）。
- [6] 大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部ロボット工学科，
<https://www.oit.ac.jp/rd/department/robotics/curriculum.html>（2019/07/30 閲覧）。
- [7] 近畿大学工学部ロボティクス学科，<http://syllabus.itp.kindai.ac.jp/customer/Form/sy01000.aspx>（2019/07/30 閲覧）。
- [8] 島根県立江津工業高校，<https://www.gotsu-th.ed.jp/>（2019/07/30 閲覧）。
- [9] 中部大学工学部ロボット理工学科，<https://adm.chubu.ac.jp/academics/engineering/robot.html>（2019/07/30 閲覧）。
- [10] 新潟県立新津工業高等学校，<http://www.niitsuk-h.nein.ed.jp/>（2019/07/30 閲覧）。
- [11] 立命館大学理工学部ロボティクス学科，http://www.mes.se.ritsumei.ac.jp/robo/?page_id=7（2019/07/30 閲覧）。
- [12] ロボット活用ナビ，http://robo-navi.com/sier_download.html（2019/06/30 閲覧）。
- [13] 榎本俊一：「生産システム・インテグレータの能力形成－機械商社に由来する三明機工－」，商学論纂（中央大学）第61巻第3・4号（2019年12月），pp.465-505(2019)。
- [14] 榎本俊一：「製造業に由来する生産システム・インテグレーター自動車部品メーカー－近藤製作」，商学論纂（関西学院大学）第67巻，第2号（2019年12月），pp.19-42(2019)。

付録

インタビューでの質問内容 (抜粋)

1 会社全般的なこと

- ① 御社の得意とする技術は？
- ② 会社（工場）規模は？
- ③ 協力会社はどこにどれだけ（何社）あるか？
- ④ 全従業員数とその内の技術系の人員数，さらにとくにロボット **SIer**（と言える？）の人数は？
- ⑤ 人材について，どこからどんな人材を得ているのか？

2 業務に関すること

- ① 市場はどこか？（機械加工や電子部品の製造業？）
- ② 年間売上高は？
- ③ システム 1 件当たりの受注額は？
- ④ 受注はどこから，どのように得ているのか？
- ⑤ 代表的な納入事例は何か？
- ⑥ 受注から納入までの間によく発生する問題は？
- ⑦ 商談開始から受注に至るまでの期間は？
- ⑧ 利益率はどの程度か？利益圧迫要因は何か？

3 人材育成に関すること

- ① どういう人材を必要としているのか？
- ② 人材をどのように育成しようとしているか？
- ③ ②とあわせて，御社の具体的な教育（学習），取組み例を教えてください。
- ④ 技術者教育上の問題点，課題，解決策は？
- ⑤ どのような技術や知識を教える必要があると考えているか？
- ⑥ 社内・社外教育はどこ（場所）で誰がどう教えているか（座学，実習形式）？
- ⑦ 教育する人の知識・技術はどのような人であり，その基準があるのか？
- ⑧ 責任者（PM）として業務を行うために必要とする技術と知識の基準を設定しているか？

第4章 初期学習学生に対する教育カリキュラムの設計と実践

4.1 はじめに

これまでに製造現場におけるロボット SIer (System Integrator) 事業の調査とともに、人材育成の特徴分析と効率的な教育方法を検討してきた。第3章では、SIer 教育のコンセプト、方法論、及び教育の構造を示し、概略的な教育内容を提案した。第2章において、ロボット SIer 企業(中部地区6社: 売り上げ規模などは企業により異なるが、10.4億円から107.8億円、全従業員数は36名から530名程度)へのインタビュー、およびアンケートやロボットに関連する学校教育の調査から、実際にロボット SIer 企業に入社する人材の特徴として、工業高校卒業者が多く、専門学校、大学卒業者においても必ずしもロボットを勉強している人材ではないことがわかった[1][2]。

このため、社会人であっても、初歩的なレベルから短期間でロボット SIer として広い知識、高い技術力を持つプロジェクトマネージャー(以下、PM と略記)のレベルの人材に育成することが必要であることがわかり、「経産省ロボット SIer スキル標準シート」[3](以下「ロボット SIer スキル標準」と略す。)に基づき専門科目を組み合わせるとともに構造的に教育する効率的な方法を考えた[2]。ロボット SIer は各分野にわたる専門的な知識が必要なため、複数の専門知識を演習を通して学習することが必要となる。

本章では、第3章で提案した教育法の具現化にあたり、工業高校の専門コースを対象とする教育プログラムを設計し、実際の工業高校に導入することにより教育の効果を評価するとともに問題点を考察し、ロボット SIer 教育カリキュラムの改善案を示す。

4.2 工業高校における専門コース(ロボット工学科)設立の背景と取組み[4]

愛知県では「あいち経済労働ビジョン 2021-2025」[注1]を策定し、6つの施策の「柱1」で『次世代産業の振興・イノベーションの創出』を目指す中、具体的な取組みとして、ロボット産業の振興、ロボットの社会実装の促進をあげている。「あいちロボット産業クラスター推進協議会」を核として、省人化ニーズへの対応や高齢化に伴う介護・リハビリ支援ロボットなど、社会課題の解決に資する分野の取組みの推進をする。さらに「柱6」で『愛知の産業を担う人財力の強化』として、高度なモノづくり人材の育成をあげ、具体的に「愛知総合工科高等学校」における取組みや県立工業高等学校の校名変更(工業を工科に変更)、及び学科改編(将来的にロボット工学科を7校に設置)し、ロボット SIer の育成を目指すとともに、ロボット SIer を教育するカリキュラムを当該校、県教育委員会、産業部産業振興課など各関係機関で検討しているが、運用方法はまだ考えられていない。現在は既存の類似する学科に対して取組みが考えられているが、まだ実現できていない。

本研究で実践の対象とする愛知県立起(おこし)工業高校は2021年度から電子機械科がロボット工学科に学科改変される。同校は「あいち STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育推進事業」[注2]において、第2期(2020~2022年度)「あいち STEM ハイスクール」研究指定校に選定され、STEM 教育活動の一環として名古屋工業大学にロボット SIer の連携教育を依頼した。

今回、製造現場へロボットを導入する方法の教育カリキュラムとして、ロボット SIer 業務全体

の流れの中で上流部に位置する「生産・品質管理法」について、講義と演習の枠組みで検討する。教育内容については全5回で構成し、第1～3回が第1段階、第4,5回は第2段階とし、これを第3章 3.4節で示した教育方法の「Step1：既存の方法の学習」、「Step2：カスタマイズや応用問題に対する学習」に適用する。

毎回実施後に生徒に提出させたレポートを参考にして、教育効果の分析、及び課題を抽出し、都度、生徒の理解度を向上させるために、次回の実習内容や学習方法の修正を行ないながら進める。具体的には、以下に示すとおりである。

- ① 理解度の測定方法：生徒の実習後に提出させる「レポートのできばえの評価（or 確認）」とする。
- ② 理解度を向上させる方法：①の評価（or 確認）で得られた理解不足の内容を、次の週の課題に関連付けて補足説明をする。
- ③ 理解度向上の修正期間：レポートを受け取ってから次の実習までの間とする。
- ④ 修正の頻度：毎週行なう。
- ⑤ 改善の内容：②の理解度を向上させる方法と同一とする。
- ⑥ 向上の結果：実習中における生徒の観察と要求する成果物の状況から判断する。

全体的な生徒の理解の程度とプログラム実施の効果を、それぞれ、実習で行なった生徒のプレゼンテーションの内容とアンケートによって評価する。そして、その結果から初歩レベルの人材に対する適切なロボット S1er 教育カリキュラムを提案する。

4.3 ロボット S1er 教育における課題

ロボット S1er 企業へのインタビューから[1]、社内教育の実施例として、資格取得に関する講習会、自社で開発した教育実習装置を利用した実習、自社において自由に装置を利用できる練習室の用意（検証含む）、自社で開発した教材テキストの利用による学習、協力会社と連携したプログラムの提供、といった教育の機会が存在するが、体系的な S1er 教育カリキュラムは存在しないことがわかった。一方、未経験者や工学的な知識が無い新卒者を業務実施レベルまで育成する負担は大きいため、社内教育は OJT 以外ではほとんど実現できていない企業が多い。OJT では実践的な知識を経験により学習できるが、理論に基づく系統的な方法による教育ではないため、ロボット S1er に必要な複数の技術に関連付けて理解するには困難な場合が多い[2]。

また、これまでのロボットに関する技術教育における既往研究で山口ら[5]が今後、ロボティクス・IT 産業における必要な能力を「未知の問題に対する解決能力」とし、「提案力」「開発力」等について課題発掘型の実習（PBL 実践トレーニング）を用いたカリキュラムで教育成果を上げているが、対象が大学院生で時間的余裕があることを前提としている。本研究では時間的余裕のない、さらに工学知識の未熟な若手（例えば工業高校卒業）新人を視野に入れた育成手法を議論する。また、中野ら[6]が ICT 人材に必要な能力であるコミュニケーション能力、問題解決能力等をロボットコンテストへの小中学生との協働参加により向上でき、ICT 人材育成におけるロボット教育効果の高さを結論づけているが、ロボット教育の体系化、あるいは育成方法の視点から標準化されていると言えない。本研究では学習内容を体系化し、その教育方法を標準化することで、各教育機関に展開できるものとする。また、赤羽根ら[7]の実践講座における演習に使用する実データに隠し玉と落とし穴（偽データ）を盛り込み、問題を発見させ、グループ討議で解決策を検

討する方法をとって成果をあげており、本研究でもロボットのレイアウト案作成上の問題点、その対策をグループ討議で考えさせながら、実践力の育成のしくみを入れる。

ロボット Sler にはロボットプラットフォームに関する技術分野を横断的に包括、つまり、複数の異なる領域や分野、部門、担当範囲にまたがって、それらをひとくくりにまとめ、活用できる多才な能力が必要である。また、これまでロボットを活用してこなかった分野においては、今後、現場で実際にロボットと協働する立場にある人々が新たにロボットに関する知見や活用ノウハウを取得していく必要があるが、その点について大島[8]が、「知識労働者 (knowledge workers) に重要となるのは、顕在化していない問題を発見し、そこにニーズを見いだして、よりスマートな解決方法を提案することができる能力である。こうした知識創造、あるいは不確定状況での適切な問題解決能力といったような賢さが今後より重要となってくる」と論ずるとおり、Sler として求められる能力は単に知識・技術技能だけではなく未知に対応する能力も重要と考える。

したがって、ロボット Sler を育成するためには、学習すべき知識・技術が多いことから、学校教育におけるカリキュラムのように専門技術を科目毎に単発に教育するのではなく、『複数の技術に関連付けて (複合) 構造化し、かつ段階的 (ステップを組み、評価をはさみ、段階的に専門技術を高めていく) に教育することで実践的な技術として効率よく学習するカリキュラム』(複合かつ段階的で効率的な教育方法) が必要である。本研究ではそれを具現化する。

具体的には、知識ベースと実践ベースに分類して教育を行う。知識ベース、実践ベースでは、ロボット Sler スキル標準の技術区分を6つの構造 (Sler テクニカルカテゴリー) に分類し、同一分類内の複数の異なる技術区分を関連付け (複合)、技術をもれなくまとめ (包括) で学習させる。

例えば、『エレクトロニクス』カテゴリーの学習を例に挙げると、カテゴリーの技術区分に関する例題 (コンベア、センサーと接続し、コンベアから送られてくるワークを検出し、ロボットに搬出・格納作業をさせる) を設定し、技術区分「電気設計」、「電気配線」、「ロボット制御」のそれぞれのスキル項目において、一連の仕事 (例題の解答) に必要な専門技術要素を構造化 (「構成要素」と「構成要素間の関係」を整理) し (本研究ではこれを『技術の構造化』とする)、それらを横断的に融合しながら段階的に学習する。

つまり、複数の異なる領域や分野、範囲にまたがった技術要素を有機的に重ね合わせながら段階的に学習するのである。また、今回の演習で、とくにここで言う「複合」とは作業設計、工程設計とロボットの動作を考慮したレイアウトの設計を一連の授業の中で学習させることを指し、「段階的」とはステップごとに生徒の理解度を評価しながら授業における技術の専門度を高めていくことを指す。表4-1に Sler テクニカルカテゴリーとスキル標準の技術区分を示す[1]。

本研究では、ロボット導入における上流工程の業務を中心にロボット導入に関する設計と実装の考え方を学習する教育方法を提案する。具体的には、上流工程の業務として、生産ラインでの作業設計と工程設計とともに、生産性向上や品質を高めるための作業方法や工程の構築法を説明し、その後、生徒は課題の製品の組み立て方法を分析、ロボットの作業方法と工程を設計する課題を行う。その後に、設計した内容に基づき、ロボットの実装を行う。

この提案する教育法は Sler テクニカルカテゴリーの『生産・品質管理法』と『プロジェクトマネジメント』の内容に相当する。過去の企業への調査[7][8]においても、上流工程の業務は PM に必要な知識であるが現場での実践活動に依存していること、また、ロボット導入においてコスト

や日程に大きく影響する知識であることから、初期に知識と技術を学習することが有効と考えられる。

この教育方法で得た知識や技術を活用することで、ロボット Sier 業務全体の流れの把握を行なえ、設計作業における工数、コスト、納期の低減を可能とする。また、製造ラインにロボットを単純に導入するだけでなく、導入においては、ラインの生産効率を上げ、生産コスト、製品納期を低減させることを目的とするため、その結果、さらに拡張した Sier 業務（単にロボットの導入だけでなく、生産システム全体の改善・改良）の理解が期待できる。また、これらの分析と対策案の策定の能力は設計から実装にわたる過程で PM に必要な知識と考えられる。

教育の対象者はロボット工学系大学生、及び工業科専門高校生、製造業の Sier 経験者だけでなく、ロボット導入を検討しているユーザー、ロボット未経験者も対象とし、多くのロボット Sier の人材を育成することで、産業界への量産型汎用ロボット導入の促進を狙っている。このため、Sier の育成の戦略として、Sier 企業がロボット導入を効率よく、低価格で行なえる仕組みをつくることと、ロボット Sier のプロジェクトマネージャー（PM）を短期間で育成することが挙げられる。

表 4-1 Sier テクニカルカテゴリーと技術区分[1]

	Sier テクニカルカテゴリー	「ロボット Sier スキル標準」における技術区分
1	メカニクス（機械設計）	「機械設計」「機械組立」 「ロボット制御」
2	エレクトロニクス（電子回路）	「電気設計」「電気配線」 「ロボット制御」
3	ソフトウェア	「画像処理」「システム制御」 「ロボット制御」
4	生産・品質管理法	「生産技術」「品質保証」
5	プロジェクトマネジメント （システム分析・管理技法）	「組織体制」「営業技術」
6	法規	「安全対応」

4.4 教育方法の検討と具現化

4.4.1 修得すべき知識、技術、能力の特徴

Sier 企業への人材育成に関するインタビューからわかったことは、ロボット Sier の業務の上流工程を担う能力、すなわち要求機能を抽出・具現化し、仕様書に表現できる能力が重要視されていることである。具体的には顧客のニーズを聞き取るコミュニケーション能力と顧客の生産工程を分析し、導入効果の上がるロボット設備を提案できる生産技術能力を持った人材が必要とされている。さらには、ロボット Sier 企業の多くは小から中規模の企業のため、限られた技術者の人数で複数の案件を担当する必要があるため、ロボット SI となる技術者には多能工化が求められている[2]。

4.4.2 教育方法の構造化による具現化

本研究では、第3章で示したSIer教育構造(図4-1(図3-1に一致))における基礎:「Step1:既存の方法の学習(実践ベース)」, 応用:「Step2:カスタマイズや応用問題に対する学習(実践ベース)」をSIerテクニカルカテゴリーの『生産・品質管理法』の技術区分「生産技術」に当てはめた教育プログラムを工業高校の実際の講義・演習の枠組みで、以下に示す教育方法により実践することを提案する。

【教育構造】 知識ベース+実践ベース (Step1) → 実践ベース (Step2) → (Step3)

Step1: 単純化したモデルを利用した既存法の学習

(適用例) ティーチング, 既存ロボットによるピックアップ処理, 画像認識による物体認識,
工程分析法学習

(評価基準) 学習内容に該当する「ロボットSIerスキル標準」のレベル1~3に記載された内容が理解, あるいは実施可能かどうか。

Step2: カスタマイズや応用問題に対する学習

(適用例) ロボットシステムの分析手法の演習学習, パターンによるカスタマイズや応用問題の考え方の学習, 及び実際の問題を例にした実習

(評価基準) 学習内容に該当する「ロボットSIerスキル標準」のレベル4~5に記載された内容が理解, あるいは実施可能かどうか。

Step3: ロボット導入の総合的実践問題

(適用例) 工場の特徴分析からロボット導入のためのカスタマイズ案の策定。(OJTがベース)ただし、本研究では上記の実践ベースStep1, 2に対する「ロボットSIerスキル標準」のレベルは技術区分「生産技術」を対象とする。また、教育場が学校であるため、OJTベースのStep3は実施しない。

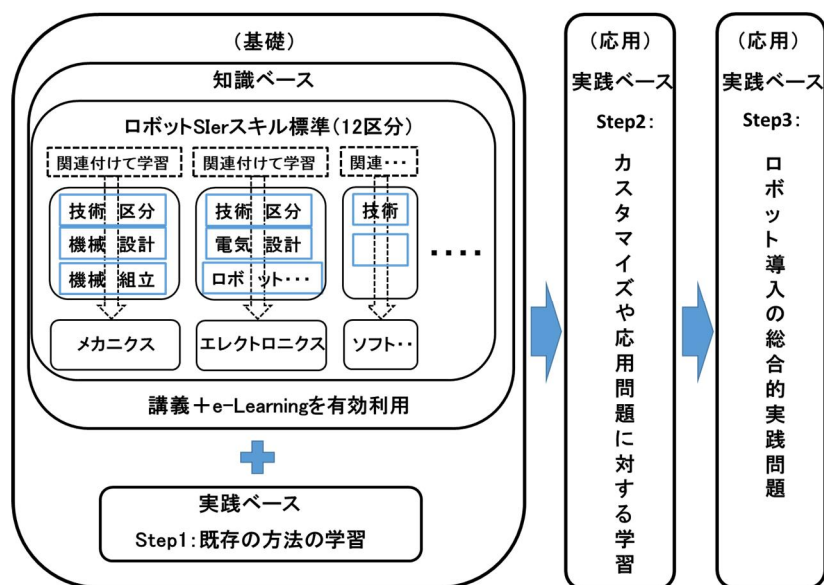


図4-1 教育構造の概要図[2]

ここで、インストラクショナルデザイン（ID：Instructional Design，以下「ID」と略す。）[9]を活用し、各回の授業を評価、分析、学習方法の設計の開発、あるいは修正することで、次回以降の授業を効果的、効率的、魅力的なものにする。具体的には毎回の実習後にレポートとして生徒に対し、①作業内容・学んだこと、②よくわからなかったところ、③感想などの3項目について自由記述させ、感想についてはさらに評価点（良かった：5～良くなかった：1）を記載させる。それを次回の実習にフィードバックさせ、生徒が効率的に理解し、関心・意欲を高め、実習の教育的効果が得られるようにする。

4.4.3 教育の目的と教育カリキュラムの設計

本研究では、具体的な教育カリキュラムの一つとして、製造現場へロボットを導入する方法を俯瞰的に考えるとともに、ロボットシステムの開発で仕様やコスト、開発期間に影響を与える「上流工程」に関する生産ラインの設計を演習課題とする。ここで、「上流工程」に関する技術や知識は、ロボットシステム全体の構造と仕様とともに、設計、製造、導入、運用の業務全体のプロセスを把握し、管理する必要がある、PMに必要な能力である。

したがって、「上流工程」に関する技術や知識の内容を含んでいるSIerテクニカルカテゴリーの『生産・品質管理法』の一部を利用し、「ロボットSIerスキル標準」の技術区分「生産技術」におけるスキル項目である①工程分析能力、②生産プロセス提案能力、③費用対効果分析能力、および④設備仕様書作成能力に関する教育を実施する。これら4つの能力は製造工程におけるロボットSIer業務全体の流れの中の上流設計の技術要素である。

前節で示した教育構造において提案する教育方法を適用する。つまり、前述した4つのスキル項目を関連付けて、複合かつ段階的に学習する。まず、教員が知識ベースとして技術要素の説明を行ない、生徒は実践ベースStep1、Step2に従った演習を行なう。それを段階的に繰り返す。具体的にはBOM(Bill of Materials)（部品の構造表）、さらには、MTM（methods-time measurement）法を用いて作業分析の演習をする。ここで、部品の組み立てを自分で実践することで、何が問題点かを実作業を経験しながら判断させ、分析させる。分析結果から、ロボットに関連付けさせて問題点とその解決方法を検討させる。つまり、具体的にロボットを導入したらどうなるかを考えさせる。IDの要素としてのフィードバック、及びデブリーフィングをタイムリーに実施することで、学習者の理解度を高める。

教育カリキュラムの具現化にあたり、「ロボットSIerスキル標準」に含まれる全技術を構造化し、少数の科目として設計する必要がある。

一方で、科目内の具体的な講義、演習の実施では教育に権限があることから、本研究では、他の技術に関する教育法としては、後章（7章7.6節）に技術と教育プログラム例を示す。

4.5 工業高生へ教育プログラムの適用例

4.5.1 生徒及び教育場の特徴

提案した教育プログラムに対する被験者は、愛知県立起工業高校の電子機械科3年生の12名である。この学科は来年度（2021年度）からロボットSIer教育を目的としたロボット工学科となる学科であるが、現行では機械設計・制御系の基礎科目の履修が主であり、ロボットに関する専門教育は行なっていない。このため、現在、製造現場で活用されている市販量産型ロボットの種

類、構造、機能、用途などについての具体的な知識を学習していない。また、製造工程に対する知識（例えば、生産管理や運用に関する知識）も学習していない。本教育は科目「課題研究」（3単位）の授業カリキュラムにおいて5週間（3時間/週）計15時間で実施した。1班3名とし、全4班にてグループ単位で課題に取り組ませる。

4.5.2 カリキュラムの内容と評価

4.5.2.1 実習の特徴と評価基準

レゴマインドストーム(9797)（以下「マインドストーム」と略記）を組み立てる作業と工程の設計とロボット導入の演習を行う。使用するマインドストームについて、部品点数は95点(46種類)であり、総要素作業数（部品一つを取り付けるための作業を要素作業とし、その数を要素作業数とする）は110程度である。ここで工程は作業場を指し、通常、一つの工程では複数の要素作業が割り付く。MTMにより、レゴ組み立て作業における動作はブロックに関する「位置決め」、「挿入」、「手を伸ばす」、「つかむ」から構成される。また、複数のハーネスが存在し、ハーネスのコネクタは左右で対称と、非対称な位置に接続する。

実習は全5回で構成し、第1～3回が第1段階「作業設計と工程設計」、第4,5回を第2段階「ロボット導入に対する工程分析と設計」として、生産プロセス提案、費用対効果分析、および設備の仕様書作成に関する学習を行なう。表4-2に愛知県立起工業高校で適用した全5回の実習（演習）カリキュラムの内容と「教育構造」における知識ベース、および実践ベース Step1, 2の該当区分を示す。

表4-2の実践ベース①とは実践ベース step1, 実践ベース②とは実践ベース step2を意味する。

本実習の目標である生産ラインに導入するロボットシステム案の策定に対し、「ロボット Sler スキル標準」の技術区分「生産技術」におけるスキル項目のそれぞれのレベル内容の一部を学習目標、到達度の評価基準に利用することで関連付ける。具体的な内容を以下に示す。

- ① 工程分析能力：工程図記号を用いて工程分析の遷移図、BOMを作ることができる。
- ② 生産プロセス提案能力：レイアウト案から品質、コスト、タクトタイムを考慮した提案ができる。（この授業において、品質としては⑦誤組付け、⑧組付け不十分、⑨組付け時における部品破損を想定し、その発生の可能性対策として、作業ミスが発生しない方法や、ロボットでの作業に、人間の作業をどこに入れるかを考えさせる。また、上記⑦～⑨と製品の機能（正しく作動するか）をチェックする検査工程設置についての示唆を行ない、どの工程で行なうかを考えさせる。）
- ③ 費用対効果分析能力：設備ランニングコストを勘案した費用対効果分析ができる。
- ④ 設備仕様書作成能力：設備概要図、動作フロー図、構成機器、安全対策仕様（「作業安全」、「予防予知」を含む）の項目を含んだ仕様書を作成できる。（この授業においては、仕様書をレイアウト図とし、レイアウト図に上記内容を記入するものとする。したがって、今回、生徒は正式な仕様書を作成しない。）

上記の①から④の各能力を用い、実際にロボットシステムの仕様を示した（仕様書としての）レイアウト図を作成できるかが目的となる。したがって、その目的達成に必要な内容を必要なだけ学ぶ。また、IDに関して、学習目標に対する到達度評価（アセスメント）としては、それらの技術が使えたかどうかであり、それらの知識技術を理解し覚えこむということではない。しかし

ながら、結果的にはロボット Sler が必要とする上記に関する複数の技術を組み合わせて学習することになり、それが効率的な教育法となることが考えられる。

表 4-2 演習のカリキュラム構成

回	実習(演習)内容
第1段階 : 作業設計と工程設計	
1	(1)【説明(0.5h)】演習の全体像の説明 (知識ベース) (2)【説明(0.5h)】BOMの説明 (知識ベース) (3)【演習1(2.0h)】LEGOロボットのe-BOMとm-BOMの作成 (実践ベース①)
2	(1)【説明(0.5h)】MTMによる作業表記法と作業時間の換算(知識ベース) (前回の理解不足の内容との関連で補足説明を含む) (2)【説明(0.5h)】ガントチャートの作成法 (知識ベース) (3)【演習2(1.0h)】組立作業の動作記号の作成と作業時間の見積もり (実践ベース①) (4)【演習3(1.0h)】e-BOM, m-BOMのデータを利用した生産ラインの設計 (実践ベース①)
3	(1)【説明(1.0h)】生産ラインへのロボット導入の取組み (知識ベース) (前回の理解不足の内容との関連で補足説明を含む) (2)【演習4(1.0h)】生産ラインの設計と評価 (実践ベース②) (3)【演習5(1.0h)】組み立て作業のコンペ (実践ベース②)
第2段階 : ロボット導入に対する工程分析と設計	
4	(1)【説明(0.5h)】生産ラインへのロボット導入の取組み (知識ベース) (前回の理解不足の内容との関連で補足説明を含む) (2)【説明(0.5h)】ロボットの動作のビデオの視聴 (知識ベース) (3)【演習6(2.0h)】工程分析, 問題抽出から要求分析と概念設計 (実践ベース①)
5	(1)【説明(0.5h)】ロボット導入案の構築, 仕様設計 (知識ベース) (前回の理解不足の内容との関連で補足説明を含む) (2)【演習6(2.5h)】ロボットシステムの機能設計と仕様書の基となるレイアウト図の作成, グループディスカッション, プレゼンテーション (実践ベース②)

4.5.2.2 第1回実習課題 (e-BOM と m-BOM の作成)

【演習1】LEGOロボットのBOMとしてe-BOM(設計部品表:Engineering-BOM)とm-BOM(製造部品表:Manufacturing-BOM)の作成

e-BOM と m-BOM の作成の目的は, "製品内の部品構成を理解すること", "中間製品の単位で作業を分割し, 工程に割り付けることが有効であること", "実機の部品を組み立ての写真と見比べることで作業の特徴を理解すること", また, "BOM での部品構造図のデータの表記方法を理解すること"である。両 BOM の作成は各グループで全部品に対して行う。演習にあたり, 各グループに1つの実機の製品と, 部品名と中間製品名を記述した中間製品の構成部品の配置の写真を示した資料(部品組み立てマニュアル)を各グループに配布する。

演習の説明にあたり, 階層図を用いて中間製品と部品の組み合わせによって製品や中間製品が構成されることを説明し, e-BOM と m-BOM の階層図を複数の表で表現する方法[10]を説明する。

ここで、e-BOM と m-BOM の情報を記述するための表を作成したデータ入力のためにテンプレート(Microsoft Excel 内に作成)を生徒に配布し、生徒は部品組み立てマニュアルを見て、実機を動かしながらテンプレートに部品の情報を記入することで両 BOM を作成するように指導する。演習中の生徒の進捗状況から、教員が具体的に複数の中間製品について写真内の部品と中間製品の関係の見方とテンプレートへの記述の様子を見せることで、BOM 作成のプロセスをパターン化し、生徒に同様の操作で演習を進めさせた。なお、作業情報は一つ部品が他の部品に接続する作業を一つの作業として記述する。

図 4-2, 図 4-3, 表 4-3, 表 4-4 はある中間製品の部品組み立てマニュアル, 説明に利用した表記法による e-BOM の階層図, および, 表形式で中間製品と部品の e-BOM と m-BOM の表記を示す。

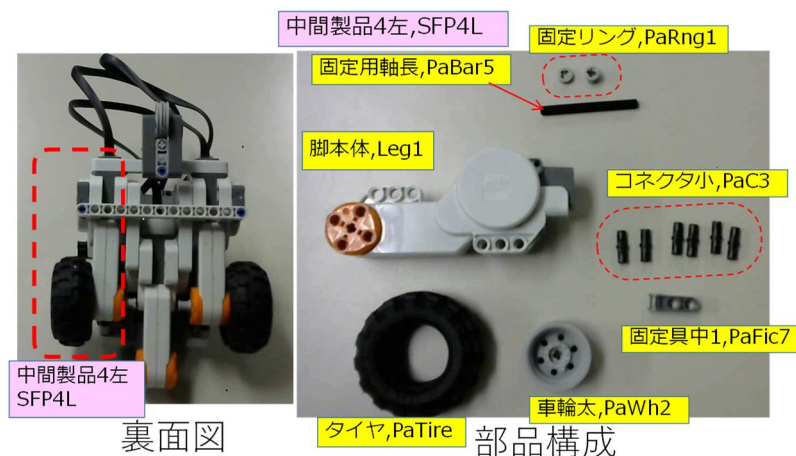


図 4-2 中間製品の製品内の配置図と部品構成図

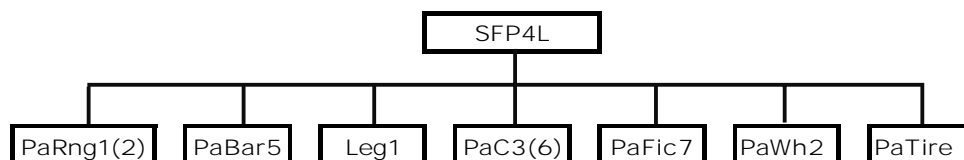


図 4-3 中間製品に関する e-BOM での階層図

表 4-3 中間製品 SFP4L に関する部品構成の表記例

品目	子品目	構成割合	構成単位	工程行番
SFP4L	PaRng1	2	個	5
SFP4L	PaBar5	1	個	3
SFP4L	Leg1	1	個	4
SFP4L	PaC3	6	個	6
SFP4L	PaFic7	1	個	7
SFP4L	PaWh2	1	個	2
SFP4L	PaTire	1	個	1

表 4-4 中間製品 SFP4L に関する作業情報の表記例
(生徒に提示した資料に口頭説明の内容を追記)

品目	工程行番	工程	MTM動作記号	作業時間	単位
SFP4L	1	PaTireの移動	R18A G1A M18B R4A	37.4	TMU
SFP4L	2	PaWh2をPaTireに取り付ける	R18A G1A M18B M3/4C P2 R4A	55.6	TMU
SFP4L	3	PaBar5をPaWh2に取り付ける	R18A G1A M18B M3/4C P2 R4A	55.6	TMU
SFP4L	4	Leg1を移動し,PaBar5をLeg1に取り付ける	R18A G1A M18B M3/4C P2 R4A	55.6	TMU
SFP4L	5	PaRng1をPaBar5に両側から取り付け	R18A G1A M18B M3/4C P2 R4A	111.2	TMU
SFP4L	6	PaC3をLeg 1 に取り付け	R18A G1A M18B M3/4C P2 R4A	333.6	TMU
SFP4L	7	PaFix7をPaC3の2つに取り付ける	R18A G1A M18B M3/4C P2 M3/4C P2 R4A	73.8	TMU

4.5.2.3 第2回実習課題（作業時間の見積もりと生産ラインの設計）

【演習2】組立作業の動作記号の作成と作業時間の見積もり

m-BOMにおいて、各部品の組み付け作業にMTMの動作記号を作成し、MTMに従って作業時間を計算する。動作記号の作成に当たり、演習1のテンプレートを利用する。ここで、動作は「手の移動」、「部品のピックアップ」、「手の移動」、「部品の位置合わせ」、「部品の挿入」の順序で行なうとしてMTMに従った記号を利用し動作の記号を記述する。

【演習3】e-BOM, m-BOMのデータを利用した生産ラインの設計

- (1) 第1回で作成したe-BOMとm-BOMを利用し、要素作業を作業場に割り付けることで生産ラインを作成する。
- (2) 生産ライン上の作業の流れを生産ラインのレイアウトと合わせて描画する。また、描画したライン上に各作業場の算出した作業時間を記載する。さらに、作業の流れについてガントチャートを作成する。
- (3) 作業した生産ラインについて、ライン編成効率、バランスロス、平滑度指数を計算する。計算ではエクセルのテンプレートを利用する。

4.5.2.4 第3回実習課題（実際に組み立て作業の実施）

【演習4】第2回で作成した生産ラインについて実際に組み立て作業を行ない、作業時間を測定する。

具体的には1つの製品を組み立てる作業について各生徒に割り付ける要素作業を変更させる。このとき作業がやりやすいように、①部品取り付け順序を変更する、②部品の配置を変更する、などを行なうとともに、各生徒の作業時間が同程度になるように変更する。

【演習5】演習4の試行錯誤から、効率的な生産ラインを決定し、グループ対抗で実機の組み立て作業に関するコンペティションを行なう。

4.5.2.5 第4回及び第5回実習課題（ロボットシステム案の策定）

【演習6】工程・作業（動作）分析による工程改善案とロボットシステム案の策定（以下の(1)から(4)までの一連の手順を本実習では「概念設計」とする。）

(1) 工程分析

作業動作に従ってフロープロセスチャートを作成する。ロボットの導入では、導入前に人間の作業だけの最も効率的な生産ラインを提案させる。その生産ラインにおいて、どの工程をロボットに代替すればさらに効率が上がるのか、そのために、作業工程を組み直し、人間だけしかできない作業、ロボットでもできる作業を明確にする必要があることを生徒に説明する。演習にあたり、直線型ラインを想定させ、工程間の作業バランスが得られるような作業割り付けを課題とする。演習のプロセスは①人間でなければ出来ない作業（ここでは、ロボットでは動作が複雑でミスが起こりやすいか、出来たとしても人間の何倍もの時間がかかる作業を指す。）の抽出、②ロボットのみの作業と人間のみの作業の分離、③バランスのための作業割り付け、④中間製品単位での組み立て作業の割り付けとなる。

(2) 改善案の策定

フロープロセスチャートから問題点の抽出と改善案の策定を行なう（ロボットの代替含む）。

改善案の策定では、問題点に対してどのような改善が必要かをシートに記述する（このプロセスを本実習では「要求分析」とする）。その際に、作業時間削減（工数削減）と作業疲労度削減、安全面の視点で改善案を策定する（その他として人工削減）。

(3) 改善効果の見積もり

(2)の改善による効果（作業時間、作業疲労度、安全性）を見積もる。

(4) ロボットシステムの導入

(2)の改善を行った後、さらに生産性を良くするため、作業時間や作業疲労度削減や安全管理するためのロボット導入案を記述する。「作業支援」、「状態の把握」「人工（工数）削減」、「作業安全」、「予防予知」の視点で、何に使えるかを考える。各工程での作業の特徴を考え、対象ワーク（対象とする部品や中間製品）や工場レイアウト（ロボットの設置場所）、求める生産性の基準や問題点を明確にする。（「作業安全」と「予防予知」は、SIerテクニカルカテゴリー『法規』の技術区分「安全対応」のスキル項目「安全な構造・機構の設計（計算）能力」、「リスクアセスメント能力」に位置付けられるが、本研究では、内容のレベルから技術区分「生産技術」の「設備仕様書作成能力」に位置付けている。）

(5) グループディスカッション

(1)から(4)において、個人で考えたロボットシステムの導入案を持ち合い、グループで、ロボットシステムの案に対する「機能設計」と「仕様設計」の視点で議論し、仕様書となる「レイアウト図」を作成する。具体的には、グループディスカッションから得られた対策案の概要図を模造紙に5W1Hの項目で内容を記述し、想定される効果も記述する。ここで、「機能設計」とは作業内容からロボットの必要な機能を考えること、「仕様設計」とはその時にどの程度の能力を持った部品や装置が必要かを考えることを指す。

(6) プレゼンテーション

各グループで考えた生産ラインに導入するロボットシステム案についてプレゼンテーションを行なう。プレゼンテーションの内容は「問題点」、「改善案の特徴(5W1H)」、「期待される効果（作業性、予算から見た人件費の削減額）とする。人件費は1人工あたり800万円とし、ロボット導入による省人化の効果などを説明する。

4.5.3 成果物とアンケートによる評価

4.5.3.1 毎週の実習状況の特徴

生徒の演習内容の理解度を調べるとともに、インストラクショナルデザイン(ID)の活用として「効果・効率・魅力」的な教育講座を目指す上で、生徒の①積極性、②コミュニケーション、③効率性、④探求心の4項目に着目し、実習中での生徒の反応の特徴を観察した。観察結果から、教員による説明の内容を生徒に理解させるには、言葉のコミュニケーションだけではなく、自分の手を使い、動いて確かめたりする行動が有効であった。とくに、最初の段階で積極的に自分で手を使って動かす作業を行わないとイメージが湧かず、理解に繋がらなかった。また、自由記述の解答を求めるケースについてはどのように考えたらよいのか、何をすればよいのかで迷い、そこで止まってしまい、学習効率が下がり、さらに、探究心、学習意欲・興味も喪失していた。

4.5.3.2 成果物から見られる生徒の理解度の特徴

(1) プレゼンテーションの評価

プレゼンテーションでの発言内容やレイアウト図などからグループ全体の特徴的な結果を以下に示す。

① コストを評価し、対策を行なった案

(対策例として、1人工のコスト800万円、ロボット6軸型1台1000万円、スカラ型800万円として、作業員2人減らし、ロボット1台導入する。あるいは、ロボットの作業内容を見直し、6軸型からスカラ型に変更するなどの対策案があった。)

② ロボット台数を無制限とした直線型ラインの案

③ 繰り返しの処理を考慮し、汎用性を高めた生産ラインの案

④ U字型ラインを形成した案

⑤ 「作業安全」「予防予知」を考慮したレイアウト案

生徒は実際の現場の製造ラインを見たことがないが、2つの班が現実の組み立てライン(U字型ラインや難しい作業を集めて作業員が行なうラインなど)を設計していた。一方、残りの班は説明で紹介したラインをわずかに改良した程度に留まっていた。

また、「作業安全」として、生徒はロボットのハンドの可動域を考慮して作業員とロボットの配置を設定した。さらに、「予防予知」として設備のメンテナンスの容易性を考慮し、例えば、壁、あるいは他工程のロボットからメンテナンススペースを確保するためのロボットの配置を考えるなどの対策をプレゼンテーションで説明できていた。

表4-5に生徒のプレゼンテーションでの発言内容や発表で用いられた生産ラインのレイアウト図について、①工程分析能力、②生産プロセス提案能力、③費用対効果分析能力、④設備仕様書作成能力、に関する学習目標到達アセスメントに対する評価結果を示す。(なお、評価は教員が2名で表4-5に示す評価項目で行なった。表の各評価項目は4.5.2.1に記載した①から④の能力に関するスキル標準のレベル内容から抜粋したものであり、それぞれは5点満点とする。)

全グループとも教員の指示した内容を考慮してラインを作成していることから、教員が想定する理解度に全グループが到達していると判断した。つまり、表4-5において各項目が1点以上ならば、重点とする項目を考慮した図の作成、あるいは説明を行なっていることから生徒らは理解していると考えた。理解していなければ考慮した成果を作ることができないからである。図4-4に発表で用いられたレイアウト図の例を示す。

図4-4は表4-5に示す4A、4Bのグループが作成したレイアウト図で、図中の上部に描かれたレイアウト図が4A、下部が4Bである。

4Aはロボットの台数を無制限とした直線型ラインの案であり、作業員は最低限の1人でロボットとの作業領域が完全に分離されている。また、組付け作業のほとんどがロボット、部品自動供給装置で効率的に行なわれるため、表4-5の項目「安全対策」「人工削減」「作業時間」「効率性」についてよく考えられているが、ロボットを無制限に使用し「コスト」面についてはあまり考慮されていない例である。

4Bは多能工化した作業員と単純作業のロボットの組み合わせとともに、モノの流れを巡回させることで、多品種生産を進めている生産ラインを構築している例である。

表 4-5 レイアウト図評価結果

No	項目 班名	①工程分析能力, ②生産プロセス提案能力, 及び④設備仕様書作成能力				③費用対効果分析能力	合計
		安全対策	人工削減	作業時間(品 質確保・タ クトタイム)	効率的な 人の配置 (効率性)	構成機器・設備ラン ニングコストを勘案 した費用対効果分析	
1	(株)起工業	3	1	5	3	1	13
2	仮面ライダー	3	3	5	3	3	17
3	(株)池水曾	5	3	3	5	3	19
4A	ヒューマンズカンパニ (先時代プラン)	5	5	5	5	1	21
4B	ヒューマンズカンパニ (効率厨プラン)	1	5	1	1	5	13

(5:よく考慮している, 3:考慮している, 1:考慮しているが不十分, 0:考慮していない)

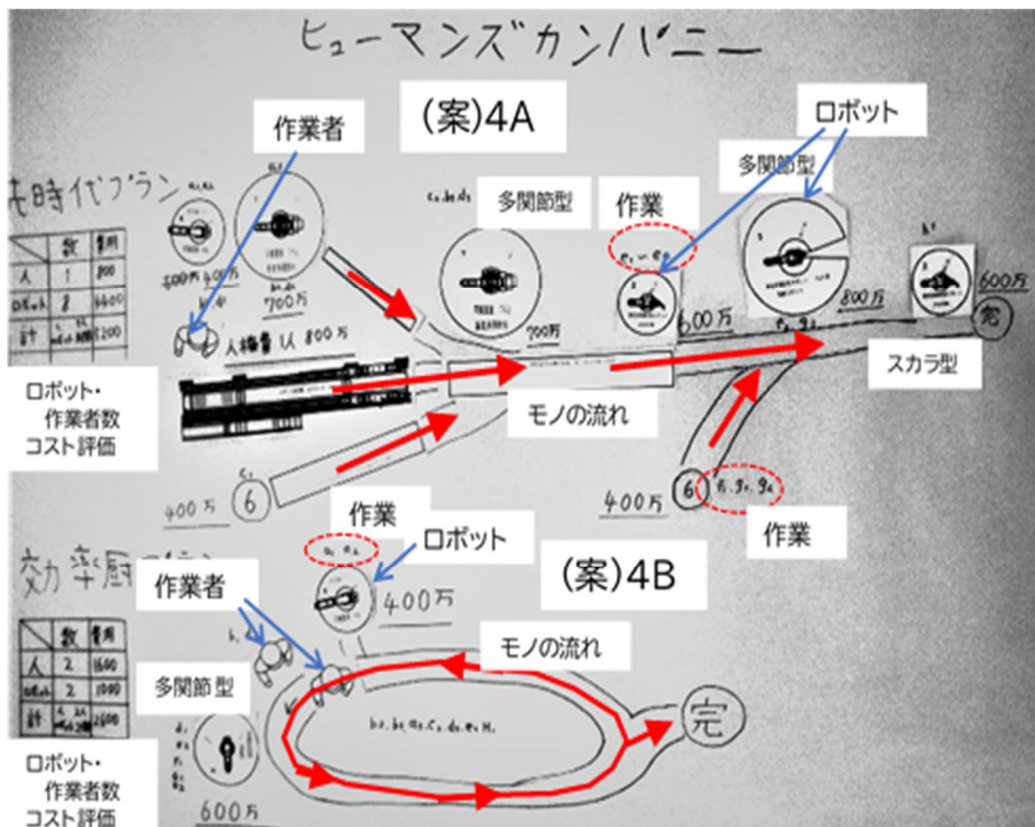


図 4-4 発表で用いられたレイアウト図の例

(2) 毎回の実習に対する生徒の意見と考察

① グループディスカッション, プレゼンテーションについて

- ・どうすれば生産量が増え, コストが削減できるのか班で話し合うことができるとも面白かった。
- ・他班の発表も大変参考になった。
- ・プランを考えて発表するのはとても新鮮味があり, 各班でプランが全く違うのも良かった。

た。

② 実機による組付け作業について

- ・作業手順を見てその通りに行なうのではなく、自分達で考えて工夫しながら行なった方が速く組み立てられた。
- ・組み立てる前に部品表などを作り、役割分担しておくことで作業の効率が良かった。
- ・分解の動画を見ることで、部品を組み立てる順番がわかった。

③ BOM, MTM の作成について

- ・BOM のデータベース表記について、製品を中間製品で分類することで、構造が把握しやすくなったり、別の製品にも利用できたり、作業の分類が容易になることがわかった。
- ・MTM 法において、異なる動作による作業時間の見積もり計算の方法やどの表にどの文字を入れればよいかなどがよくわからなかった。

④ その他

- ・今回は教員の話聞くというよりも、実際に自分達でレゴを組み立てる作業だったので、しっかりと授業に参加することができた。
- ・解決の目的からの対策検討をするのが難しかった。

①, ②では生徒の前向きな意見が多かったが、③の意見から全体を通してみると、理解が困難であるという意見も多かった。

4.5.3.3 アンケート結果からの評価

各回の実習内容の理解の困難度について、生徒にアンケートを行なった。表 4-6 は各回の実習内容に関する理解の困難度の平均値を、表 4-7 は理解の困難度に関する回答理由を示す。表 4-6 における項目が生徒に対するアンケート設問項目となり、理解の困難度を 5 段階で評価し、5 が難、1 が易とする。表 4-7 の「逆回答」とは理由と反対の意見の数を示す。

具体的に、今回利用したアンケートの記述に対する説明をする。表 4-6 の設問項目に対する理解の困難度の選択肢は、1: 大変簡単だった, 2: 簡単だった, 3: 簡単でも難しくもなかった, 4: 難しかった, 5: 大変難しかった, とした。表 4-7 のアンケート項目に対し『3: 簡単でも難しくもなかった』を選択した場合は回答理由を不要とした。3 以外を選択した場合について「理由および意見」の回答案をアンケート回答理由表 (表 4-7) より選択し記入する旨を以下のように定めた。『回答番号が 4 か 5 の場合は、一覧表から理由や意見を選んで下さい。「その他」の場合は理由を記述してください。回答番号が 1 か 2 の場合は、一欄表の番号の逆として表記して下さい。: (例)「ロボット紹介ビデオによるロボットの動きや特徴がよく理解できた」場合は、「7の逆」と記入してください。』とした。

表 4-6 と表 4-7 は、生徒の演習時における観察状況、および生徒の主な意見を数値的に裏付ける結果となっている。例えば、④の「作業時間の見積もり計算」については理解の困難度 4.0、その理由に 3 の「問題の意味や内容がわからなかった」および 4 の「問題の解答案や対策方法が想像できなかった」を半数以上の生徒があげている。

これより、前述した(2) ③「BOM, MTM の作成について」における MTM 法が難しく、実際の計算もよくわからなかった理由にもなっている。

理解の困難度の評価を考えるにあたり、全体の理解の困難度の平均 A は 3.45、標準偏差 σ は

0.39 であり、「プレゼンテーションの実施」の理解の困難度の平均が 3.4 であることから、全体の理解の困難度の平均 A と標準偏差 σ を各項目の評価の基準として考える。ここで、「プレゼンテーションの実施」はロボット S1er の専門性が低く、一般的な学習活動としての指示された作業で完結する活動と考えることができることから、これを比較対象とした。ほぼ全項目の平均値が $A \pm \sigma$ に収まっていることから、本カリキュラムでは、理解の困難さや容易さのばらつきが小さい教育カリキュラムであると言える。

一方で、項目④と⑩の理解の困難度の平均値は 4.0 である。これは、これらの項目が理論的な計算や高度な専門的な知識が必要であることが原因であり、今後の改善が必要であることが分かった。

上記より、本研究で設計、実施したカリキュラムはロボット S1er 初級レベルとして理解の困難度は被験者の生徒に対して適切であると判断できる。

表 4-6 実習（演習）項目に対する理解の困難度のアンケート結果

No	週目	項目	理解の困難度平均	1番理由	該当能力
①	1W	部品構造のデータ表現の作成	3.5	1...3人	①
②	1W	部品と作業の関係のデータ表現の作成	3.4	1...3人	①
③	2W	作業(動作)のデータ表現の作成	3.4	1...2人	①
④	2W	作業時間の見積もりの計算	4.0	3...5人	①
⑤	3W	デジタルマニュアルを見ながらの製品の組み立ての実践	2.8	5...2人	①
⑥	3W	メンバーの間での作業の配分	2.9	5...2人	②
⑦	3W	効率的な作業方法の発想	3.6	4...5人	②③④
⑧	4W	ビデオによるロボットの動作の学習	2.8	7...2人	①
⑨	4W	作業シートを用いて、作業の問題点の発見や抽出	3.6	11...4人	①②
⑩	4W	作業シートを用いて、問題点から機能への展開	4.0	12...5人	①②③
⑪	5W	人間の行う生産ラインの作成	3.8	13...5人	②③④
⑫	5W	ロボットの配置と生産ラインの作成(アイデアの作成)	3.8	15...3人	②③④
⑬	5W	プレゼンテーションの実施	3.4	4...2人	

該当能力①：工程分析能力，②：生産プロセス提案能力，
③：費用対効果分析能力，④：設備仕様書作成能力，

表 4-7 アンケート回答理由および延べ数

No	理由	述べ数	逆回答
1	ロボットの種類やしきみ（構造）がわからなかった。	9	3
2	ロボットの動作がわからなかった。	5	1
3	問題の内容や意味がわからなかった。	12	5
4	問題の解答案や対策方法が想像できなかった。	13	1
5	解決案や対策方法はわかるが、作業に時間がかかりすぎた。	7	1
6	部品や作業が多いため、演習の意味がよくわからなかった。	4	0
7	ロボット紹介ビデオから、ロボットの動きや特徴が理解できなかった。	7	1
8	ロボット紹介ビデオから、ロボットがどのようにレゴの組み立て作業するのか具体的にイメージできなかった。	0	1
9	ロボット紹介ビデオから、人が作業する場合での一歩進んだ問題点（見えない本質的なこと）も見つけにくかった。	0	0
10	ロボット紹介ビデオから、ロボットによるレゴ組み立て作業がイメージでき、人が作業する場合の問題点も分かったが、具体的な機能への展開が難しかった（わからなかった）。	0	0
11	（第4回目）作業シートを利用した機能展開において処理の方法がわからなかった。	6	0
12	（第4回目）作業シートを利用した機能展開において、やり方は分かるが適切な案が浮かばなかった。	6	0
13	第5回目で新しい生産ラインを考えた際、作業者の具体的な作業（動作）がイメージできなかった。	5	0
14	第5回目で新しい生産ラインを考えた際、ロボットの具体的な作業（動作）がイメージできなかった。	4	0
15	第5回目で新しい生産ラインを考えた際、作業者やロボットの前後の作業の関係を先行順位図から調べることが難しかった。	4	0
16	その他(右欄に書いてください)	1	0

4.6 提案する教育方法の問題点と対策案

今回の被験者である生徒は、専門ロボットの知識を有しておらず、生産管理、工程設計的な考えも経験がなかった。しかしながら、現実には工業高校卒業者のように、若く、製造現場の未経験者を短期間でロボット S1er に育成していく必要がある。その上で問題点は、「問題解決に必要な専門基礎知識をどのように理解させるか」である。これは、モチベーションにも繋がっている。具体的には、ロボットでの動作を考える前に、人間が実際に作業体験して問題を見つけることで具体的な作業の難しさやロボットへ作業を移したときの問題点などがイメージしやすいことで理解が高まったことが挙げられる。

前章で記述した生徒の反応や意見、およびアンケート結果を踏まえて、教育プログラムの実施に関する対策案を下記に示す。

- (対策 1) 今回の演習のように、単に産業用ロボットの映像ビデオを見せる、あるいは説明をするだけでは生徒の理解、ロボット導入のイメージは困難である。したがって、演習の初期段階で、ロボット実機を使い、ロボットを実際に動かして現象を考えさせることと、経験から問題を考えさせることが必要と思われる。実践的な行動をとらせること

で彼らの認識が深まることがアンケートからも明らかである。

- (対策2) また、議論や考えを活性化させ、実用的で有効な「解答」を誘導できるようにファシリテーターの導入をすることで効率的に学習を進められる。例えば、予め生徒の躓きそうなポイントを予測し、解答を導出する質問を設定しておく。ただし、生徒が示した「解答」（解答例）に対する正解は多数存在するものとする。
- (対策3) 工程分析に関する演習の実施において、とくに生徒の理解が困難であった BOM の作成、MTM 法の作業表記、作業時間の換算はドリル形式を取り入れ、簡単な類似問題の繰り返し作業により、経験的に「解答」の導き方がわかる方式を導入することが有効である。同様に生産プロセス提案、及び費用対効果分析能力に関するコスト、タクトタイム算出については穴埋めタイプのシートに記入させる、さらに、設備仕様書の作成の基となるレイアウト図作成時においては、必要な構成機器、安全対策仕様などの項目を網羅させるためにチェックリストに記入させるなどの方式も有効であると考えられる。
- (対策4) ロボットの実機を使用できない場合は、生徒は実際の産業用ロボットを目にするケースが少なく、ロボットの構造や特性の知識が乏しいことから、実際に行なう実習の内容に沿った動作・機能がわかるようにビデオを編集し、人の作業を効率的にロボットに置き換えるイメージが分かりやすくなるよう見せることが必要である。

4.7 まとめ

本論文では、製造現場へロボットを導入する方法を考えさせる教育カリキュラムの設計において、SIer テクニカルカテゴリーの『生産・品質管理法』における工程分析能力、および生産プロセス提案能力などのとくに上流工程の技術要素の教育を目的とした「初歩レベルの人材に対するカリキュラム」を提案した。それを今回、ロボット SIer 企業に多く採用される工業高校生を対象に適用した。過去の論文[1][2]で提案した教育構造における指導方法に当てはめ実施した。

本実習における第1回から3回までの第1段階では、「知識ベース」で、複数の技術項目を関連付けて BOM, MTM, ガントチャートを学習(説明)し、「実践ベース Step1」で、単純化したモデルを利用した既存法の学習として、BOM の作成(テンプレート使用)、生産ラインの設計(作業表記法と作業時間を使用)、部品配置と作業場レイアウトの設計(人間だけの通常の生産ライン)を行なった。そして、「実践ベース Step2」でカスタマイズや応用問題に対する学習として、オリジナルの生産ラインの設計(人間だけの生産ライン)、及び分析評価を行ない、第1段階最後に、班ごとの組み立て作業のコンペを行なった。

本実習の第2段階となる第4回で「実践ベース Step1」として概念設計を作成し、第5回で「実践ベース Step2」として、ロボット導入の設計と仕様書の基となるレイアウト図を作成し、班単位で内容の説明(発表)した。

以上の内容を3時間×5週(計15時間)で完結できたことから効率的であったと判断される。通常の学校教育のように専門技術を科目毎に単発に教育するカリキュラムと比較すると、本研究の実習のように複数の技術を関連付けて、複合かつ段階的に教育することで実践的な技術として仕上げるカリキュラムになったと思われる。たとえば、ロボット SIer スキル読本に編集された各スキル項目をテキストに編集された順に単発で学習しても、どのように目の前の生産ラインの設

計に結び付けるのか、従来では単元に特化した実習による教育が行われるため、個々の実習からでは装置を組み合わせたシステムとして作り上げるプロセスの学習は困難である。このことから、本研究で示した教育法は効率的・効果的であると考えられる。そして、教育成果についても、本実践活動における生徒自身の成果物から、教育の目標ラインに到達できたと判断できる。

今後の教育の課題をロボット S1er の立場から考えた場合に、現在、とくに育成が期待されている能力は、新しいロボットの仕組みを考える能力ではなく、既存のロボットシステムを利用してスピード感をもって作り上げる能力である。その能力を習得させるためには、ある程度のパターンを示し、説明し、当てはめさせることが有効な手段であることも考えられる。今後はさらに、短期間でロボット S1er (PM) を育成する効率的な実効性の高いプログラムを検討する。

注意事項

[注 1] 愛知県では、本県の産業労働政策の基本的な方向性と主な施策を示す「あいち産業労働ビジョン 2016-2020」に続き、新たな計画「あいち経済労働ビジョン 2021-2025」(計画期間：2021～2025 年度)を策定した。ビジョンでは、現下の危機である感染症に対応した緊急対策に全力で取り組むとともに、強みであるモノづくりとデジタル技術の融合やスタートアップ・エコシステムの形成などにより、愛知発のイノベーション創出や本県産業の持続的な発展を図ることを目的とする。

[注 2] 「ものづくり愛知の未来を担う理数工学系人材」を育成するため、Science (科学), Technology (技術), Engineering (工学), Mathematics (数学) の 4 分野 (STEM) に重点を置いた「理数工学人材を育成する先進的な教育課程の研究」、「産業人材を育成するための理数工学に関する教材開発」、「生徒の STEM 能力の向上を図るための講座や探究活動、研究発表や競技大会」を行う事業。

参考文献

- [1] 間瀬好康 他：「ロボット産業人材の育成」, 日本生産管理学会論文誌, Vol.27, No.2, pp.30-37 (2020).
- [2] 間瀬好康 他：「ロボット S1er 育成に対する教育法の提案」, 日本生産管理学会論文誌, Vol.28, No.1, pp.45-54 (2021).
- [3] 経済産業省：「ロボットシステムインテグレータ (ロボット S1er) スキル標準シート [第一版]」
<https://www.meti.go.jp/press/2018/05/20180531008/20180531008.html> (2020/12/23 閲覧).
- [4] 愛知県ホームページ <https://www.pref.aichi.jp> (2020/12/23 閲覧).
- [5] 山口明彦 他：「課題発掘型学習を中心とするロボット教育の大学院向けカリキュラム」, 日本ロボット学会誌第 34 巻 9 号, pp.45-52 (2016).
- [6] 中野統英 他：「経営学部におけるシステムエンジニアになりうる若手人材の育成」,
『VENTURE BUSINESS REVIE Vol.10』, pp.45-62 (2018).
- [7] 赤羽根亮子 他：「人材育成を目的とした実践講座の開講」, プロジェクトマネジメント学会
2010 年春季研究発表大会予稿集, pp.277-282 (2010).
- [8] 大島純：「人材育成のための学習理論とその応用」, 『国際文化研修 2012 冬 vol.74』, pp.16-23
(2012).
- [9] 鈴木克明：「インストラクショナルデザインの基礎とは何か：科学的な教え方へのお誘い」,
消防研修 (特集：教育・研修技法), 第 84 号, pp. 52-68 (2008).
- [10] 渡辺幸三：「生産管理・原価管理システムのためのデータモデリング」, 日本実業出版社
(2002).
- [11] 西 仁司 他：「組み込みシステムの理解に向けたロボット教育」, The 29th Fuzzy System
Symposium (Osaka, September 9-11, 2013), pp.306-309 (2016).
- [12] 福田 守：「日本工学院八王子専門学校における実践的ロボット教育」, 日本ロボット学会
誌, Vol.24, No.1, pp.31-35 (2006).
- [13] 門田和雄：「科学技術高校におけるロボット教育のカリキュラム開発」, 日本ロボット学会
誌, Vol.31, No.2, pp.133-139 (2013).
- [14] 藤井隆司 他：「工学部における問題解決型授業の実践と効果の検証」, 日本ロボット学会
誌, Vol.31, No.2, pp.161-168 (2013).
- [15] 近藤康雄 他：「地元企業と連携した PBL 教育『機械工学実践教育プロジェクト』」, 工業
教育, 51-5, pp.31-36 (2003).
- [16] 佐藤和彦 他：「主体的学習を促す『与えない』演習の実践」, 工業教育, 61-3, pp.56-61 (2013).

第5章 実機による演習を含む教育カリキュラムの設計と実践

5.1 はじめに

著者らは、これまでに製造現場におけるロボット SIer (System Integrator) 事業の調査とともに、人材育成の特徴を分析し、効率的な教育方法を検討し、論文[1][2]で SIer 教育の概略的な教育内容を提案した。研究では、ロボット SIer について、その求められる資質、能力、そして、あるべき姿を「ロボット・周辺機器等の広範囲の知識とシステム化する技術技能、システム化の課題究明・解決能力を有し、他者とコミュニケーションをとりながらシステムを構築していける人材」[1]–[3]と定義し、ロボット SIer 企業の調査や先行研究から定義したロボット SIer を育てる方法を提案した。

また、これまで、ロボットの活用の主たるフィールドは、自動車や電気電子産業等の大企業が中心であり、大規模な生産ライン（少品種大量生産）に組み込まれた専用作業の仕様によるものであった。今後、ロボットは三品産業（食品・化粧品・医薬品）などの幅広い製造分野において、多種多様、あるいは多品種少量生産とした特徴的な製品を製造する業務やサービス業を対象とした業務、さらには人手に依存する中小企業などで利用できることが求められる。

したがって、多様な業務分野でロボットを活用していくためには、ユーザーの多様なニーズを汲み取り、ユーザーとメーカーをマッチングし、ロボットシステムを構築できるロボット SIer の早急な育成が必要不可欠と考える。

ロボット SIer は各分野にわたる専門的な知識が必要なため、複数の専門知識について演習を通して学習することが必要となる。過去にロボットに関する教育法を示した先行研究[4]–[9]はあるが、ロボット SIer 育成方法に関するものはない。本研究では4章で行なった実践活動での特徴を踏まえて、「経産省ロボット SIer スキル標準シート」（以下「ロボット SIer スキル標準」と略す。）[10]の技術区分を関連付けて分類化した『ロボット SIer テクニカルカテゴリー』[1][2]（表5–1）において、関係するスキル項目を組み合わせ、構造的に教育する効率的な方法に基づき、さらに「インストラクショナルデザイン」（Instructional Design, 以下「ID」と略す。）[11]–[14]を活用し、工業高校を対象とする教育カリキュラムを設計し、教育を実施する。

今回、製造現場へロボットを導入する方法を学習することを目的とした教育カリキュラムとして、ロボット SIer 業務全体の流れの中で上流部に位置する「生産・品質管理法」についての技術・スキルに関連する内容を全6回で構成し、論文[1]で示した教育方法を適用する。カリキュラムの設計は、5.3章で説明する「カリキュラム作成ジャーニーマップ」を利用する。教育の対象として、ロボットの実機を利用した生産工程の設計と構築、評価を行なう。生徒の学習状況、プレゼンテーション内容、アンケート結果から、実施における問題点を考察し、工業高校生を含む、専門知識の初期学習者に対するロボット SIer 教育カリキュラムの対策案を検討する。

表 5-1 Sler テクニカルカテゴリーと技術区分[1][2]

	Slerテクニカルカテゴリー	「ロボットSlerスキル標準」における技術区分
1	メカニクス（機械設計）	「機械設計」「機械組立」 「ロボット制御」
2	エレクトロニクス（電子回路）	「電気設計」「電気配線」 「ロボット制御」
3	ソフトウェア	「画像処理」「システム制御」 「ロボット制御」
4	生産・品質管理法	「生産技術」「品質保証」
5	プロジェクトマネジメント （システム分析・管理技法）	「組織体制」「営業技術」
6	法規	「安全対応」

5.2 教育方法

本研究では、論文[2]で示した Sler 教育構造（図 5-1）における基礎の「Step1：既存の方法の学習（実践ベース）」、応用の「Step2：カスタマイズや応用問題に対する学習（実践ベース）」、応用の「Step3：ロボット導入の総合的実践問題に対する学習（実践ベース）」を『ロボット Sler テクニカルカテゴリー』[1][2]の『生産・品質管理法』の技術区分「生産技術」に当てはめた教育プログラムを工業高校の実際の講義・演習の枠組みで、以下に示す教育方法により実践する。

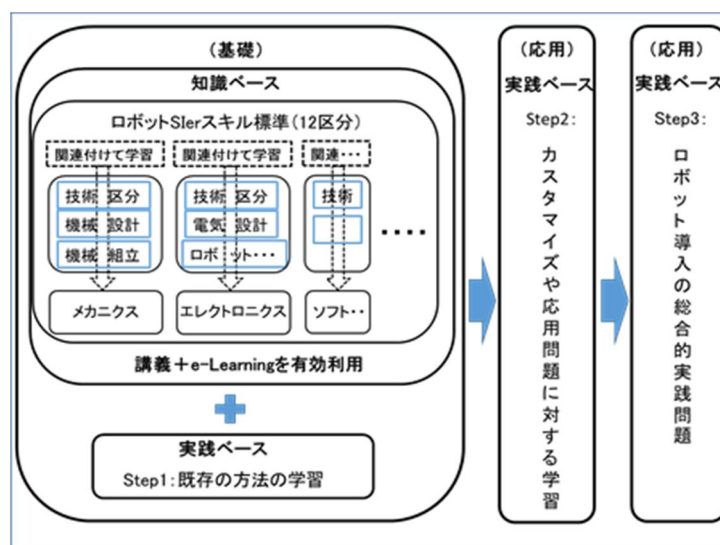


図 5-1 教育構造の概要図[2]

本研究における「製造現場へロボット導入する方法」に対する教育カリキュラムは、ロボット Sler 業務全体の流れの中の『上流工程における生産技術』を対象とする。具体的には『ロボット Sler テクニカルカテゴリー』[1][2]のNo.4『生産・品質管理法』の技術区分「生産技術」におけるスキル項目「工程分析能力、生産プロセス提案能力、費用対効果分析能力、および設備仕様書作成能力」に関連付けて、ロボットを含む生産システムの提案、生産性と品質向上案の策定、コスト評価を考慮し、論文[1]で示す教育方法を用い、複合かつ段階的に教育する。ロボットの実機

は(株)バイナス社が教育機材として開発したロボットシステム「協働ロボット：BRT-AG/CBT」を2セット利用する。さらに、IDを活用して各回の生徒の学習状況、レポート、アンケート結果により授業を評価、分析し、学習方法の設計、及び修正することで、次回以降の授業を、より効果的、効率的、魅力的なものにし、生徒の理解度、および達成度の向上を図る。具体的には毎回の実習後にレポートとして生徒に対し、①各演習項目についての達成度の自己評価、②興味・関心度、及び③理解度の計量的評価（評価点の例として、良かった：5から良くなかった：1を記載させる。）、さらに、④よくわからなかったところ、意見・感想などの自由記述をさせ、それらのデータを次回の実習にフィードバックし、生徒が効率的に理解し、関心・意欲を高め、実習の教育的効果が得られるようにする。

5.3 教育カリキュラムの設計法の提案

5.2章では複数の技術を一つの科目に統合し、段階的に実践的な技術を実習により提供することで、多様な専門技術を効率的に学習させる。具体的には、SIer テクニカルカテゴリーにおける、各カテゴリーの技術区分の技術内容を例題に落とし込み、実践的に技術区分の中のスキル項目に関連する専門技術を使用しながら実習を進めることで学習させる。

しかしながら、複数の技術の組合せや、多様な技術を含めた実習を考慮した教育カリキュラムの設計は困難な作業となる。本研究では教育カリキュラムの設計に対して、カスタマージャーニーマップ[1]を参考に、開発した表を利用する設計方法を提案する。表5-2は開発した表の例を示す。ここではこのマップを「カリキュラム作成ジャーニーマップ（Curriculum Creation Journey Map）」と呼び、以下、CCJMと略記する。CCJMでは、カスタマージャーニーマップ[15]における時系列的なシナリオ作成の容易さと利用者視点の感情変化と問題抽出の同時評価の機能を利用する。

CCJMでは、ペルソナ（ターゲット）を教育対象の生徒とし、「教育の目的」に対して、教育対象の技術、学習方法、および、生徒の学習時での感情変化を記述する。この記述から、各回における生徒の学習過程での支援のタイミングと方法を創出する。

「教育の目的」では、教育カリキュラムや科目で行う教育の内容を記述する。「コア技術」、「サブ・コア技術」、「サブ技術」は教育対象の技術を指す。ここで、「コア技術」は主の技術を指し、「サブ・コア技術」は主の技術と同時に学習する技術であり、コア技術に相当する重要で汎用性の高い技術を指す。「サブ技術」はカリキュラムに含まれる他の技術を指す。これらはロボットSIerスキル標準に含まれる多種類の技術から選定される技術である。

CCJMでは、各技術の行に該当する日程のマスに教育内容を記述する。また、「教示・学習方法」の行には、各回での情報の教示方法や学習方法を記述する。これにより、複数の技術を組み合わせた教育を設計する。「特徴的な教育方法」の行では、教育的効果を考慮した方法を記述する。

「生徒のモチベーション」は各回での授業内容から想定される生徒のモチベーションの変化を矢印で記述する。「タッチポイント」では「生徒のモチベーション」の変化に対して、教師のサポートが必要と考えられる時点を記述する。このとき、上の行の矢印で該当するタイミングに丸をつけることで実運用での観察に合わせる。「評価方法と利用法」と「習得するロボットSIer標準スキル」では各回での事項を記述する。

この表の作成により、授業の全体構成を通して複数の技術の関連性や実施と効果に関する検討

を行なえる。また、異なる科目の表を作成することで関連性を調べることが可能である。

CCJM を適用することによる従来の教育に対する改善点や効果について以下の通りである。

- ① 一連の教育活動を時系列で把握できる。
- ② ペルソナの設定でターゲットが明確になる。(つまり、ターゲット(学習者)という対象を明文化、ないしは図解することで、関係者が共通の認識を持つことができる。)
- ③ ペルソナの設定と共に学習者の学習状況(理解度・モチベーション度)を分析し、どのタイミングでどんな技術(ロボット教示など)・能力(技術区分におけるスキル項目)を身に付けさせるのか、或いは教師がどこでアプローチをかけるのか、などをより明確化し、共通認識を持つことができる。

①から③は教育の実施におけるメリット(教育効果)だと考えられる。とくに複数の教師で共通の内容の教育を実施する場合は、開始時に設定したカリキュラムの詳細を全員が認識しつづけることは困難であるが、その際にも CCJM の存在により他教員との確認もスムーズである。

表 5-2 提案する CCJM の作成例

教育の目的	生産ラインに導入するロボットシステムの構築(システム構築の上流設計)						
	対象	第1日	第2日	第3日	第4日	第5日	第6日
コア技術	生産技術	製品の分析、設計情報の管理(BOMの作成、作業分析(動作分析、作業時間の測定))	工程分析(リードタイム、サイクルタイムの測定)、作業分析(作業改善)	工程図記(作業改善、工程改善)	ロボットを導入する生産工程の作成	2台のロボットを導入する生産工程の作成、生産工程の改善	3台のロボットを導入する生産工程の改善、改良案の決定(グループディスカッション)
サブ・コア技術	ロボット制御 機械組み立て	ロボットの機能説明		実験によるロボット操作の講習(基本動作による実習)	ロボットによる生産作業の模倣の実習(応用動作による実習)	2台のロボットによる生産作業の模倣の実習(応用動作による実習)	3台のロボットによる生産作業の模倣の実習(応用動作による実習)
サブ技術	言葉技術(コスト評価)					ロボット導入によるコスト評価(講義)	ロボットの改善案作成における作業回数とロボット導入の効果の評価(実習)
	安全対応				安全性を考慮したロボットと周辺機器の配置の検討	安全性を考慮したロボットと周辺機器の配置の検討	安全性を考慮したロボットの作業者の配置
	プレゼンテーション技術(総括)						プレゼンテーション資料の作成、プレゼンの実施
教示・学習方法		講義(ビデオによる説明) 実習(基本実習)予による組み立て(実習)	講義 実習(高実習)予による組み立て(実習、改良案の決定)	講義 実習(ロボットによる実習)	講義 実験(ロボットによる実習)	講義 実験(ロボットによる実習)	講義、グループディスカッションによる改良案の決定、プレゼンテーション
特徴的な教育方法		ビデオによるロボット動作の説明 ・実験の成立して作業の実施	・実験の成立して作業の実施 ・生徒の意見(実習状況の観察)とヒントの提示	・実験の成立して作業の実施 ・生徒の意見(実習状況の観察)とヒントの提示	・実験の成立して作業の実施 ・生徒の意見(実習状況の観察)とヒントの提示	・実験の成立して作業の実施 ・生徒の意見(実習状況の観察)とヒントの提示	・実験物のサンプルの提示と成果物の作成方法の説明 ・プレゼン方法の説明
生徒のモチベーション							
タッチポイント(教員のサポート時点)		製品組み立ての工程のサポート	作業時間の測定や計算のサポート	上流技術者の能力によるロボットの基本操作のサポート と実作業の操作の時点	製作書の操作のサポート(生徒の操作が困難な場合)	製作書の操作のサポート(生徒の操作が困難な場合)	生徒の作業状況の観察が困難な場合
評価方法と利用法		(1)基本事項テスト(1日課のため) (2)毎回の改善終了後のアンケート(改善後の事項を次回の実習に活用) (3)生徒の改善の取り組み状況の観察					4)プレゼン資料と改善案の作成 5)改善案に關するアンケート 6)基本事項テスト
習得するロボットSierスキル標準レベル		1)工程分析能力(レベル3)	2)生産プロセス提案能力(レベル3)				3)高品質改善分析能力(レベル4) 4)改善計画立案能力(レベル5)

5.4 教育の目的と教育カリキュラムの設計

本研究の教育対象は生産ラインに導入するロボットシステムの構築であり、表 5-2 は教育カリキュラムの設計案の CCJM を示す。「ロボット Sier スキル標準」の技術区分「生産技術」におけるスキル項目の 4 能力のレベル内容の一部[10]を学習目標と到達度の評価基準に利用することで関連付ける。具体的な内容を以下に示し、表 5-2 の「習得するロボット Sier 標準スキル」に実施する日程を示す。

- ① 工程分析能力：工程図記号を用いて工程分析の遷移図，BOM を作成することができる。
- ② 生産プロセス提案能力：レイアウト案から品質，コスト，タクトタイムなどを考慮した提案ができる。

- ③ 費用対効果分析能力：設備ランニングコストを勘案した費用対効果分析ができる。
- ④ 設備仕様書作成能力：設備概要図、動作フロー図、構成機器、安全対策仕様などの項目を含んだ仕様書を作成できる。

ここで、学習目標到達における評価（IDの要素としてのアセスメント）に関して、①～④の各能力の知識の理解の程度を高めることが目的ではなく、生産ラインに導入するロボットシステム案の策定（レイアウトの設計と構築）を行なう技術を習得できるかが学習目標であり、レイアウト図を作成できるかが目的となる。したがって、目的達成に必要な内容を必要なだけ学ぶ。つまり、IDに関して、学習目標に対する到達度評価（アセスメント）としては、必要な技術が利用できたかどうかであり、個々の専門知識を理解して覚えこむことではない。このような教育目的により、ロボット Sler が必要とする複数の技術を組み合わせることで学習することになり、効率的な教育法が構築される。

5.5 工業科専門高校への教育プログラムの適用

5.5.1 生徒及び教育場の特徴

適用した対象は愛知県立瀬戸工科高校の電子機械科 3 年生の 6 名である。この学科は今年度（2021 年度）入学者から学年進行でロボット Sler 教育を目的としたロボット工学科となる学科であるが、現行 3 年生は機械設計・制御系の基礎科目の履修が主であり、ロボットに関する専門教育は行なわれていない。このため、現在の製造現場で活用されている市販量産型ロボットの種類、構造、機能、用途などについての具体的な知識を学習していない。また、製造工程に対する知識（例えば、生産管理や運用に関する知識）も学習していない。本教育は科目「課題研究」（3 単位）の授業カリキュラムにおいて 6 週間（3 時間/週）計 18 時間で実施した。1 班 2 名とし、全 3 班にてグループ単位で課題に取り組ませる。ロボットの実機を使用する第 3 回実習からは 1 班 3 名とし、全 2 班にて取り組ませる。

5.5.2 カリキュラムの内容

5.5.2.1 実習の特徴

授業ではミニチュアカー（図 5-2）を組み立てる作業と工程の設計とロボット導入の演習をスキル項目の 4 能力に関連付けながら行なう。部品点数は 31 点(15 種類)であり、総要素作業数（部品一つを取り付けるための作業を要素作業とし、その数を要素作業数とする）は 31 である。授業は全 6 週に対して、第 1～3 週では工程分析、生産プロセス提案、第 4～6 週では、費用対効果分析、および設備の仕様書作成に関する学習を前節で示した教育構造に沿って行なう。

初めに、教員が知識ベースとして技術要素の説明を行ない、生徒は実践ベース Step1, Step2, Step3 に従った演習を行なう。それを段階的に繰り返す。具体的には実践ベース（Step1）である「既存の方法の学習」として BOM(Bill of Materials : 部品構造表)、さらには、MTM (methods-time measurement) 法を用いて作業分析の演習を行なう。MTM 法では、組み立て作業における動作は部品に関する「位置決め」、「挿入」、「手を伸ばす」、「つかむ」に分解し、作業分析を行なう。

次に実践ベース（Step2）では、「カスタマイズや応用問題に対する学習」として、部品の組み立てを自分で実践することで、何が問題点かを実作業を経験しながら判断させ、分析させる。分析結果から、ロボットに関連付けさせて、実践ベース（Step3）では、「ロボット導入の総合的実

「実践問題」として生産ラインを設計させる。このとき、具体的にロボットを導入したらどうなるか、課題を含めて考えさせる。

表 5-3 に全 6 回の実習内容の概要を示す。演習は与えられた課題に対して、実機を使用し、手を動かして現象を考えさせながら行なわせた。また、解答例や解答の導き方がわからないというケースについては、教員がファシリテーターとして、生徒の円滑なアイデア導出を促すように質問形式でヒントを出すなどを行なった。



図 5-2 実習で使用するミニチュアカーの写真

表 5-3 瀬戸工科高校における全 6 回の実習

回	実習内容
1	製品の部品構造確認, BOM (Bill of Materials)の理解・作成
2	生産性向上を目的としたリードタイム, サイクルタイムの測定. →工程分析
	MTM(methods-time measurement)法による作業時間の見積り. →工程改善案策定
3	効率的な部品の組み立て順序の確認, ロボット操作法の学習.
4	生産ラインの設計, 及びロボット導入方法の学習
5	ロボット2台仕様による生産性の高いラインの設計と構成の学習.
6	問題点の分析と改良案の作成, グループディスカッション, プレゼンテーション

5.5.2.2 第1回実習課題（製品の部品構造の確認）

ここでは製品の部品構造の確認を行なう。

（課題）(1) から (3) に従って、ミニチュアカーの BOM として e-BOM（設計部品表：Engineering-BOM）と m-BOM（製造部品表：Manufacturing-BOM）を作成する。

- (1) 部品総数の確認.
- (2) 部品種類数の確認.
- (3) BOM の作成. 及び部品構造に関する写真を見て、ミニチュアカーの部品構造を示す e-BOM と m-BOM を作成する.

演習に当たって、テンプレートとするエクセルのファイルを配布し、BOM を作成させる。テンプレートでは BOM で表現される親品目と子品目の対応表として記述させる。

5.5.2.3 第2回実習課題（作業の設計と評価）

ここでは、作業の設計と評価を行なう。

（課題1）(1) から (3) に従って、ストップウォッチを利用して作業時間を測定する。

- (1) 自分に割り付けられた製品について、マニュアルの画像に従って、組み立て作業を行う。
- (2) 組み立て作業数は4回とし、1回ごとの作業時間を測定し、用紙に記録する。
- (3) 1回ごとの作業時間を EXCEL シートに入力して、作業時間の変化のグラフを作成する。

（課題2）(1) から (2) に従って、製品を構成する部品の組み立て作業の時間を見積もる。

- (1) マニュアルによる部品の取り付け順序に従って、作業者の部品の取り上げと部品の組み立ての作業により作業時間を確認する。
- (2) (1)の条件から、部品の配置を変更、部品の組み立て順序を変更した場合の作業時間を MTM 法から計算する。（変更した条件はシート「②【作業順序】(2)」に記述しているので、このシートを利用して計算させる。）

（課題3）作業順序を変更して作業時間を短くする方法、あるいはミスのない作業方法を考える。

（(1) から (5) を考慮し、自分の作業が容易になる新しい方法を考えさせる。）

- (1) 部品の組み立て順序はどうすればよいか？
- (2) 部品の配置はどうすればよいか？
- (3) (1), (2)をシートに描画する。
 - ・図は作業者と部品の配置について描く。
 - ・作業順序は テンプレートシート「②【作業順序】(3)」(図5-3)に書く。
- (4) テンプレートシート「②【作業順序】(3)」を使って作業時間を見積もる。
- (5) 自分で組み立ててみて時間を測定し、(4)の結果と比較する。（測定回数は3回とする。）

作業順序 部品配置[]							
作業 順序	部品名	ロボット or 人間	作業 順序	部品名	ロボット or 人間	部品名	部品名
1			15			①Frame	⑮Cowl
2			16			②Front	⑯FGlass
3			17			③Stem(前1)	⑰Door(右)
4			18			④Wheel	⑱Door(左)
5			19			⑤Stem(前2)	⑲RBody
6			20			⑥FrameBar	⑳Side(右)
7			21			⑦Stem(後1)	㉑Side(左)
8			22			⑧Wheel	㉒Roof(右)
9			23			⑨Stem(後2)	㉓Roof(左)
10			24			⑩Rear	㉔Tire(前右)
11			25			⑪Sign(前右)	㉕Tire(前左)
12			26			⑫Sign(前左)	㉖Tire(後右)
13			27			⑬Sign(後右)	㉗Tire(後左)
14						⑭Sign(後左)	
			作業時間(測定):				
			作業時間(理論):				

図 5-3 テンプレート「②【作業順序】(3)」

5.5.2.4 第3回実習課題 (ロボットの实機を利用した生産工程の構築)

ここではロボットの实機を利用して生産工程を構築する。

(課題1) 各生徒は手作業で部品の組み立て順序を確認する。(部品の並びを確認する。)

(課題2) ロボットの基本的な操作を学習する。(操作のパターンを学ぶ。)

(課題3) 課題1での作業順序に従ってロボットに学習させ、作業を行なわせる。このとき、下記の(1)から(3)に従って演習を行なう。

- (1) ロボットでは組み立てられない部品があればその部品に印をつける。
- (2) ロボットが組み立てやすいように、部品の取り付け順序を変更する。
- (3) ロボットと人間が連続的に作業を行うために、ロボットの行う作業と人間の行う作業を分ける。

今回利用したロボットには、動作の範囲やハンドの形状、また、部品の構造により、作業に限界があるため、ロボットに比べて作業の方が短時間で確実にを行うことができる作業が存在する。ここで、生徒は事前に自分の手を使って製品の組み立てを経験しており、さらに、生徒は実習内のロボットへの作業のティーチングの過程で教師からヒントを受けることでロボットでは作業が困難な理由を考え、ロボットと作業者が共存し、作業の実現可能な割り付けを学習する。

5.5.2.5 第4回実習課題 (2台のロボットを利用した生産工程の構築)

ここでは、2台のロボットを利用して生産工程を構築する。

(課題) (第3回に引き続き) ロボット1台で製品の組み立て方法を学習させる。

(1) ロボットが組み立てやすいように、部品の取り付け順序を変更する。

(2) ロボットでは組み立てられない部品があればその部品をメモしておく。

(人間がまとめて行う作業とする。)

(3) ロボットの行う作業と人間の行う作業を分けて、ロボットあるいは作業者が連続して作業するように順序を変更する。

5.5.2.6 第5回実習課題 (2台のロボットを利用した生産工程の改善)

ここでは、2台のロボットを利用して生産工程を改善する。

(課題) ロボット2台を使い、生産性の高いラインを作る。(前回までの1台のロボットの作業順序を2台のロボットに分割する。)

ここで実際の作業場では、複数のロボットが1つの生産ラインに設定される理由として、人間の作業が必要である工程が存在すること、流れ作業にしないとサイクルタイムを短くできないため、生産量が多くできないこと、などに気付かせる。

5.5.2.7 第6回実習課題 (生産工程の分析と評価、及びまとめ)

ここでは、構築した生産工程の分析と評価、及びまとめを行なう。

(課題1) 成果の評価とまとめを行なう。(2台のロボットを利用した生産ラインについて、以下の項目を実施する。)

(1) 作業(取り付ける部品)の確認する。

(2) レイアウト(ロボット、作業員、部品など)を確認する。

(3) 作業時間(ボトルネック工程、サイクルタイム、リードタイムなど)の確認。結果を作業時間記入シート(図5-4)に記入させる。

(4) 作業員の削減によるコスト評価を行なう。

作業員 1名 500万円/年, ロボット 1台 200万円, 1日7時間, 1年 240日と仮定し, コスト評価シート(図5-5)に記入させる。

(課題 2) グループディスカッション ((1) から (4) に従って、問題点の発見と対策案を検討する。)

- (1) ロボットのハンドにどのような改良をすれば、困難な作業を行うことができるか? (対象とする作業と改良案は?)
- (2) ハンドの改良以外にどのような装置を加えれば、困難な作業を行うことができるか? (対象とする作業と改良案は?)
- (3) 部品を配置する方法や供給する方法はどのようにすればよいか?
- (4) 作業者の削減によるコストの評価を行なう。

(課題 3) プレゼンテーション ((1) から (4) に従って、資料をまとめさせる。)

プレゼンテーション用の資料の作り方を図 5-6 に示す。

- (1) グループ名、及び題目を記述する。
目的となる題目を考える。(目的に即した題目をつけさせる。)
- (2) 自分たちの考えた生産ラインの特徴を図に示す。
 - ・レイアウト図
 - ・作業の流れ図 (各工程の作業内容)
 - ・作業時間 (測定値) と各評価項目の記述
 - ・特徴や評価項目からの最終評価
- (3) 自分たちの生産ラインの問題点を記述し、その理由を説明する。
- (4) (3)の問題に対する解決案を説明する。そして、その解決案によって予想される結果を説明する。



課題の題目(目的)	
グループ名: ○○○○ メンバー: ○○○○, ○○○○, ○○○○,	
自分たちの考えた方法	
特徴 ・ ○○○○ ・ ○○○○ ・ ○○○○ ・ ○○○○ ・ ○○○○ ・ ○○○○	
評価値	
作業時間 ①○○○(秒) ②○○○(秒) ③ ○○○(秒) ④○○○(秒)	
サイクルタイム リードタイム	
バランスロス	
問題点	
・ ○○○○ ・ ○○○○	
自分たちの考えた改良案	
特徴 ・ ○○○○ ・ ○○○○ ・ ○○○○ ・ ○○○○ ・ ○○○○ ・ ○○○○	
評価値	
予想作業時間 ①○○○(秒) ②○○○(秒) ③ ○○○(秒) ④○○○(秒)	
サイクルタイム リードタイム	

図 5-6 プレゼン用資料の作り方の説明図

5.5.3 アンケートと成果物の評価

授業の最後にグループ単位でのプレゼンテーションを行ない、評価したところ、次の特徴の生産工程案が提案されていた。

- ① ロボットと人間の作業における工程分析を行ない、生産効率を高める生産プロセス
- ② コスト面の対策を行なった工程
- ③ ロボットハンドの改良案を含めた工程
- ④ 部品供給方法を考慮した生産工程

図5-7に生徒の制作したプレゼンテーションの資料の一例を示す。図5-8は図5-7の生徒の一例についての実際のレイアウトの写真とプレゼンテーションの資料における生産工程のレイアウト図を示す。

全班がロボットの実機を利用した組立てラインの設計ができており、レイアウト図の作成、及びプレゼンテーションにおける発表内容、資料から学習目標に対して生徒の全員が到達したと判断した。

しかしながら、SIer検定の類似問題テストについては、本実習の初回実施時の平均57.3点、実習最終回58.3点で、実習の開始前と最後に顕著な差が無かった。

人間とロボットのラインの作成

グループ名: コボッターズ メンバー: 高橋慶 加藤碧空 和久井建輝

自分たちの考えた方法

特徴

- ・コボッター×2, 作業員×2
- ・業体いい作業は人にやらせた。
- ・パーツをスポンジに押しつけて型をつけた。
- ・人とコボッターを近づけて効率を上げた。

評価値

・作業時間 ① 1'30" ② 45" ③ 1'34" ④ 48" ・サイクルタイム 1'34" ・リードタイム 6'16" ・バランスロス 26.3%

問題点

- ・アームの幅がたりない
- ・タイヤのゴムがつけづらい
- ・人がロボットにパーツの位置を記憶させるのが大変

自分たちが考えた改良案

特徴

- ・パーツをはこびロボットを増やした。
- ・コボッターにカメラをつけた。
- ・いろんなパーツの取り付けがしやすいアームをつけた
- ・全自動化にした。＊品質の確認も全自動化できる。

図5-7 生徒の制作したプレゼンテーションの資料

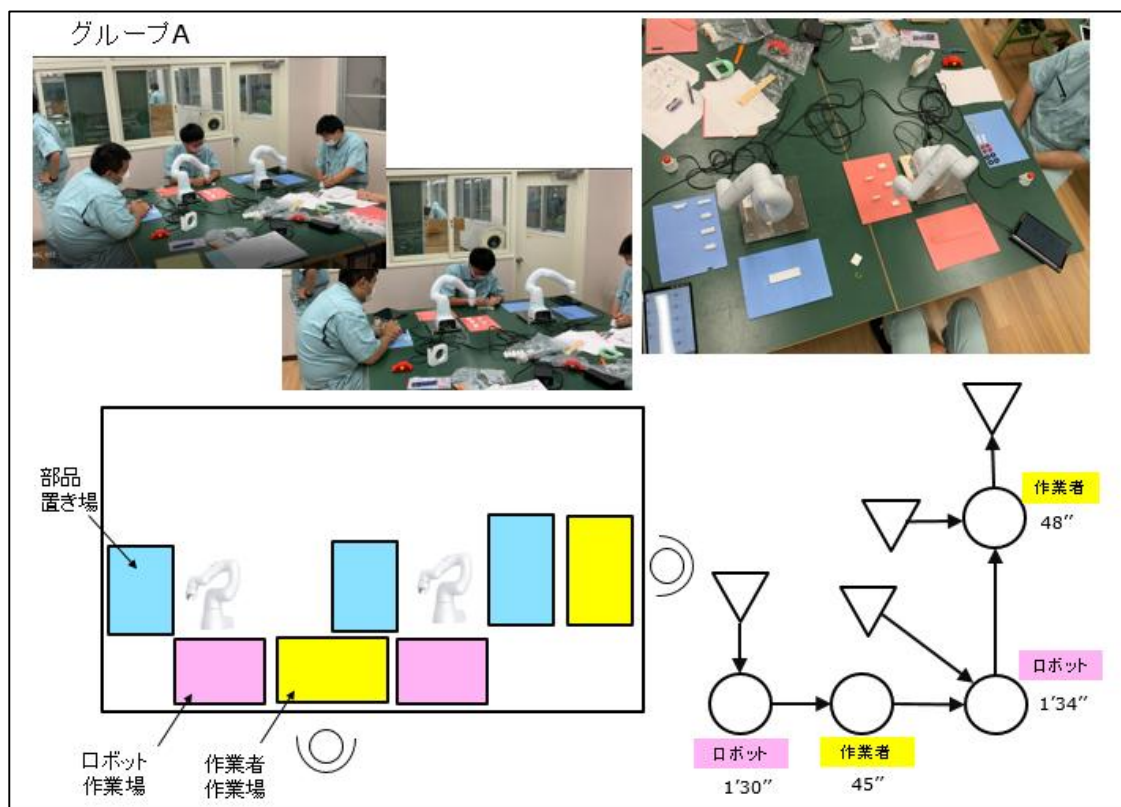


図 5-8 生産工程のレイアウト図とレイアウトの写真

表 5-4 に各生徒の各回の達成度，表 5-5 に各生徒の各回の関心度，表 5-6 に各生徒の各回の理解度を示す。表 5-4，表 5-5，表 5-6 を対比させることにより，個々の生徒の実習に対する積極性や理解能力の差を認識できるが，成果物（プレゼンテーションでの発言内容，レポート等）で見ると 6 名の実習に対する成果は同じ程度と判断する。

表 5-7 に各回の演習項目に対する達成度の自己評価平均（授業を受けた生徒 6 人の平均値）と，各項目に対する生徒のよくわからなかった点，逆にうまくいった点，あるいは，意見・感想の抜粋を示す。コメントの最後に達成度の自己評価点を示す。ここでの評価点は 5 段階とし，5 が大変よくできた，4 ができた，3 がどちらでもない，2 があまりできなかった，1 ができなかった，とする。また，コメントは著者による修正を含む。

表5-4 各生徒の各回の達成度 (5点満点)

	A	B	C	D	E	F
第1回	4.0	2.8	3.8	3.8	3.4	4.0
第2回	4.0	3.8	4.3	4.3	4.3	4.8
第3回	4.8	4.5	4.8	5.0	5.0	4.0
第4回	4.5	3.5	4.5	4.5	5.0	3.5
第5回	4.0	3.5	4.3	4.8	4.8	4.5
第6回	4.7	4.4	4.7	4.9	4.7	欠席
平均	4.3	3.7	4.4	4.5	4.5	4.2

表5-5 各生徒の各回の興味・関心度 (5点満点)

	A	B	C	D	E	F
第1回	4	3	4	4	5	5
第2回	5	4	4	5	5	5
第3回	5	5	4	5	5	5
第4回	5	5	4	5	5	4
第5回	5	5	4	5	5	5
第6回	5	5	5	5	4	欠席
平均	4.8	4.5	4.2	4.8	4.8	4.8

表5-6 各生徒の各回の理解度 (5点満点)

	A	B	C	D	E	F
第1回	4	2	5	4	4	4
第2回	4	3	4	3	5	4
第3回	5	4	4	5	5	5
第4回	5	4	4	5	5	4
第5回	4	4	4	5	5	5
第6回	5	5	5	5	5	欠席
平均	4.5	3.8	4.5	4.5	4.8	4.6

表 5-7 各演習項目に対する達成度の自己評価平均, および生徒のコメントの抜粋

回	項目	評価	生徒のコメント(抜粋)
1	1 S1er概要説明は理解できたか	3.5	・ロボットの利用目的について深く理解できた(評価:4)
	2 組立実験は理解できたか	4.7	・実際の作業ができて楽しく理解できた(評価:5)
	3 BOMは理解できたか	4.5	・BOMを作ることで効率化できることを知った(評価:5)
	4 BOMは作成できたか	3.7	・組み合わせに迷ってしまった(評価:3)
	5 S1er評価テスト(S1er検定3級類似問題)はできたか	1.8	・初めての単語が多く分からなかった(評価:2)
	第1回全体の興味・関心	4.2	
	第1回全体の理解	3.8	
2	1 組立作業を上手くできたか	4.7	・回数を重ねる度、時間を縮められた(評価:5)
	2 MTM法は理解できたか	3.0	・理解はできたが実際に行うのは難易度が高い(評価:4)
	3 作業手順の組み替え方は理解できたか	4.7	・自分なりに失敗しやすい箇所に留意して取り組めた(評価:5)
	4 作業手順の組み替えはうまくできたか	4.5	・作業の改良で作業時間が91秒から49秒に削減できた(評価:5)
		第2回全体の興味・関心	4.7
	第2回全体の理解	3.8	
3	1 作業の順序立てをスムーズにできたか	4.0	・試行錯誤しながらスムーズになるよう考えた(評価:5)
	2 部品の位置まで上手く動かすことができたか	4.7	・ずれると失敗するため微調整をし、位置を決めた(評価:4)
	3 部品を指定の位置にうまく取り付けることができたか	5.0	・調整が大変だったがうまくいった時はうれしかった(評価:5)
	4 部品同士の干渉を上手く回避しながら組付けられたか	4.7	・部品をつかむ位置を工夫して干渉しないようにした(評価:4)
		第3回全体の興味・関心	4.7
	第3回全体の理解	4.7	
4	1 考えた通りにCOBOTTAを動作させることができたか	4.0	・取り付けが難しいパーツの微調整が大変だった(評価:4)
	2 組み立てる際に工夫することができたか	4.5	・中間製品の作成で手作業の部分を減らした(評価:4)
		第4回全体の興味・関心	4.7
	第4回全体の理解	4.7	
5	1 サイクルタイムと生産性の関係を理解できたか	3.8	・サイクルタイム次第で生産性が上がると分かった(評価:4)
	2 リードタイムについて理解できたか	3.8	・バランスが重要なことを理解した(評価:4)
	3 人とロボットが行う作業の区別は理解できたか	4.5	・簡単な所はロボットで行い複雑な所を人間がする(評価:5)
	4 効率よくティーチングの作業はできたか	4.5	・2台のロボットの作業時間がほぼ統一できた(評価:4)
		第5回全体の興味・関心	4.8
	第5回全体の理解	4.8	
6	1 これまでの成果について		
	a) 作業手順とレイアウトを確認することができたか	4.8	・ロボットと人の差からバランスロスが発生した(評価:5)
	b) 作業時間を確認することができたか	5.0	・時間はかかってしまったがバランスはよかった(評価:5)
	2 グループディスカッションについて		
	a) ロボットハンドの改良案を話し合うことができたか	5.0	・ハンドの形状のアイデアを出せた(評価:5)
	b) ハンド以外の改良案を話し合うことができたか	4.6	・出てきた案の中から必要な所を絞り込めた(評価:5)
	c) 部品配置や供給方法を話し合うことができたか	4.6	・生産性をあげる供給方法を考えた(評価:5)
	d) プレゼンテーションの資料を考え通りにまとめられたか	4.6	・図を大きく見やすくすることができた(評価:5)
	3 上手くプレゼンテーションを伝えることができたか	4.2	・図を使って分かりやすくてよかった(評価:5)
		第6回全体の興味・関心	4.4
	第6回全体の理解	5.0	
5:大変よくできた, 4:できた, 3:どちらとも言えない, 2:あまりできなかった, 1:できなかった			

5.6 提案法の問題点と対策案

実習における生徒の観察状況や生徒の提出したレポートと表5-7の自己評価の対応付けから、単にスライドの提示や説明だけでは理解は困難であり、実機を活用することが有効であることが明らかになった。とくに教育機材である「協働ロボット：BRT-AG/CBT」を利用する第3回以降の実習から、理解度、興味・関心度についての向上が表5-4、表5-5、表5-6、表5-7からも明確に示されている。

また、テンプレートシートに記入させながらドリル的に課題をこなしていく方法もスムーズに演習を進められる要因になった。これに関しては、「作業時間の見積もり計算」についての実習学習を他の工業高校生に過去の研究授業において実施したところ、理解の困難度4.0（困難度を5段階で5が最も困難として履修者に評価させた。他の項目と合わせた実習全体の困難度平均が3.45であった。）であり、その理由に「問題の意味や内容がわからなかった」、「問題の解答案や対策方法が想像できなかった」を半数以上の生徒があげていた。とくに「BOM, MTMの作成について」におけるMTM法が難しく、実際の計算もよくわからなかった理由を挙げられ、本研究では、その対策案を実施した。

生徒の理解度や興味・関心度の向上、運用時の問題への対策案の実施はCCJMによるカリキュラム設計の効果と考えられる。とくに、実習の最中にトラブルが起きそうなポイントを予めタッチポイントとしてCCJMに設定することで、教師がタイミングよく生徒にアプローチでき、スムーズに学習した。具体例として、生産効率的にロボットがすべきではない複雑な作業に対し、生徒がやみくもに、ロボットにさせようとして学習の流れがストップしかけたケースで、教師のタイムリーなヒントにより生徒に気付かせ学習効果を高めることに繋がった。

以上の結果から、経験知から問題を考えさせる教授方法が必要であることがわかった。これより、専門知識の初期レベル者に対する「ロボットシステムを製造ラインに導入する実習」においては、より効果的な対策案として、実機をベースにしたドリル形式を取り入れ、経験的に解答の導き方がわかる方式を導入することが有効であると考えられる。一方、SIer検定問題に対しては「知識ベース」[1]学習をベースとしたドリル形式を取り入れ、専門知識の習得に取組む必要があると考える。

5.7 まとめ

本論文では、製造現場へロボットを導入する方法を考えさせる教育カリキュラムの設計において、SIerテクニカルカテゴリーの『生産・品質管理法』における工程分析能力、および生産プロセス提案能力などのとくに上流工程の技術要素の教育を目的とした「専門知識の初期学習者に対するカリキュラム」を提案した。今回、工業高校生を対象に適用するにあたり、論文[1]で提案した教育構造における指導方法に当てはめ、実施した。

また、本研究では教育カリキュラム設計を支援するためのカリキュラム作成ジャーニーマップ(CCIM)を開発し、今回の授業の設計に適用し、効果を示した。

今回の被験者である生徒は、専門ロボットの知識を有しておらず、生産管理、工程設計的な考えも経験がなかった。しかしながら、現実には工業高校卒業生のように、若く、製造現場の未経験者を短期間でロボットSIerに育成していく必要がある。

今後のロボットSIer教育の課題は、如何に短期間でプロジェクトマネージャー(PM)レベルに育

成できるかであり、PMを育成する効率的な実効性の高い教育プログラムをさらに検討する。

注意事項

[注1] サービス設計の際に顧客の行動文脈を旅（ジャーニー）のプロセスに見立てて可視化し、サービス全体の機能、把握する手法、タッチポイント（顧客接点）を示し、その上を顧客がサービスを利用したり、商品購入したりする行動を描いた図を指す。

参考文献

- [1] 間瀬好康 他：「ロボット産業人材の育成」, 日本生産管理学会論文誌, Vol.27, No.2, pp.30-37 (2020).
- [2] 間瀬好康 他：「ロボット Sier 育成に対する教育法の提案」, 日本生産管理学会論文誌, Vol.28, No.1, pp.45-54 (2021).
- [3] 日本ロボット工業会：「ロボットに命を吹き込む仕事」, <http://www.robo-navi.com/sier/index.html> (2018/12/7 閲覧).
- [4] 門田和雄：「科学技術高校におけるロボット教育のカリキュラム開発」, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.2, pp.133-139 (2013).
- [5] 近藤康雄 他：「地元企業と連携した PBL 教育『機械工学実践教育プロジェクト』」, 工業教育, 51-5, pp.31-36 (2003).
- [6] 佐藤和彦 他：「主体的学習を促す『与えない』演習の実践」, 工業教育, 61-3, pp.56-61 (2013).
- [7] 西 仁司 他：「組み込みシステムの理解に向けたロボット教育」, The 29th Fuzzy System Symposium (Osaka, September 9-11, 2013), pp.306-309 (2016).
- [8] 福田 守：「日本工学院八王子専門学校における実践的ロボット教育」, 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.1, pp.31-35 (2006).
- [9] 藤井隆司 他：「工学部における問題解決型授業の実践と効果の検証」, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.2, pp.161-168 (2013).
- [10] 経済産業省：「ロボットシステムインテグレータ（ロボット Sier）スキル標準シート [第一版]」 <https://www.meti.go.jp/press/2018/05/20180531008/20180531008.html> (2020/12/23 閲覧).
- [11] Lightworks BLOG：「インストラクショナルデザインをマスターして効果的な教育設計を実現」, <https://research.lightworks.co.jp/instructional-design> (2020/12/23 閲覧).
- [12] 鈴木克明：「インストラクショナルデザインの基礎とは何か：科学的な教え方へのお誘い」, 消防研修（特集：教育・研修技法）, 第 84 号, pp.52-68 (2008).
- [13] 鈴木克明：「インストラクショナルデザイナー—学びの（効果・効率・魅力）の向上を目指した技法—」, 通信サイエンスマガジン, No.50 秋号 2019, pp. 110-116 (2019).
- [14] 鈴木克明：「放送利用からの授業デザイナー入門」, 日本放送教育協会, pp.1-16 (1995).
- [15] Jim Kalbach: Mapping Experiences: A Complete Guide to Customer Alignment Through Journeys, Blueprints, and Diagrams (2nd Ed.), O'Reilly Media, pp.427-452 (2020).

第6章 多様な業種におけるロボット導入のための

SIer 教育法の設計と実践

6.1 はじめに

近年、国内では政府の支援の下、製造業を中心に産業用ロボットの導入が進められており、ロボットを利活用した生産設備を設計・製作するロボットシステムインテグレータ（以下、「ロボット SIer」と略記）の需要が高まっている。しかしながら、人材不足により、ロボットの導入が遅れているという現状がある。製造業におけるロボットの導入は、高い技術をもって進められているが、三品産業や介護福祉などの異業種に対しては十分進められているとは言い難い。とくに、超高齢化社会では介護問題は喫緊の課題であり、介護士不足のもと、介護福祉の分野にロボット導入を進める対策が必要と思われる[1]。

本研究では介護・福祉分野に着目し、ロボット導入に必要な考え方やロボット SIer として必要な知識・技術を検討するとともに、ロボット SIer としての人材育成のための方法を提案する。提案法を現実の教育の場に導入し、有効性を調べる。

6.2 新規分野へのロボット導入の課題

従来型の生産ラインへのロボット導入作業については、大量生産現場の溶接、塗装、組み付け作業への導入など、提供可能なサービスと必要とされるロボット機能の対応関係が明確であり、要求仕様が明確に提供される。これは、ユーザーが高度技術者、あるいは、企業であるため、ユーザーの技術スキルが高く、高いコストパフォーマンスが期待できることが要因である。

一方、新規分野へのロボット導入において、例えば、介護・福祉分野や三品産業の工場では、提供すべきサービスと必要とされるロボット機能の対応関係が不明確であり、ニーズや要求や仕様も明瞭ではない場合がある。さらに、ユーザーの技術スキルが必ずしも期待できず、費用対効果の評価は一般に困難であるため、現場に合わせるためのカスタマイズがコストの大半を占めている。

本研究では、超高齢化社会では介護問題は喫緊の課題となっている背景を踏まえ、介護・福祉業界に焦点を当て、この業種への量産型汎用ロボット導入を可能とするロボット SIer に求められる知識・技術を明らかにし、その育成方法を提案する。量産型汎用ロボットを利用することで、専用機化した介護ロボットに対し、コスト、納期の低減を可能とし、さらに、ロボット SIer 業務の拡張が期待できる。対象者は既に製造業の SIer 経験者だけでなく、ロボット導入を検討している介護関係者も対象とし、介護福祉分野への量産型汎用ロボット導入の促進を狙っている。

つまり、ロボット SIer の育成の戦略として、SIer 企業が製造業とは異なる分野にロボット導入を効率よく、低価格で行なえる仕組みをつくる。これにより、介護福祉分野で産業用量産型汎用ロボットを使用したシステムの要求・要件定義ができるロボット SIer の教育方法の開発を目的とする。

6.3 ロボット導入の介護重点分野と課題

介護分野ロボットの開発における重点分野は①移乗介助, ②移動支援, ③排泄支援, ④見守り・コミュニケーション, ⑤入浴支援, ⑥介護業務支援が挙げられる[2]. さらに, 過去の研究において次の課題を考慮する必要があると説明されている.

(1) 個人差の大きい被介護者と介護の特性

老化は遺伝, 生活習慣, 環境変化の影響を受けて個人差が大きい. このため, 「介護は人の手が一番」という考え方が現場に根強く存在する(北川[3]). 秋谷ら[4]は被介護者と介護者との間での複雑なコミュニケーション上で介護が成立していることを明らかにした. 秋谷らは予期的な調整行為をお互いがすることで介護は達成されると主張している.

(2) 介護ロボット自体の機能や性能 (安全性)

安全性を含めた介護ロボットの機能や性能の選択. つまり, ロボットとその被介護者, あるいは, それを作業する者が協働ロボットを導入するため, 安全化設計[5]が必要となる. 介護での複雑な作業が必要であるために, 製造業で導入するロボットとは異なる考え方, および現場での特徴を分析した上で適切な対策やロボットを選択し, 動作の方法を検討した上で導入する必要がある[6][7].

(3) 被介護者に対する医学・人間工学的な知識の獲得

医学, 生理学, 人間工学を配慮し, 人間性, 尊厳を最優先にしたシステムを構築し, いかにかサービスとして提供できるかを考える必要がある[8].

6.4 介護重点分野へのロボット導入事例における問題点と解決のコンセプト

介護重点分野における入浴ロボット, トイレロボットなどの先行開発事例として, 『ロボット導入事例』(厚労省: 介護ロボット導入活用事例集 2016~2018) [9] - [11]から, 「質の高い介護サービスの提供」や「介護従事者の負担軽減」等のニーズに対して導入されている介護ロボットは, 抜本的な解決になっていないと言える. 表 6-1 は事例集の例を示す. ロボット技術は高度ではあるが, 個々の事象に対する処置的なものに終始し, 介護従事者の視点から見れば, その介護業務の負担は軽減される. 一方, サービスを受ける被介護者の視点から見ると評価が難しい. これは, 被介護者のトータルライフに対してサービスを提供する仕組みが, 設計に十分に考慮されていないことが考えられる.

この問題の解決には, 「開発に被介護者や介護労働者をコンセプトづくりの段階から加え, 協働して開発を進めていくことが有効な手段である」 [12]という福祉機器の開発・導入に関する先行研究を介護ロボットシステムに援用する. ここで, ロボット Sler には介護の中でロボットを使う被介護者と介護労働者の体験や経験を学習することができ, 被介護者や介護労働者と協働してロボットをカスタマイズする仕組みが必要と考えられる.

一方, 導入事例における介護ロボットは専用機化されており, 量産型汎用ロボットを活用し, インテグレートした介助システムではない. つまり, ロボット Sler ではなく, 専用機設計者のデザインによるロボット機能のある専用装置であるため, 開発期間, コストに対する大きな問題が存在する.

量産型汎用ロボットを活用し, 被介護者や介護者の特徴を評価し, 個別化に対応するロボットシステムを構築するには今後, 市場に提供されるモジュール化された RT 要素 (RT コンポーネン

ト) [注 1]群を利用することが有効である。これにより、特性に応じてロボット **Sler** が要素を組み合わせ、独自のハードウェアやソフトウェアを組み込み、カスタマイズすれば、仕様・条件変更があっても特徴に依存したシステムを提供できると考えられる (図 6-1)。

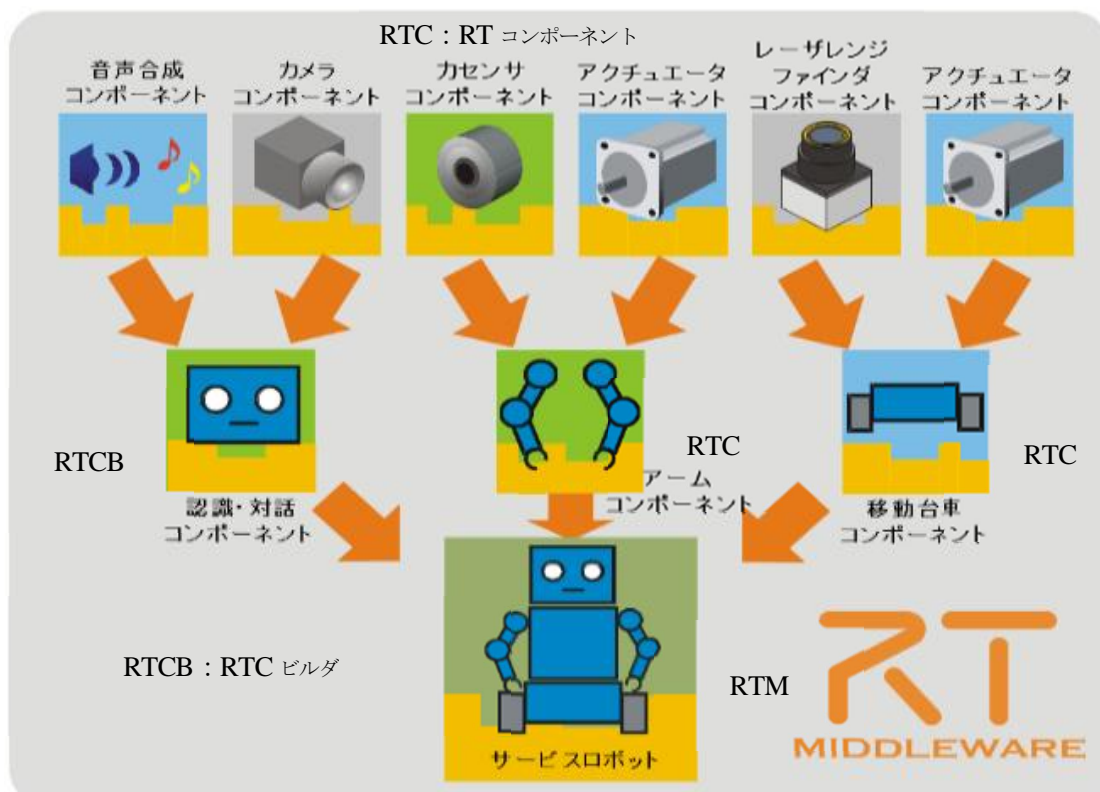


図 6-1 RTC と RTM のイメージ図[13]

出所： Open RTM-aist [13]より筆者加筆・修正

表 6-1 介護ロボット活用事例と問題点 (要点) [9] - [11]

分野	ロボット導入目的	ロボット導入事例	問題点
① 移乗介助	移乗介助時の身体的 (腰痛等) ・精神的負担状況を改善したい。 [9]	ロボット介護機器「S」の二本のアームで専用シートの両端に差し込み、シートごと被介護者をベッドから抱き上げ、その状態で被介護者の姿勢を車いすに適した角度や高さに調整保持し車いすに着座。	ベッドや車椅子が S に合わない物がある。 コンパクト化・軽量化が望まれる。S では床からの介助ができない。
② 移動支援	・歩行不安定者への常時付添いの軽減。 ・利用者自身の自立度向上。 [9]	アシストウォーカー「R」は電動アシスト、自動ブレーキ、傾斜面での片流れ防止機能装備。不意の速度上昇時で自動ブレーキがかかり、転倒リスク大幅減。ハンドルに手を添えて歩くだけの簡単操作。	バッテリー消耗が早い。利用者や環境に合わせて設定変更したい場合、操作方法に戸惑いすぐに設定できない。
③ 排泄支援	トイレへの移動で転倒リスクがあるためポータブルトイレを設置し、汚物処理や臭いの問題を解消したい。 [10]	水洗ポータブルトイレ「K」は、真空吸引力を利用し、1回 500cc の少量の洗浄水を使用。汚水の排水方法は 2 種類選択でき、汚水を密閉容器に複数回 (6 回分) 貯留する方式と直接下水に流す方式がある。	K の有用性は排泄姿勢や清拭の点から排便時にあるが、立位がとれない利用者に使えない。
④ 意思伝達支援	患者の「トイレ」や「水が欲しい」等の要望を何度も確認しなくても分かるようにする。 [10]	意思伝達装置「RI」は眼球の動きを検知する画像解析技術で、iPad 画面上に表示されるボタンを見るだけでメッセージを送信できる。	視線初期化処理がうまく出来ない患者が利用できるように、さらに認識精度を上げる必要あり。
④ 見守り支援	要介護者の起床時動き出し・起き上がり・端座位を検知し転倒・転落事故リスクを低減する。 [11]	見守りライフ (M) は、既存ベッドの 4 脚にセンサを敷き、各センサからの荷重情報により、ベッド上の動きを検知し、ナースコール、パソコン・スマートフォンに表示・通知する。	利用者の入替わり時のベッド移動に伴うセンサ取付け時にベッドを持ち上げなければならず負担大。
⑤ 入浴支援	ベッドサイドにバスベッドタイプを移動させて運用する。 [9]	ナノミストバスベッド (E) は要介護者のベッドサイドへ移動でき、寝たままの状態での入浴が可。超微細ミスト (500 ナノ) 使用により使用水量は少量の 500ml/。	夏場、E をベッドサイドに設置すると部屋の温度が高温になるのですぐに片付ける必要あり。

6.5 修得すべき知識・技術・能力と教育方法の提案

6.5.1 修得すべき知識・技術・能力

上記の背景からロボット S1er に要求される知識、技術や能力には以下が必要と考えられる。

- (1) 被介護者に対する医学、生理学、人間工学などの概略、及び介護業務全般の専門知識（リスクマネジメント、介護・介助など）。
- (2) 現状の業務を分析し、問題点の抽出とその解決となる具体的なロボットシステムの概要を設計できる能力（上流設計能力）及び、汎用を意識したモジュール化、さらに、既存装置、量産型ロボットに対するカスタマイズの技術。
- (3) ロボット用ミドルウェア「RT ミドルウェア (RTM) [注 2]」の知識（背景・仕様・機能）とロボットシステムの実装技術（コンポーネント化、リアルタイム制御、システム安全など）。

6.5.2 教育方法の提案

図 6-2 に示す製造現場を対象にするロボット S1er 教育構造に加え、前節(1)から(3)の教育を実現する方法を提案する。

前節(1)の内容は「教育構造」における基礎の知識ベースに設定する。e-Learning を用意するとともに介護業務に関する分類分けとその中に現れる現象や特性をキーワードで検索し、要点を即座に学習できる環境を作っておく。この段階で得た知識を次の実践ベース（Step1）の学習に活用することとする。留意点として介護現場を十分に理解させることが大切である。

前節(2)における上流設計能力育成については次章で詳細を述べる。

前節(3)における RTM の知識とモジュールを意識した構築技術を知識ベース内のスキル標準技術区分に当てはめ、他の専門要素と関連付けて学習する。具体的には以下の教育方法により実践することを考える。

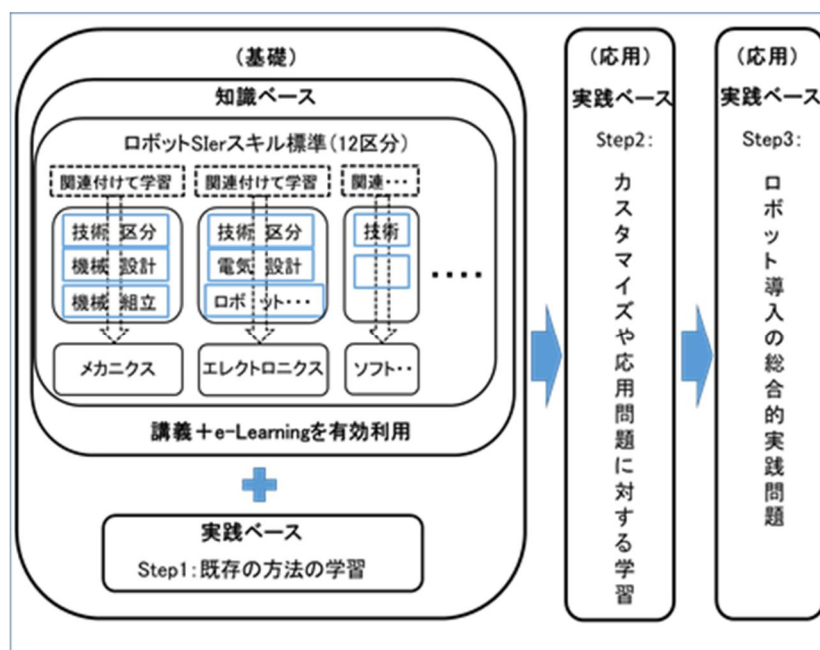


図 6-2 教育構造の概要図

【教育構造】 知識ベース+実践ベース (Step1) → 実践ベース (Step2) → (Step3)

これより、技術シーズに基づくロボットの実装と顧客ニーズの開発に基づく教育の双方向のOJT的カリキュラムを行う。また、ロボット技術の実装手順の体系化と歩調を合わせた「実践ベース」教育の実施を行なう。

「実践ベース」の教育 (Step1) ではシステムデザインの基礎力を習得することを目的とし、過去に行った既存の事例を課題に設定し、上流設計工程として、問題抽出、要求定義、要件定義、原因分析、解決案創造、機能展開、概要設計を学習する。具体的には、上流設計工程では介護状況のビデオを見せ、工程分析の方法、治具開発方法、周辺装置設計の仕方を含め、それらを教授しながら問題点の抽出やロボットへの置き換えをグループ討議、あるいはプロセスシートを通して問題解決する演習を実施する。

(Step2) では (Step1) で得たシステムデザイン力を応用し、実践力を習得することを目的とし、ロボットシステムを導入した介護・福祉分野の従事者からの意見の集約を行なう。現場の状況、ニーズを聞くことで、問題点の抽出やその解決策となるロボットシステムを提案する。そして、提案するシステムと既存システムとの差について、介護機器関係導入業者から評価を受ける。また、自分で現場を見て既存のシステムの改善設計・提案を行い改善案についての評価・検証を行う。

(Step3) では (Step2) の実践力をさらに高めることを目的とし、OJT (On Job Training) として、業務を通して、複合する技術を総合的に扱って学習する。

6.6 ロボット導入への上流設計とその教育方法

6.6.1 ロボット導入への上流設計能力

前節 6.5.1 (2) で述べた上流設計能力とは、施設での作業の状況や環境から、顕在的・潜在的問題を抽出し、現状に適したロボットのカスタマイズを設計できる能力である。そのためには、問題の原因分析を行ない、原因の妥当性を評価するとともに、対策案を考慮して可能とするロボットの効果的な導入と運用方法を分析し、システム構造設計に利用できる知識や技術が必要である。

6.6.2 解を導出するための教育方法

上流設計能力に対して、提案する教育方法として、段階を経て行う教育の仕組みを図 6-3 に示す。

第1段階では、問題を抽出し、現象から原因を見つけ、原因から解決法を求める教育を行なう。問題解決に至るまでの意思決定を誘導する仕組みとしてテンプレートシートを導入した。テンプレートシート中への記述では、対象者の視点で考えさせる。作業内容から問題点を発見し、その原因と解決方法を導出させる。ここで、実際の作業を意識させ、ロボットの設計の問題点を検討する。システムの構成を自分なりに解釈させ、運転時に生じる問題を意図させながらまとめることで繋がりをつけさせる。

第2段階としては、解決方法を導き出し、機能展開の段階に入る。これは解決案を目的とし、それをロボットに適応させたいとするならば、その解決案を実現するためにロボットに必要な動作・機能を考えさせる。シートを分ける理由は上記の内容を意図し、段階的に進めることを目的とするからである。

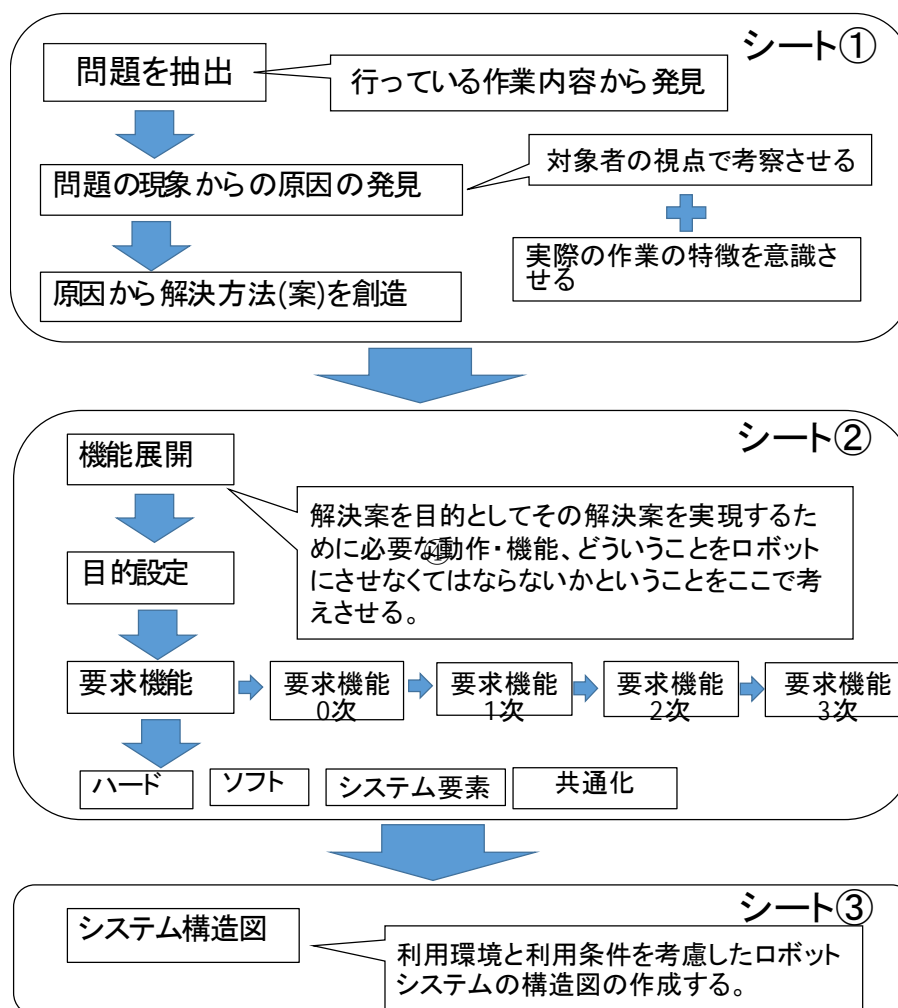


図 6-3 解を導出するためのアイデア構造

シート①は第 1 段階に対応し、現象から調べた問題点の抽出とその解決案の創造を行なう。

シート②は第 2 段階に対応し、ロボットに何をさせるかという考えから記述させる。その問題の解決案の創造とロボットの実現方法を考えさせる処理を段階に分けて行なう。

そして、最終段階となる第 3 段階ではシート③にイメージ図を作成（ただし、シート④のコスト、安全対策を考慮）することで、具体的に形状を作成し、再利用性を評価する。（図 6-4 から図 6-7 は問題の原因分析と解決案の策定に用いる 4 枚のシートを示す。）

この 3 段階において、それぞれ自分がどのような立場かを意識し、最終的な問題を解決するためのロボットの形状発案を手順に従って繰り返す、正解として導出できる仕組みを提案する。

6.6.3 テンプレートを利用した実施例

本研究では、要求分析から問題解決の対策の導出における意思決定のプロセスにテンプレートのシートを利用する。導出のプロセスは以下のステップ、及び、上流設計手順(i)～(iv)に基づき適切な案が出るまで反復実施する。

(ステップ I) : 問題抽出から要求の分析…手順 (i)

福祉施設における事業の問題点を抽出し、その原因と解決方法を検討する。
問題の抽出に業務のビデオを利用する。

(ステップ II) : 要件定義から機能具現化…手順 (ii)

ステップ I の結果について、グループディスカッションを行い、問題点とその原因の妥当性を評価し、対策案を検討する。対策案を目的とした機能を具現化し分類する。

(ステップ III) : 設計案作成…手順 (iii), (iv)

ステップ II で行った各自の改善案から、ロボットシステムの概念設計 (コスト、安全対策を含む) をする。

上流設計手順(i)～(iv)は下記に示す。

(i) 要求定義のまとめ (図 6-4 のシート①「仕様」が該当する。)

シートの特徴は問題点を多視点 (作業内容, 対象者に対し, ①無駄な作業・動作②もっと容易にできるか③作業者の支援必要の可否④危険性) から抽出させ, 問題解決の有効な原因から, 解決案を導出させることで要求定義を行ない (意思決定の操作), 要求機能をまとめるようになっている。

(ii) 機能展開による機能の具現化, 具現化した機能の分類 (図 6-5 のシート②「機能展開」が該当する。)

シート②ではシート①でまとめた要求機能を分類し, 各要素の具現化 (0 次～3 次) を進め, 必要なハード, ソフトを確認する。

(iii) 利用環境と利用条件を考慮したロボットシステムのイメージ図の作成 (図 6-6 のシート③「ロボットシステムのイメージ図」が該当する。)

シートの特徴は固定概念にとらわれずにイメージを自由に描くこととしている。ただし, 注書きにてイメージ図の詳細を説明する。

(iv) コストを削減した内容や処理の記述 (図 6-7 のシート④「コスト対策と安全対策」が該当する。)

シートへの記載時, コストについては設計の改良により削減効果を調べる。安全性については問題点を挙げさせ, その対策案を導出させる。ここで同一シートへの記述でコストと安全の関連付けを行なう。

(シート①「仕様」)…要求定義のまとめ

(1)から抜き出す					
優先度	作業内容	対象者	問題点	問題解決有効な原因	解決案
	食事介助	介護スタッフ	自分で食事できている人の隣にもついている。	あいまいなスタッフ配置。	食事ができない介護対象者の近くにスタッフを回し一人で食事ができるならそこには配置しない。
	連絡事項確認	介護スタッフ	持ち運ぶことができない。	紙媒体である。	データ化しみんなのスマホに共有することで紙媒体でコピーして人数分増やしたりすると用紙代が高くつくのに対してお得である。
	ペットメイキング	介護スタッフ	そこに二人つけている。	一人でできるのに2人でやっている。	一人でやる。
優先度	作業内容	対象者	問題点	問題解決有効な原因	解決案
(b) もっと容易にできそうな作業					
優先度	作業内容	対象者	問題点	問題解決有効な原因	解決案
1	介護者訪問	介護スタッフ	電話などの連絡で済むときもあるのに、出向いている。	毎度直接確認のためもあり、出向いている。	電話で一度確認しつつ大丈夫そうであっても頻度を減らしながら訪問はする。
2	連絡事項記入	介護スタッフ	いちいち書くのが手間	紙媒体である。	パソコンで打つ形にし、それを全員のスマホに送信する。
3	介護対象者の送迎	介護スタッフ	1人1人送ると時間がかかる。	1つの車に全員を乗せている。	家が近い人通しを同じ車に乗せる。

図 6-4 シート①「仕様」

(シート②「機能展開」)…機能の具現化,具現化した機能の分類

目的	要求機能(0次)	機能(1次)	機能(2次)	機能(3次)	ハード	ソフト	システム要素 (①,②,③)
介護者の口内ケア(歯磨き)を自動化する	口内状態	口内の精進化	赤外線カメラを用いて口内の精進を把握	状態化した口内の精進を3D	赤外線カメラ	映像データを3Dデータにするプログラム	① ③
		データ化	3D精進をデータ化	データ化したものを送信		データ取得・送信プログラ	③
	ロボットによる動作実行	データを取得	カメラからのデータを取得		ラズベリーパイ	データ受信プログラ	③
		データより、動作決定	データ情報から適切な動作を導く			動作決定・命令プログラ	②
		実行	決定された動作命令を実行する		ロボット		①
	口内精進	カメラで口内状態を把握			赤外線カメラ		①
		データ化	赤外線カメラからの映像データを読み込み		赤外線カメラ		①
			映像データから状態をデータ化			映像データから口内の状態を診断するプログラム	③
			状態データからケアの状態を診断				③
	結果表示	診断結果データを取得				ラズベリーパイ	データ取得プログラ	③
目的	取得したデータをパネルに表示	データ取得(描画)			ハード パネル	データ処理プログラ 描画用プログラ	③ システム要素
	要求機能(0次)	機能(1次)	機能(2次)	機能(3次)	ハード	ソフト	システム要素

図 6-5 シート②「機能展開」

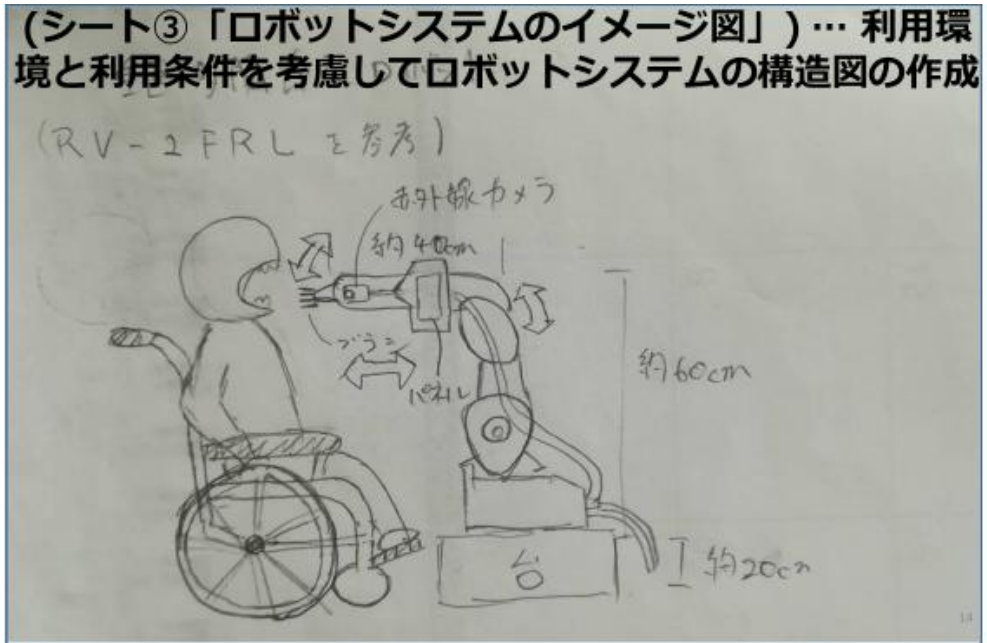


図 6-6 シート③「ロボットシステムのイメージ図」

(シート④「コスト対策と安全対策」) … コストを削減した内容や

コスト対策 コスト削減の対策案		1つ以上ならば可 コスト削減の内容	処理の記述
コスト削減の内容	対象とする物体・装置など	コスト削減の方法・処理	コスト削減の見積もり 削減の効果を (1)
口内構造把握の省略	赤外線カメラ	口内構造データを名前とセットで保存しておく	一度口内構造把握している介護者は口内構造の把握の手間を省くことができる 赤外線カメラを搭載しないバージョンのロボットを使用できる
複数人の介護者で共同使いにする	歯ブラシとその周辺	歯ブラシを簡単に替えられるようにする	ロボットを一人ひとりに用意する必要がなく、ロボット数を削減できる
他の介護補助機能を加える	制御プログラムや歯ブラシ	プログラムの追加や歯ブラシを他の物(箸等)に替える	他の機能を持ち、このロボットの価値を高めることで相対的にコスト削減と捉える
安全性の問題点	安全性の問題点	対象とする物体・装置など	コスト削減の方法・処理
介護者が動いてしまい、歯ブラシが歯茎等を傷つけてしまう	介護者が動いてしまった、もしくは痛みを感じたときに止められるボタンを備える		コスト削減の見積もり
照明の関係などで赤外線カメラが正確に口内を撮み取れず、誤った動作命令をしてしまう	動作の前に、処置の具体的内容をパネル表示し、介護者に確認させる		問題解決の対策案

図 6-7 シート④「コスト対策と安全対策」

6.6.4 大学学部教育への適用例

提案法を大学学部での演習に適用した。今回の課題の目的の一つは、介護の作業をいかに汎用ロボットに行なわせるかであり、汎用ロボットの動きについては事前にビデオによって学習させた上で要求定義、具体的なロボットの構成案を考えさせた。

適用した対象は名古屋工業大学社会工学専攻経営システム分野の学部3年生（30名）であり、全5回の演習科目に適用した。ここで、限定された学生に対して適用する意味は、教育効果を分析する上で経験値等の外的要因の影響の少ない母集団とするためである。これにより、提案法の有効性の検証、問題と原因の明確化に対する精度が高まると考える。

第1, 2回では提案する設計方法を利用せずに「要件分析」を行い、機能要件からロボットおよび利用方法に関するロボットシステムの概念設計を試みた。

第3から5回では提案する設計法を実施した。レポート報告を評価（概念設計図の評価を3点満点で行なう）したところ、ロボットの設計の経験のない学生でも要件定義に対する概念設計ができていた。表6-3に作業項目の内容、図6-8に作業項目に対する難易度アンケートの結果、表6-4に概念設計図の成績結果を示す。ここでグループAは上位作品提出者10名、その他の20名をグループBとした。

また、作業項目に対する難易度の感想を5段階で評価してもらった。概念設計図（ロボットシステムのイメージ図）やアンケート結果から提案する教育方法の有効性が得られていた。グループAの概念設計図の評価において提案法の有効性が顕著に表れていた。作業項目に対する難易度アンケート結果から、第1, 2回の課題で①～⑦と提案する教育方法に従った⑧～⑮を比較した。一部の項目を除き、⑧～⑮で全体に難易度は下がっていた。とくにグループAにその傾向が見られているが、いずれにしても被験者の学生にとって未経験の課題のため難しいという印象があることは予想される。

表6-3 作業項目の内容

No.	回数	作業項目
①	1,2	問題点の抽出
②	1,2	問題点の原因の調査
③	1,2	問題点の解決方法の導出
④	1,2	ロボットに与える要求機能の導出
⑤	1,2	関連装置(ハードウェア)に関する要求機能の導出
⑥	1,2	ソフトウェアや制御装置に関する要求機能の導出
⑦	1,2	ロボットシステムのイメージ図の作成
⑧	3	ビデオを視聴しての問題点の抽出
⑨	3	目的別の現状分析と問題点の抽出
⑩	3	目的別の問題分析と解決案の策定
⑪	4	グループディスカッションによる解決案の改善
⑫	5	仕様の決定
⑬	5	機能展開
⑭	5	ロボットシステムのイメージ図の作成
⑮	5	コスト評価

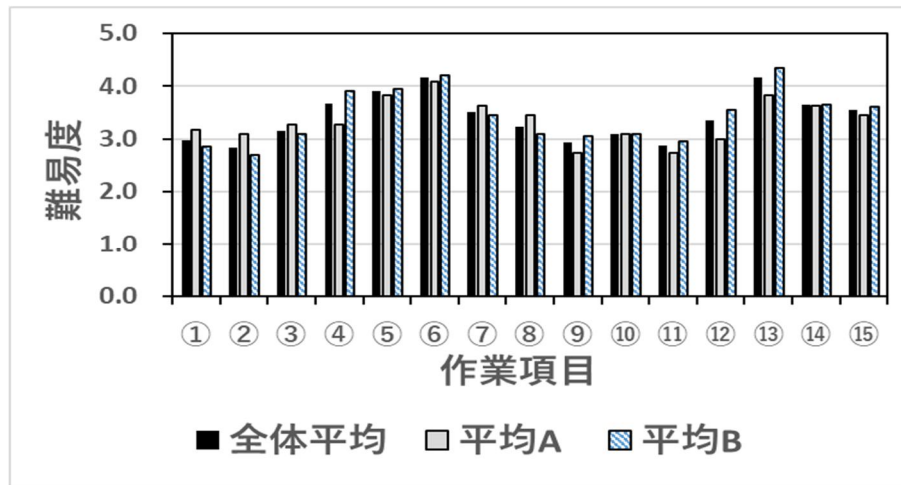


図 6-8 被験者による作業項目に対する難易度の評価

表 6-4 概念設計図（システムイメージ図）の成績結果

作業項目	全体平均	成績優秀者 (10名)平均
⑦ロボットシステムのイメージ図の作成(第2回)	1.3	2.0
⑭ロボットシステムのイメージ図の作成(第5回)	1.7	3.0

6.6.5 提案法の問題点と対策案

提案する教育方法に対する学生の主な意見を表 6-5 に示す。意見 I と II から、問題点の発見や解決案の作成にビデオの視聴の効果が得られている。一方で意見 VI, VII から具体的な解答例が思い浮かばない状態が理解できる。

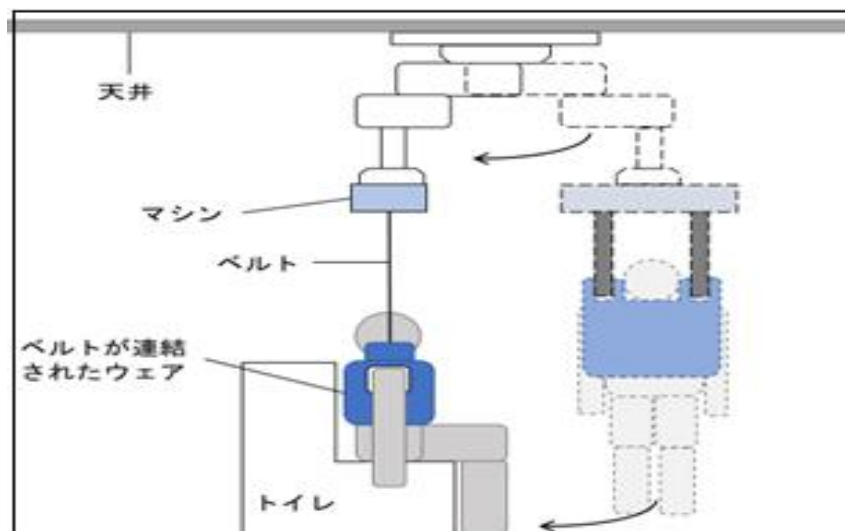


図 6-9 概念設計図に関する学生の作品例（ロボットシステムのイメージ図）

表 6-5 教育方法に対する学生の主な意見の内容

No.	意見の内容	該当作業 項目番号	人数
I	ビデオにより作業が具体的にイメージでき、一歩進んだ問題点（見えない本質的なこと）を見つけやすい。	⑧	11
II	ビデオによりロボットの機能と性能が理解しやすい。	⑧	7
III	シートの記載項目がフレームワーク的に誘導されるため合理的な設計手法でよく理解しながら進められる。	⑨⑩⑫ ⑬⑮	10
IV	シートを反復使用することでドリルワーク的に合理的な設計手法が身につく。	⑨⑩⑫ ⑬⑮	10
V	シートにより、具体的事象、対策等が抽象化（モデル化）され、標準化しやすい。	⑨⑩⑫ ⑬⑮	5
VI	解決案や対策はわかるがロボットシステムに変換させる方法がわからない。	⑦	10
VII	問題の解答案や対策案がわからない。	③	9

これは学生の具体的な解答例に対する知識不足が原因と思われるため、解答例や人の意見を知る仕組みの提供が必要と考えられる。また、指導者側が予め問題点が存在する部分のヒントを教示する、あるいはビデオの中に注意書きで示すなどにより、付随する状況を考慮した問題点の解決方法を導き出すことができると考える。

意見Ⅲ、Ⅳ、Ⅴのシートに対する意見から、知識のない学生がシートの項目に沿って記入することで考え方を身に付け、意思決定の操作に至るまでをドリルワーク的に繰り返すことで設計能力向上に対する有効性が認められる。この意見は全学生の3分の1に相当する。しかしながら、残り3分の2の学生も含め、理解度の促進、レベル向上のために、今後、シートを利用しながらのグループワークにおける効率的なグループディスカッションの在り方について検討する必要がある。

6.7 まとめ

介護・福祉分野におけるロボットシステム導入においては、一般的な製造現場におけるシステムインテグレーション技術（RTC,RTM 開発能力を含む）をベースとした上で、とくに介護・介助に関する知識をもって介護現場関係者の潜在的なニーズ、現場の問題点を抽出する。その問題点に対し、ロボット、あるいは、専用機器を使用してどのような解決ができるかを考えられる能力が重要となる。

この能力を上流設計能力とし、ロボット S1er への教育方法を検討・試行・検証した。ロボットの専門知識の不十分な大学学部生の演習に提案法を適用したところ、提案法は新規分野へのロボット導入に有効であることを示した。つまり、上流設計工程における、システム開発の過程で、モジュール化を意識し、量産型汎用ロボットの活用を前提に、現場の顕在的・潜在的な問題点やニーズを現状映像、グループディスカッション・グループ協働により抽出、原因の妥当性を評価し、予想される課題を解決しながら反復的に設計していく手法が、介護福祉等の新規分野へのロ

ボット導入技術に有効であることを示した。今後、新規分野におけるロボットシステム導入拡張を可能にするためには、上流設計工程での本質的問題解決やモジュール化（汎用性を意識して最小のカスタマイズで適応できるようなモジュールの開発）の方法、過去の実績データの活用をすることでコスト、納期を抑える方法の検討が必要である。

注意事項

- [注 1] RT コンポーネント (RT-component) とは、ロボット構成要素、あるいは部品を指す。
 [注 2] RT ミドルウェア (RT-middleware) とは、ロボット、及びロボット技術 (Robotics Technologies, RT) を用いたシステムを構成する機器を制御するソフトウェア・モジュールの規格群を指す。

参考文献

- [1] 経済産業省：「ロボット新戦略」（2017）。
 [2] 厚生労働省：「ロボット技術の介護利用における重点分野」（2019年6月25日時点）。
 [3] 北川公子：『系統看護学講座専門分野Ⅱ：老年看護学（第7版）』，医学書院（2010）。
 [4] 秋谷直矩 他：「介護ロボット開発に向けた高齢者介護施設における相互行為の社会的分析」，電子情報通信学会論文誌 D， Vol.J90-D, No.3, pp.796-807（2007）。
 [5] 野方 誠：「医療福祉ロボットの安全化対策検討項目」，日本機械学会誌，Vol.106, No.1012, pp.26-27（2003）。
 [6] 斎藤之男：「医療・福祉ロボット」，日本ロボット学会誌，第8巻，第1号，pp.108-110（1990）。
 [7] 山海嘉之他：「ロボットスーツ HAL の安全技術」，日本ロボット学会誌，Vol.29, No.9, pp.780-782（2011）。
 [8] 羅 志偉：「人に優しい介護支援用ロボットの設計と制御」，システム/制御/情報，Vol.51, No.10, pp.458-463（2007）。
 [9] 厚生労働省：「介護ロボット導入活用事例集」（2016）。
 [10] 厚生労働省：「介護ロボット導入活用事例集」（2017）。
 [11] 厚生労働省：「介護ロボット導入活用事例集」（2018）。
 [12] 塚田淳史他：「福祉機器開発におけるボトルネックとその解決策：福祉機器開発事例の検証」，日本機械学会論文集（C 編），第68巻，第675号，pp.303-310（2002）。
 [13] Open RTM-aist：<https://www.openrtm.org/openrtm/ja/doc/aboutopenrtm/rtmiddleware>（2019/12/07 閲覧）。
 [14] 永井清他：「パワーアシスト機能を有する福祉ロボット・アシスト機器の機構と制御」，システム/制御/情報，Vol.44, No.12, pp.688-695（2000）。
 [15] 比留川博久他：「ロボット介護機器開発・導入促進事業」，第31回日本ロボット学会講演会 2013年9月4日～6日資料（2013）。
 [16] 谷江和雄：「ロボット市場を立ち上げるために」，東芝レビュー Vol.59, No.9, pp.9-14（2004）。
 [17] 安田寿彦他：「自立支援型移乗介助ロボットの研究」，日本機械学会福祉工学シンポジウム

- 2005 講演論文集 (2005.12.8~9, 津), pp.213-216 (2005).
- [18]鈴木貴他:「自立移乗支援システ 開発を目的とした人体と移乗システムに加わる負荷測定実験」 機械学会論文集 C 編, 68 巻, 674 号, pp.277-283 (2002).
- [19]鈴木貴他:「自立型移乗支援ロボットにおける 身体的負担の測定」, 福祉工学シンポジウム 2004 講演論文集, pp.169-172 (2004).
- [20]中村久他:「食事支援福祉ロボットの開発」, 日本機械学会東海支部「豊橋地区講演会」 講演論文集 (2002.8.24) No. 014-02, , pp.169-172 (2004).
- [21]藤崎正昭他:「高齢者・障害者用食事搬送自動ロボットシステム」日本ロボット学会誌 Vol.14, No.5, pp.619-623 (1996).
- [22] 生田幸士他:「福祉ロボットの安全性に関する統一的評価法の提案—危険性の定量化による安全設計対策の評価」, 日本ロボット学会誌 Vol.17, No.3, pp.363-370 (1999).
- [23] 生田幸士他:「福祉ロボットの制御に関する危険性評価法の提案」, 日本ロボット学会誌 Vol.19, No.1, pp.81-90 (2001).
- [24]鈴木貴他:「歩行支援ロボット」日本ロボット学会誌 Vol.14, No.5, pp.628-631 (1996).
- [25] K. Ikuta, A. Kawahara and S. Yamazumi:「Miniature Cybernetic Actuators Using Piezoelectric Device,」 Proc. of International Workshop on Micro Electromechanical Systems (MEMS'91), pp.131-135 (1991).
- [26] K. Ikuta, S. Makita and S. Arimoto:「non-contact Magnetic Gear for Micro Transmission Mechanism,」 Proc. of International Workshop on Micro Electromechanical Systems(MEMS'91), pp.125-130 (1991).
- [27] M. Fujie, et al. :「Advanced Technologies in Industrial Products for Elderly and Disabled People」 The 2nd Japanese-Nordic Workshop on Technologies for Elderly and Disabled People (1993-11).
- [28] M. Fujie, et al. :「Elderly-Machine Symbiosis,」 Proc. of The International Workshop on Biorobotics on IEEE's Human-Robot Symbiosis, pp.G 3-G6 (1995-5).
- [29] M. Fujie, et al. :「Improvement of Walking Rehabilitation System for Elderly」 Proc. of The IEEE's ICRA '95 Workshop WS 3, pp.32-39 (1995-5).
- [30]Y, Kishi, et al. :「Pas- sive impedance control with time- varying impedance center 」 Proceedings2003IEEE InternationalSymposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, pp.1207-1212 (2003).
- [31]MSvinin, et al. :「Reaching movements in dynamic environments : How do we move flexibleobjects ?」 IEEE Transactions on Robotics, Vol.22, No.4, pp.724-739 (2006).
- [28]S. O'Connell et al. :「 A user's perspective on the handy l systerrl 」 proceedings of sixth International Conference on Rehabilitation Robotics, pp.115-121 (1999).
- [32]S. Dubowsky et al. :「PAMM – A robotic aid to the elderly for mobility assistance and monitoring:A“helping-hand” for the elderly」 Proceedings of the 2000 IEEE International conference on Robotics & Automation, pp.570 -576 (2000).
- [33]D.J.Reinkensmeyer et al. :「Can robots improve arm movement recovery after chronic brain injury ? A rationale for their use based on experimentally identified motor impairments 」 Proceedings of sixth International Conference on Rehabilitation Robotics, pp.9-15 (1999).

第7章 SIer 教育事業における多様な技術の学習に対する効率的教育

運用法の開発

7.1 はじめに

日本国内では Society5.0 として、ロボットや AI 技術を産業や社会生活に取り入れることで多様な社会的ニーズに合った問題解決の取り組みが行われている。製造業においては、多品種生産を短納期で行えるマスカスタマイゼーションの生産システムの開発が進められているとともに、国内における労働者人口の減少やエネルギー費や人件費などの高騰に対する原価削減の対策として取り組まれている面が強い。

とくに、ロボットの製造工程への導入は人材不足や稼働時間の確保のため積極的に進められている。工場へのロボット導入においては、ロボットと生産工程を同時に扱い、既存のロボットや生産装置をカスタマイズして生産ラインを構築するため、専門の業者に依頼するが多い。

ロボットの現場導入を担当する業務およびその人材はロボットシステムインテグレータ（以下、ロボット SIer と略記）と呼ばれており、ロボット SIer の業務を専門に行う企業は多数存在する。このロボット SIer の企業が事業を効率的に行うことができれば、国内の工場の自動化が広まることは容易に予想できる。

一方で、国内のロボット SIer の企業の多くは中小企業の規模であるため、現在の拡大するロボット需要に応え切れていない。このため、ロボット導入を促進するためにはロボット SIer の事業を継続的な視点で経営活動を発展させていく対策が必要であると考えられる。

本章では、ロボット SIer の事業を継続的、かつ発展的に運用する方策を検討する。国内中部地区の複数のロボット SIer 企業へインタビューを行い、事業の特徴や運用の問題点から、継続的に事業運用を行うための経営活動の方法として、人材育成を含めた人材の技術マネジメントと業務管理の方法を検討する。

7.2 ロボット SIer 事業の特徴と継続的な事業運用の問題

第2章では中部地区のロボット SIer 企業の6社について、ロボット SIer であり、かつ、管理的立場の方にインタビューを行った。インタビューでは、ロボット SIer の事業の切掛け、コア技術と特異な事業、企業規模、SIer 技術者の人数とレベル、導入対象とする市場・業種、発注から導入までで発生する問題などを質問した。

ロボット SIer、およびその企業の主な事業は、受注元の企業の工場の生産ラインに適合するように既存のロボットをカスタマイズして導入することにある。このとき、ロボットや生産ラインの企画、設計、実装、テスト、運用まで、ロボットに関する設備を統合し、組み立てることがロボット SIer の業務の対象となる。通常、ロボットや関連装置は市販の装置を利用し、自分たちでカスタマイズする。

ロボット SIer はロボットシステムの企画、設計、開発、実装、テスト、運用から構成される一連の業務を担当するため、必要とする知識は非常に広い。具体的には、機構学を主とする機械設計、制御回路設計、制御プログラム、AI などのソフトウェア（画像解析処理を含む）など、メ

カニクス、エレクトロニクス、ソフトウェアの全技術が必要である。さらに、工程分析・設計や生産ラインの構築の技術、リスクアセスメント技術、要求定義を抽出し、仕様を具現化できる技術など、システム開発で必要とする技術や知識も必要とする。

現在の国内のロボット Sier の各企業の規模は小さく、上記の広範囲にわたる技術を少数の技術者でカバーする必要がある。このため、人材不足の問題は全企業が抱える問題である。採用対象の人材も主に中途採用であり、多くの場合は専門とする技術はあるが、ロボット Sier としての広い技術を有する人材とは言えない場合が多い。

一方で、新卒者を採用した場合でも、高い専門技術をもった人材が入ってくる場合は少ない。

このような点で、ロボット Sier として業務が行なえる人材を短期間に効率的に育成することが企業の大きな課題となっている。しかしながら、ロボット Sier の教育はロボット開発の技術とは異なり、工場の特徴を分析、設計する能力や要求定義を抽出し、仕様を具現化できる技術などが必要なため、容易に教育できるわけではない。

また、ロボット Sier の業務を統括するプロジェクトマネージャー（以下、PM と略記）が Sier として必要な技術を有する人材だと各企業で判断しているが、インタビューをした企業はいずれも数名程度の PM しか存在していなかった。このため、人材の点で Sier 企業が事業を継続するためには、以下の対策が必要と思われる。

- (1) PM が行なえる人材を増やすこと、
 - (2) ロボット Sier に必要な技術に対して、異なる技術の専門性の人材分布を考慮して専門を有する人材を採用し、教育すること、
- が必要と考えられる。

7.3 ロボット Sier 企業の運用の問題点と対策案

第2章でのインタビューから、各企業ではコアとなる専門技術が異なるため、専門技術に合った受注を受けることが、受注獲得の強みとなっていることがわかった。この技術はロボット Sier の事業以前の事業を行っていた際に習得した技術を発展させた場合が多い。とくに、中部地区では自動車関連企業の顧客による高い要求に対応することで、製造方法に関する技術を高めたケースや、創業時の専門技術を企業コアな技術として発展させたケースも多い。これより、Sier 企業は個々に得意とする異なる技術があるため、その技術分野を公開するとともに調整すれば、業務のバッティングを少なくし、技術者の負荷やコストが削減できると考えられる。

ロボット Sier 企業において最もトラブルが発生するケースは、上流工程での仕様を決定する業務や仕様確定後や実装時における設計変更の発生である。これは単に要件定義を抽出し、Sier が要件定義を具現化する技術が劣っていることが原因であるだけでなく、導入先の担当者がシステムの上流工程である企画・基本設計の知識が不足していることも要因である。

情報システムの開発の分野では、スパイラル開発やアジャイル開発などにより、開発の短期間化や要求機能と実装レベルの乖離を無くすしくみを構築しているが、ソフトウェアだけではなく、設備や装置の開発を含むロボットシステムにおいて、再設計と実装の繰り返しを継続している状況は容易ではない。その一方で、先端の技術を必要としない設備や構造で実現できるのであれば、過去の設計情報の再利用で開発の期間短縮や安定した設備の開発ができることが考えられる。これより、過去に開発した設計や実装した情報や装置の再利用を容易にできるしくみと、そのしく

みを活用できる技術と知識を学習できる教育方法が必要と思われる。

7.4 事業継続のためのロボット Sier 事業の取り組みと生産マネジメント法の検討

上記ではロボット Sier としての運用の問題点と対策の方針を提案した。しかしながら、需要に対して Sier 企業の人材が圧倒的に不足しており、どのような対策を想定しても、効果的な技術者の配置は困難である。前章では、効率的な人材育成の方法の必要性を示したが、現在では人材を採用することが困難であることや十分な育成が期待できない場合も存在するため、上記だけではロボット Sier 業界を継続に発展させることは困難と思われる。したがって、その対策としてロボット Sier の業務を分割し、他の業者に任せることで従事者を広げることが考えられる。

ここでは、ロボット Sier 企業とともに導入実績のある企業を連携させる方策として、以下の2種類の運用方法を考える。

- (1) ロボット Sier の事業を専門とする独立した企業や組織による提供。
- (2) 自社で独自、もしくは Sier 企業と共同して導入した実績に基づく設計・分析・実装の技術や開発済みシステムの提供

前者は従来のロボット Sier の企業であるが、後者は企業の生産技術や設備管理の部署が自社のロボット導入に関する技術や既存システムを提供する事業を立ち上げることに相当する。とくに、後者では自社での成功事例を当てはめることで工場の現場からの視点での運用が行えるものと思われる。

ただし、発注元から受注を受けた企業、あるいは自社で、ロボットシステムを構築する担当部署では、ロボットシステム全体の構造と仕様を把握し、技術的保証を行なうプロジェクトのコーディネーターの役割を担う PM が必要となる。このため、PM はロボットシステム全体の技術とマネジメントの技術や知識を取得する必要がある、それを効率的に学習するカリキュラムは必要である。

さらに、Sier 企業間で情報ネットワークを構築することで、受注元の案件に対して得意な技術を有する Sier 企業を選定することができ、Sier 企業やネットワークを構成する組織について付加価値を与えることができる。さらに、導入実績のある企業にもネットワークを広げることで、自社に導入した装置の転用や拡張だけではなく、Sier 企業で問題とされた上流工程での仕様決定や要件定義の抽出を生産工程全体の視点の案や企業間での乖離の少ない案を提案できる業務を担当することができると思われる。

効率的な人材育成のためのプログラムやコンテンツ作りを進め、各種教育機関の学科などにコンテンツや教育方針の一部に適用することや、実際のロボット Sier 企業での人材育成に利用することを検討している。

現在のロボット Sier の需要は多く、その一方でロボット Sier の技術を持つ人材(とくに、PM になりうる人材)が少ない。

ロボット Sier を事業とすることで、Sier となりうる技術者を用意できない企業に、短期間、低コストでロボットを導入する環境を提供することができる。事業とする運用形態として以下の2つが考えられる。

- (1) ロボット Sier の事業を専門とする独立した企業や組織による提供。
- (2) 企業で導入したロボットシステムの設計・分析・実装の導入技術と開発済みシステムの提供

前者は従来のロボット Sier の企業であるが、後者は企業の生産技術や設備管理の部署が開発技術とともに自社のロボットシステムを提供することでサブ事業を立ち上げることに相当する。前者ではロボット導入を専門としており、導入先の機能要件や仕様、工程設計から考えられるが、後者は自社での成功事例を当てはめて、カスタマイズする。

現在、国内で促進を進めているロボット Sier 事業について、その特徴と問題点を示すとともに、国内製造業が競争力を高めるための方策として、ロボット Sier 事業を継続的に進めるためのビジネスモデルを提案する。このモデルでは、複数のロボット Sier 企業をハブ、国内企業の生産技術部署をスポークとするハブ&スポークのネットワークに基づく生産マネジメントのしくみを構築する。このモデルを提案することで効率的な事業運用を実現する仕組みを検討する。

作業者の確保が困難である場合ではロボットの製造現場導入が有効であるが、ロボット導入にはコストや幅広い専門技術が必要であり、この点で中小企業を中心に導入が困難な場合が多い。このため、中小企業でロボット導入を普及させるためには、生産工程の必要な部分を分析し、適切なロボットを導入することでコストと導入期間を抑えることが必要であり、このためには工場の問題点を分析し、適切な対策を提案できる能力や技術差が必要である。このような技術者は導入先の企業に存在し、継続的にカスタマイズを続けていくことが望ましい。

7.5 ロボット Sier 事業における人材育成の問題

ロボット Sier およびその企業は、受注元の企業の工場の生産ラインに適合するようにロボットをカスタマイズすることで現場に導入する。このとき、ロボットや生産ラインの企画、設計、実装、テスト、運用までのロボットに関する設備を統合し、組み立てることがロボット Sier の業務の対象となる。ロボットや関連装置は市販される装置を利用し、自分たちでカスタマイズする。

たとえば、ロボットの把持方法は生産ラインや製造対象の製品などの特徴から決定されるため、Sier 企業で工程の特徴を判断してハンドを作成する。ロボット Sier はロボットシステムの企画、設計、開発、実装、テスト、運用から構成される一連の業務を担当するため、必要とする知識は非常に広い。技術の点から見てもメカニクス、エレクトロニクス、ソフトウェアの全技術が必要である。さらに、生産ラインの分析や工程設計の技術、リスクアセスメント技術、要求仕様の具現化も含めた営業技術など、システム開発で必要とする技術者や知識も必要とする。

しかしながら、現在の国内のロボット Sier の企業の規模は小さいため、上記の技術を極少数で賄う必要がある。現在のロボット Sier の事業の需要増加に対して、短期間で技術者を増やすために、文系の新卒者や未経験者、あるいは工業高校新卒の若年者も採用の対象とし、効率的に人材育成を行うことが要求されている。

経済産業省では Sier 企業の技術向上と事業促進のためロボット導入実証事業を、また、ロボット工業会では Sier 育成事業を支援し、補助金を提供しているが、これらは各企業での独自の技術開発を通して、人材の教育を行う取り組みであり、業界全体に対して体系的な教育方法やカリキュラムが提供されるものとはなっていない[注 1]。上記のロボット Sier 事業の特徴から、本研究では(1)から(3)の視点を考慮した体系的な人材育成の方法を検討する。

- (1) ロボット Sier の業務において PM(プロジェクトマネージャー)として必要な技術と知識
- (2) ロボット Sier の事業における課題
- (3) 企業の強み (コア技術) に関連付く技術と知識

7.6 系統的な人材育成の教育方法の提案

インタビューによる SIer 企業の特徴や人材育成方法から、人材育成の教育方法を検討する。これまでに、ロボット革命イニシアティブ協議会内のワーキンググループによって、ロボット SIer として必要な技術や知識の分類と程度（レベル）が示された「ロボット SIer スキル標準」が作成されている。この記述は技術者の業務遂行に対するスキル管理に有効であるが、人材教育のしくみは組み入れられていない。本研究では、「ロボット SIer スキル標準」の技術区分の関連性を考慮することで複数の区分をまとめて教育することで効率的な教育を行う方法を検討してきた。

第3章において、効率的な教育の実施方法として、本研究では「知識ベース」と「実践ベース」に分類する方法を提案した。前者では座学と単純モデルによる実習を中心にする教育を、後者では現実問題を利用した実習による教育を適用する。「知識ベース」では e-Learning を利用することで自主学习により知識を高めることが可能となる。「実践ベース」では下記の3つの Step による教育法を想定する。

実践ベースの方法：

Step1：既存の方法の学習

（適用例）ティーチング，既存ロボットによるピックアップ処理，画像認識による物体認識，
工程分析法

Step2：カスタマイズや応用問題に対する学習

（適用例）カスタマイズや応用問題の考え方をパターンで学習する。カスタマイズの実践。

Step3：ロボット導入の実践問題

（適用例）工場の特徴分析からロボット導入のためのカスタマイズ案の策定，自主検討，
グループ検討を含む。

構造化した技術の種類と適切と考えられる実施法を以下に示す。

<1> 機械設計（メカニクス）：「機械設計」，「機械組立」，「ロボット制御」

【教育法】 知識ベース+実践ベース（Step1）→ 実践ベース（Step2）→ [Step3]

<2> 電子回路（エレクトロニクス）：「電気設計」，「電気配線」

【教育法】 知識ベース+実践ベース（Step1）→ 実践ベース（Step2）→ [Step3]

<3> ソフトウェア：「画像処理」，「システム制御」

【教育法】 知識ベース+実践ベース（Step1）→ 実践ベース（Step2）→ [Step3]

<4> 生産・品質管理法：「生産技術」，「品質保証」

【教育法】 知識ベース+実践ベース（Step1）→ 実践ベース（Step2）→ [Step3]

<5> システム分析・設計・管理技法：「組織体制」，「営業技術」

【教育法】 知識ベース+実践ベース（Step1）→ 実践ベース（Step2）

<6> 法規：「安全対応」

【教育法】 知識ベース

ここで、「」内の記述は「ロボット SIer スキル標準」における技術区分を示す。また、矢印は学習順序を示しており、実践ベース[Step3]は該当する技術を総合的に扱って学習することを示す。

上記のように、技術区分をまとめて学習させることで、異なる技術区分を関連付けて学習できる。また、詳細な技術や少数機会でしか必要としない技術は e-Learning を利用して自主学习することが好ましいと考えられる。また、高度な技術について、自社のコア技術や得意な技術に関す

る項目ならば、OJTの教育の前後でe-Learningにより予習復習を含めた自主学習を行なわせることで知識や技術の定着が期待できる。

7.7 教育の運用法の提案とエージェントシミュレーションによる運用法の効果検証

7.7.1 教育の運用法の提案

7.6節に示したように、ロボットSIerに必要な技術は広範囲に渡るため、類似する技術や関係性の高い技術を組み合わせ、一つの技術分類とする。これにより、多数の技術区部を少数の技術分類に分類し、各分類において実習をベースとする教育を実践することで1つのカリキュラムで複数の技術を教育できるようにする教育方法を提案した。本章では、提案した教育方法の運用法を提案し、提案する運用法の有効性を示す。

通常の教育カリキュラムでは、目標とする人材の育成を目的として、要求される複数の技術カリキュラムを数年に渡って段階的に理解できるように配置される。しかしながら、企業の技術者を教育するためには下記の特徴が存在する。

- (1) 仕事を行いながら進めるため、長期間の教育期間は継続が困難である。
- (2) 教育費用が高い場合では企業による支援が困難である。
- (3) 座学よりも実習による実践的な教育が効果的である。
- (4) 異なる専門担当者や異なる業種の企業の担当者によるグループディスカッションの導入による個人と異なる発想が得られる。

上記の特徴から、提案する教育法を利用した下記の運用法を提案する。

- (M1) 技術分類（カテゴリー）とレベルごとに分割した教育カリキュラムを構成する。
- (M2) 1つの技術分類とレベルの組み合わせに対する教育カリキュラムは1~2日程度で完了する内容とする。
- (M3) 1つの教育カリキュラムについて、レベルの確認のテストを設ける。

(M1)と(M2)により、1つの教育カリキュラムを小さくでき、費用を安く行なえるようになる。

また、(M1)と(M3)により、異なる技術分類に対する技術者のレベルの管理が容易になる。

さらに、ネットワークを構成する複数の企業からの参加を認めることで、企業間の技術者のレベルの管理を行うことができる。

7.7.2 エージェントシミュレーションによる教育の運用法の評価

7.7.2.1 シミュレーション・モデル

提案した教育の運用法の効果を評価するため、技術者の技術レベルの影響をエージェントシミュレーションによって調べる。シミュレーションでは、個人技術者のエージェントを用意して、エージェント内に各技術分野のレベルや各分野各レベルでの労働期間を保存する。技術情報として、個人の技術を管理する。レベルは全技術分野で評価する。レベルはカテゴリー<1>から<4>の間では6レベルに設定し、カテゴリー<5>および<6>では3レベルに設定する。

本研究では各技術分野(カテゴリー)において、レベルに対する技術者数の分布を正規分布と仮定し、個々のレベルの人数を領域で設定する。そして、レベル*i*からレベル*i+1*に上げる難易度 D_i を技術者数の分布から次式で与える。

$$D_i = \frac{P(x > x_{i+1})}{P(x > x_i)} = \frac{1 - P(x \leq x_{i+1})}{1 - P(x \leq x_i)} = \frac{1 - \int_{-\infty}^{x_{i+1}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx}{1 - \int_{-\infty}^{x_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx}$$

この式は技術者数の分布を正規分布と想定することで、レベル i 以上の技術者数に対するレベル $i+1$ 以上の技術者数の比をレベル i からレベル $i+1$ に上がれる割合と考え、シミュレーションにおけるレベルが上がる判断の閾値とする。 x はレベルの程度を指し、 x_i はレベル $i-1$ の領域における x の最大値とする。

本研究では、正規分布を分割した 1 から 6 までのレベルの領域として、それぞれ、領域 $x < \mu - 2\sigma$ 、 $\mu - 2\sigma \leq x < \mu - \sigma$ 、 $\mu - \sigma \leq x < \mu$ 、 $\mu \leq x < \mu + \sigma$ 、 $\mu + \sigma \leq x < \mu + 2\sigma$ 、 $\mu + 2\sigma \leq x$ に割り当てる。各技術者の各技術分野のレベルの上昇を考える場合では、各期間の終わりに $[0, 1]$ の一様乱数 Dx を与え、 $Dx \leq Di$ のときにレベルを上昇させる。教育の導入によって、理解度が Q 倍増加すると仮定し、 Di を $Di \cdot Q$ に置き換えて判断する。シミュレーションでは期間ごとに個々の技術者について、レベルの上昇の評価を行う。

7.7.2.2 シミュレーションの条件

シミュレーションの実験では、企業数 3、各企業の技術者数を 10 名とする。1 年ごとに各技術者に乱数を確率的に発生させ、レベルの更新を行う。技術者はレベルの初期値は全技術分類で 1 とする。

そして、技術分類<1>~<4>についてレベルが 5 以上、技術分類<5>と<6>についてレベルが 3 以上の場合について、技術者をプロジェクトマネージャー(以下、PM と略記)と見なす。シミュレーションは次の条件で実行する。

(条件 1) エンジニアは初期エンジニアであり、教育は行わない。

(条件 2) エンジニアは初期エンジニアであり、教育を行う。

(条件 3) 技術者の退職と採用を考慮し、教育は行わない。

(条件 4) 技術者の退職と採用を考慮し、教育を行う。

さらに条件 2 と条件 4 では以下の条件を加える。

(条件 a) 教育を毎年行う (毎年受講する)。

(条件 b) 教育を一定期間ごとに行う (受講する)。

(条件 c) 1 社あたりの教育受講生に制限を与える。

数値実験では、技術者の退職と採用の人数を毎年 $N(2, 12)$ の分布で決定する。教育による理解度の係数 Q_e は 1.5 とする。また、教育を 1 度受講した場合の理解度の係数 Q_a は 1.0、あるいは 1.2 とする。

7.8 結果と考察

図 7-1 は技術者の人数が固定における教育の有無による PM の人数の分布を示す。すなわち、条件 1 (Condition 1) と条件 2 (Condition 2) の比較を示す。図から、教育の導入の効果は明らかであり、短期間で PM の人数が増加する。

一方で、図 7-2 は、条件 3 および 4 での経過年数に対するエンジニア数および PM 数の比較

を示している。

図 7-3 に同じ条件での技術者の勤続年数を示す。これらの条件は実際の問題に似ている。これらの条件には技術者の増減が含まれるため、技術者の数は経過年数によって変動する。

図 7-2 は、エンジニア数が増えると PM 数が増える傾向を示している。また、図 7-2 と図 7-3 は、条件 4 で技術者数が多い場合に、技術者の平均勤続年数が増加することを示している。

これらの結果は、社内で働く技術者の技術レベルを動的に考慮し、適切な技術科目を採用する必要があることを示している。

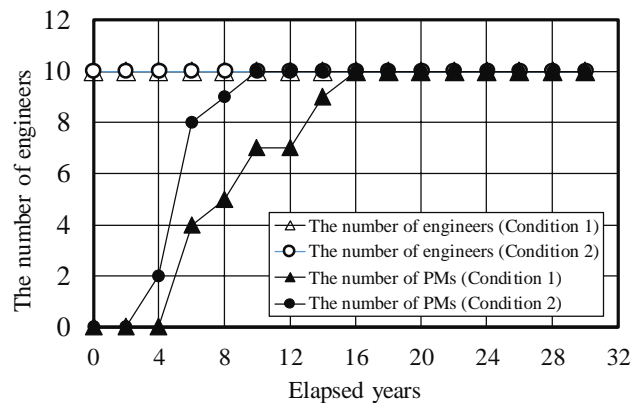


図 7-1 条件 1 および 2 での経過年数に対する PM 数の比較

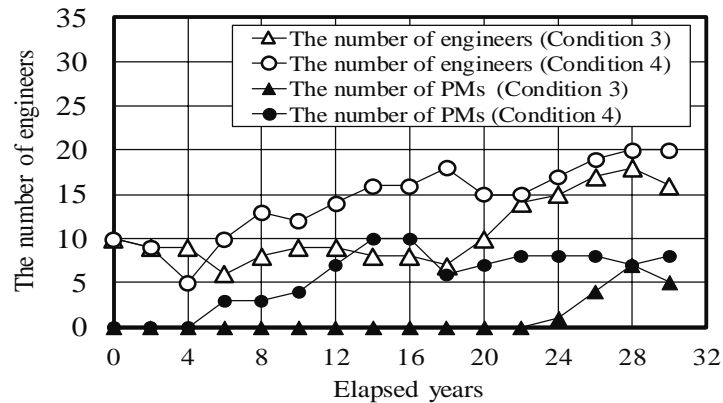


図 7-2 条件 3 および 4 での経過年数に対するエンジニア数および PM 数の比較.

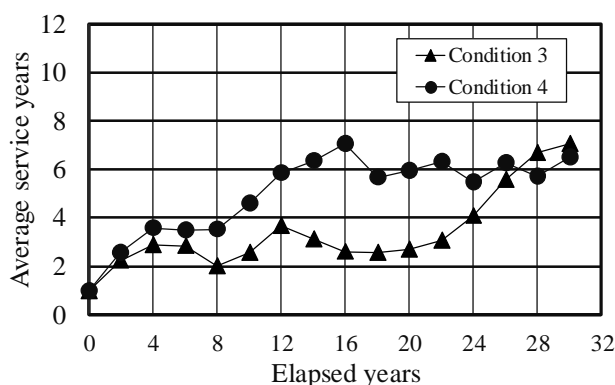


図7-3 条件3および4でのエンジニアのサービス年数と経過年数の比較

7.9 まとめ

本章では、ロボット SI 事業を継続的に強化するための効果的な管理手法と人材育成について論じた。ロボット SIer 企業の経営者にインタビューを行い、ロボット SIer 企業の事業の特徴とロボットシステムを工場に導入するための運用活動を調査した。インタビューの結果は、SIer がプロジェクトマネージャーを増やすための技術レベルを考慮して、人材育成が必要であることを示している。

ロボット SIer 事業を効果的に強化するために、ロボットを導入した企業とロボット SIer 企業を結ぶネットワークの構造を提案した。また、分類された技術を考慮したロボット SIer の人材育成のための教育方法を提案した。

今後は、専門教育機関でのカリキュラムを検討することにより、提案された教育方法に基づいた人材教育カリキュラムの開発の必要が考えられる。

注意事項

[注 1] 従来、ロボット活用が進んでこなかった阻害要因を明確に特定し、これを解決するためのロボット導入実証や FS（実現可能性調査）を行う計画。

参考文献

- [1] 荒川雅裕：中小規模企業における工場の ICT・IoT 化の課題と対策，IE レビュー，Vol.59, No.1, 304, pp.8-16 (2018)．
- [2] 荒川雅裕，松田佳大，鈴木渉，和田拓巳：製造 IoT SIer のための教育カリキュラムの構築と学部教育への導入例，2018 年度秋季大会予稿集，日本経営工学会，pp.137-138 (2018)．

第8章 本研究を通しての考察と知見

第2章及び第3章で提案したロボット S1er の具体的教育法の方策における「技術区分の構造化による教育」について、提案法では複数の技術区分をまとめて構造化することで異なる技術区分を関連付けて学習するとして、具体的には第4章及び5章で工業高校での適用例で示した。

ここでは、製造現場へロボットを導入する方法を考えさせる教育カリキュラムの設計において、S1er テクニカルカテゴリーの『生産・品質管理法』における工程分析能力、および生産プロセス提案能力などのとくに上流工程の技術要素の教育を目的とした「初歩レベルの人材に対するカリキュラム」を提案した。それをロボット S1er 企業に多く採用される工業高校生を対象に適用した。

例えば今回の工業高校生の適用例では、カテゴリー「生産・品質管理法」における生産技術区分の①工程分析、②生産プロセス提案、③費用対効果分析、④設備仕様書作成に関する業務の要素（スキル項目）を互いに関連付け、まとめて学習し、学習の結果として、ロボット導入ラインのレイアウト図を作成した。レイアウト図には設備仕様書の内容を記載するものとした。

しかしながら、上記①～④のそれぞれの内容を単発に深く学習していない。つまり、インストラクショナルデザイン (ID) としては、各能力それぞれの要素の知識を理解したかが目的ではなく、目的を達成するための学習目標であり、レイアウト図を作成できるかが目的となるからである。結果的にはロボット S1er が必要とする上記に関する複数の技術を組み合わせて学習することになり、それが効率的な教育法となることが実習の結果からも証明できた。

また、「技術の構造化」とは、一連のロボット導入業務に必要な専門要素を横断的に融合しながら学習する構造を指すが、提案する教育方法では「知識ベース」と「実践ベース」に分類して教育を行うこととして、例えば、第4章の実習第1回から3回までの第1段階では、「知識ベース」で、上記4項目技術に関連付けて BOM, MTM, ガントチャートを学習（説明）した。

「実践ベース Step1」で、単純化したモデルを利用した既存法の学習として、BOM の作成（テンプレート使用）、生産ラインの設計（作業表記法と作業時間を使用）、部品配置と作業場レイアウトの設計（人間だけの通常の生産ライン）を行なった。

「実践ベース Step2」でカスタマイズや応用問題に対する学習として、オリジナルの生産ラインの設計（人間だけの生産ライン）、及び分析評価を行ない、最後に班ごとの組み立て作業のコンペを行なった。さらに、上記実習の第2段階となる第4回で「実践ベース Step1」として概念設計を作成し、第5回で「実践ベース Step2」として、ロボット導入の設計と仕様書を作成し、班単位で発表した。

以上の内容についてを従来の「縦型または横型単独の教育」から、「両軸（面）での教育」、つまり、「横断型教育」の実施により、専門的知識も必然的に深まり、専門知識を極めるとさらに横断型知識も深まるために、教育の”共同化”，”表出化”，”連結化”，”内面化”のサイクルを回すことができたと考える。また、上記の学習を3時間×5週（計15時間）で完結できたことが効率的であったと判断される。

また、通常の学校教育のように専門技術を科目毎に単発に教育するカリキュラムと比較すると、本研究の実習のように複数の技術に関連付けて、複合かつ段階的に教育することで実践的な技術として仕上げるカリキュラムになったと思われる。たとえばロボット S1er スキル読本に編集された各スキル項目をテキストに編集された順に単発で学習しても、それをどのように目の前の生産

ラインの設計に結び付けるのか、従来では単元に特化した実習による教育が行われるため、個々の実習からでは装置を組み合わせたシステムとして作り上げるプロセスの学習は困難である。このことから、本研究で提案し、実証した教育法は効率的・効果的であると考えられる。

そして、提案法ではさらに「評価を含む段階的教育」を示しており、具体的には、ステップを組み、評価をはさみ、段階的に専門技術を高めていくとしている。例えば、実践ベースにおいては知識ベースで学習した知識を基に実習装置を使用して構造化された知識を実機にて具現化していく。つまり、例題の解答を実機で出していく。正解を得るまでトライ・アンド・エラーを繰り返すが、このことで応用力や実際の生産現場で発生する困難な状況にも対応できる実践的問題解決能力も身に付けられるとしたが、第4章におけるレゴマインドストーム、第5章におけるロボット実機を活用しての問題解決型の実習展開が、まさに評価基準を設定し、段階ごとに練習問題や課題を設定した実習機を用いたカリキュラム（実践ベース）であり、スキルアップが図られることが、教育実践の結果として得られていた。

つまりこの手段により、プログラムの途中で行う形成的評価となり、それは学習者のそれまでの活動に対する「診断」であり、その後の学習活動をどのように展開すべきかが学習者自身に有意義な形で返されるものとなり、提案法における段階的に専門技術の教育と評価を行うプロセスの有効性を示している。また、上記のカリキュラムの中にインストラクショナルデザイン（ID）を活用することでさらに教育効果が向上した。

以上の結果として、教育成果については生徒自身の成果物の評価から、想定した教育の目標ラインに到達できたと判断される。

また、第6章においてロボットの専門知識の不十分な大学学部生の演習に提案法を適用したところ、提案法は新規分野へのロボット導入に有効であることを示した。つまり、上流設計工程における、システム開発の過程で、モジュール化を意識し、量産型汎用ロボットの活用を前提に、現場の顕在的・潜在的な問題点やニーズを現状映像、グループディスカッション・グループ協働により抽出、原因の妥当性を評価し、予想される課題を解決しながら反復的に設計していく手法が、介護福祉等の新規分野へのロボット導入技術にも有効であることを示した。

以上のことから、本研究で提案したロボット **SIer** の教育の方策は、広範囲において適用でき、有効性も高い方法といえる。

第9章 結論

9.1 本研究のまとめと考察

本研究では、ロボット産業の技術革新に伴う最大の課題をロボット産業における人材育成と捉え、ロボット Sier に必要とされる知識や技術の特徴を調べるとともにロボット Sier 企業における人材育成の方法を調査・議論した。複数のロボット Sier 企業の PM にインタビューを行い、ロボット Sier に必要な知識と技術をまとめ、ロボット Sier に求められる資質、能力、知識・技術そして、あるべき姿の定義を示した。ロボット Sier 企業の調査からロボット Sier 事業の問題点を示すとともに、若手の人材育成のための教育方法として、構造的な教育プログラムとなる知識ベースと実践ベースを組み合わせた効率的な教育方法を提案した。そして、過去の文献の引用、及び現在企業で行われている類似の教育方法、さらに、ロボットに関する学部をもつ大学、工業高校の現状のカリキュラムを調査し、提案する教育方法の必要性を評価した。

提案する教育方法を実際に工業高生、及び大学学部生に対する模擬実習に適用し、その結果から、提案法に含まれる教育の機能の有効性を検証するとともに、Sier 人材に対する教育の考え方や対応法を示した。実習においてはインストラクショナルデザイン (ID) を活用することで提案した教育方法をさらに効果的にすることができた。また、本研究では教育カリキュラム設計を支援するためのカリキュラム作成ジャーニーマップ (CCJM) を開発し、今回実施した授業に適用し、効果を示した。

また、実践ベースにおけるロボットなどの実機を活用しての問題解決型の実習展開が技術教育に有効であり、とくに、上流設計工程における、システム開発の過程で、モジュール化を意識し、量産型汎用ロボットの活用を前提に、現場の顕在的・潜在的な問題点やニーズを現状映像、グループディスカッション・グループ協働により抽出、原因の妥当性を評価し、予想される課題を解決しながら反復的に設計していく手法が、介護福祉等の新規分野へのロボット導入技術に有効であることを示した。

9.2 今後の課題

本研究においての被験者である生徒、学生は、専門ロボットの知識を有しておらず、生産管理、工程設計的な考えも経験がなかった。しかしながら、現実には工業高校卒業者、大学新卒、あるいは専門技術の初期学習者のように、若く、製造現場の未経験者を短期間でロボット S1er に育成していく必要がある。したがって、今後のロボット S1er 教育の課題は、如何に短期間でプロジェクトマネージャー (PM) レベルに育成できるかであるが、ロボット S1er の立場から考えた場合に、現在、とくに育成が期待されている能力は、新しいロボットの仕組みを考える能力ではなく、既存のロボットシステムを利用してスピード感をもって作り上げる能力である。その能力を習得させるためには、ある程度のパターンを示し、説明し、当てはめさせることが有効な手段であることも考えられる。また、新規分野におけるロボットシステム導入拡張を可能にするためには、上流設計工程での本質的問題解決やモジュール化 (汎用性を意識して最小のカスタマイズで適応できるようなモジュールの開発) の方法、過去の実績データの活用をすることでコスト、納期を抑える方法の検討が必要である。

今後は具体的かつ、詳細なカリキュラムの開発やパターン化された実践学習の方法を開発し、実際の教育の場に導入することで有効性を調べていく。そして、さらに、短期間でロボット S1er (PM) を育成する効率的な実効性の高いプログラムを検討するとともに、エージェントシミュレーションを使用してビジネスを強化するための教育の運用法を検証する必要がある。

公開論文リスト

査読付き論文

該当章	題名	著者	発行年月	発表誌の名称	概要
第2章	ロボット産業人材の育成—若手ロボットシステムインテグレート(ロボット Sler)の育成—	間瀬好康 荒川雅裕, 小竹暢隆	2020年 10月	生産管理, Vol.27, No.2, (通巻 55 号) 生産管理学会 pp.30-37	ロボット Sler の若手に対する人材育成に着目し, 企業における事例や過去の文献から分析することで教育に必要な技術や考え方, 運用法について提案する.
第3章	ロボット Sler 育成に対する教育法の提案—現状の関係教育機関の調査および企業の事例に基づく分析—	間瀬好康 荒川雅裕, 小竹暢隆	2021年 4月	生産管理, Vol.28, No.1, (通巻 56 号) 生産管理学会 pp.45-54	複数の企業や現状の関係教育機関の調査を行い, ロボット Sler に必要とされる知識や技術の特徴を調べるとともに Sler 企業の継続的な経営のための人材育成の方法を提案する.
第4章	ロボット Sler 教育カリキュラムの設計と実践—工業科専門高等学校における教育プログラムの実施と評価—	間瀬好康 荒川雅裕, 小竹暢隆	2022年 4月	生産管理, Vol.29, No.1, (通巻 58 号) 生産管理学会 pp. - (印刷中)	提案した教育方法に基づき, 具体的な Sler 教育カリキュラムを設計し, 工業高校電子機械科に適用, 実施した. 生徒のプレゼンテーションや成果物, およびアンケートから学習の効果を分析し, 本実施における問題を考察する.

第5章	ロボット Sler 教育カリキュラムの研究 —工科高等学校における教育プログラムの対策案実施と検証—	間瀬好康 荒川雅裕, 小竹暢隆	2022年 4月	生産管理, Vol.29, No.1, (通巻 58 号) 生産管理学会 pp. - (印刷中)	工科高校へ適用した Sler 教育カリキュラムの設計では, カスタマイザージャーニーマップを参考に開発した「カリキュラム作成ジャーニーマップ (CCJM)」を利用した. さらに, インストラクショナルデザイン (ID) を活用し, ロボットの実機を利用した生産工程の設計と構築, 評価を行なう.
第6章	多様な業種におけるロボット導入のための Sler 育成—介護・福祉分野の検討—	間瀬好康 荒川雅裕, 小竹暢隆	2021年 4月	生産管理, Vol.28, No.1, (通巻 56 号) 生産管理学会 pp.55-63	異業種 (介護・福祉分野) に対するロボット Sler の教育方法として, 要求・要件定義の設定能力や, RTC・RTM を含めたシステムの上流設計の能力を育成する方法を提案し, 検証する.

国際学会論文

該当章	題名	著者	発表年月	発表学会名称	概要
第3章	Proposal of Education Method for Robot System Integration - Analysis based on case of companies- 【査読なし】	Yoshiyasu Mase, Masahiro Arakawa, Nobutaka Odake	2019年 9月	Proceedings of The 4th ICPM 2019 in Nagoya, The 4th International Conference on Production Management 2019, Nagoya, Japan, September 7-8, pp.103-106 (2019)	We interviewed engineers of several robot SIER companies, and showed the knowledge and technology required for robot SIER and proposed a method that combines knowledge base and practice base educations for efficient human resource development..
第7章	Discussion of production management supported by robot system integrator for continuity of manufacturing business 【査読あり】	Yoshiyasu Mase, Masahiro Arakawa, Kensuke Ishida	2019年 12月	Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2019 (APIEMS2019), 査読有, December 2-5, 2019, Kanazawa, Japan, pp.343-348 (2019)	we showed the necessity of robot system integrator (hereinafter abbreviated as robot SIER) in the current manufacturing industry, and discussed construction of relationship of robot SIER companies and human resources development in robot SIER company to enhance business continuously.

国内発表論文

該当章	題名	著者	発表年月	発表学会名称	概要
第2章	ロボット産業人材の育成 —若手ロボットシステムインテグレーター（ロボット S1er）の育成—	間瀬好康 荒川雅裕 小竹暢隆	2018年 9月8日	日本生産管理学会第48回全国大会発表 (2018年9月) 開催校：関西外国語大学 一般社団法人日本生産管理学会第48回全国大会予稿集 pp.72-73	スキル標準シートをベースとした各領域・科目の知識、各装置の技術技能を Beginner level から段階的（形成的評価をさみ）かつ分野融合的に関連付け、現実的かつ主体的 try and error となる実践的カリキュラムで育成する。
第4章	ロボット S1er 教育カリキュラムの研究 —工業科専門高等学校における教育プログラムの実施・検証—	間瀬好康 荒川雅裕, 小竹暢隆	2021年 3月13日	日本生産管理学会第53回全国大会発表 (2021年3月) 開催校：法制大学 一般社団法人日本生産管理学会第53回全国大会予稿集 pp.108-109	提案した教育コンセプトに基づき、現在、ロボット S1er 企業が中心となって採用している工業高校を対象とする教育カリキュラムを設計し、実際に教育の実施・検証をする。
第5章	ロボット S1er 教育カリキュラムの研究 —工業科専門高等学校における教育プログラムの対策案実施と検証—	間瀬好康 荒川雅裕, 小竹暢隆	2021年 9月4日	日本生産管理学会第54回全国大会発表 (2021年9月) 開催校：大阪学院大学 一般社団法人日本生産管理学会第54回全国大会予稿集 pp.98-99	工業高校を対象とする教育カリキュラムを本研究で開発した『カリキュラム作成ジャーニーマップ』を利用して設計し、『インストラクショナルデザイン』を活用し実際に教育の実施をする。

第6章	多様な業種におけるロボット導入のためのSIer育成 —介護・福祉分野の検討—	間瀬好康 荒川雅裕, 小竹暢隆	2020年 3月予稿 集上発表 (コロナ 禍により 大会中止 のため)	日本生産管理 学会第51回全 国大会発表 (2020年3 月)開催 校:別府大学 一般社団法人 日本生産管理 学会第51回全 国大会予稿集 pp.52-53	介護福祉分野に着 目し,ロボット導 入における問題点 を明らかにし,解 決となるロボット 導入に必要な考え 方やロボットSIer として必要な知 識・技術を検討す るとともに,SIer としての人材育成 のための方法を提 案する.
第6章	介護・福祉分野にお けるロボット導入の ためのSIer育成 — 介護・介助サービ スのためのロボットシ ステム開発に対する 企画設計法の開発—	間瀬好康 荒川雅裕, 小竹暢隆	2020年 9月5日	日本生産管理 学会第52回全 国大会発表 (2020年9 月)オンライ ン開催 一般社団法人 日本生産管理 学会第52回全 国大会予稿集 pp.108-109	介護福祉の分野を 対象にロボット導 入を企画設計する 開発手法を提案 し,方法を大学学 部生の教育プログ ラムに適用するこ とで提案手法の有 効性を評価する.
第7章	製造業の事業継続に 対するロボットSIer を利用した生産マネ ジメント法の検討	間瀬好康 荒川雅裕, 石田健祐	2019年 9月10 日	2019年度秋季 大会予稿集,日 本経営工学会, Sep 9-10, pp.133-134 (2019)	国内中部地区の複 数のロボットSIer 企業へインタビュー を行い,事業の 特徴や運用の問題 点から,継続的に 事業運用を行うた めの経営活動の方 法として,人材育 成を含めた人材の 技術マネジメント と業務管理の方法 を検討する.

第7章	ロボット導入における技術人材の育成戦略—企業間ネットワークの利用による効率的な教育の検討—	間瀬好康 荒川雅裕,	2020年 3月予稿 集上発表 (コロナ 禍により 大会中止 のため)	日本生産管理 学会第51回全 国大会発表 (2020年3 月)開催 校:別府大学 一般社団法人 日本生産管理 学会第51回全 国大会予稿集 pp.54-55	人材育成を効率的 に行なうことで SIer 事業を継続的 に進める方法に着 目する. その方法 としてSIer 企業の 情報ネットワーク の構成と複数企業 の組み合わせによ る教育の運用を提 案し, エージェン トシミュレーショ ンにより評価す る.
-----	---	---------------	---	--	--

謝辞

本研究は、著者が名古屋工業大学大学院社会工学専攻後期博士課程在学中に、同大学大学院社会工学専攻 荒川 雅裕教授のご指導のもとに行なったものである。荒川 雅裕教授には本研究の遂行ならびに論文の作成にあたり、終始懇切丁寧なる御指導を賜りました。謹んで感謝の意を表します。

また、学位論文審査において、副査を務めていただきますとともに、専門分野の視点から有益な助言をいただきました名古屋工業大学大学院社会工学専攻 徳丸 宜穂 教授、同専攻 横山 淳一教授、愛知工業大学経営学部経営学科 仁科 健教授（名工大名誉教授）に深く感謝申し上げます。

そして、本研究の基盤となった修士課程での研究をご指導いただき、また、筆者の博士課程進学から修了まで親身になってアドバイスをいただきました元名古屋工業大学大学院 小竹 暢隆教授に深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、多大なるご協力をいただきました株式会社バイナス渡辺 互社長、永井 伸幸専務に深く感謝申し上げます。

そして、本研究に対する貴重なアドバイス、情報提供、研究授業など多大なるご協力をいただきました愛知県立小牧工科高等学校 加藤 満明校長先生、愛知県立一宮起工科高等学校 大島隆二校長先生、同校 渡会 功先生、愛知県立瀬戸工科高等学校 長谷川 雄嗣先生、同校 上村 悠綺先生、名古屋工業大学大学院社会工学専攻荒川研究室 小林 隼大君に心より感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、ご支援・ご協力をいただきながら、ここにお名前を記すことができなかった多くの方々に心より感謝申し上げます。

最後に、著者の挑戦を応援してくれた妻と、娘たち、そして最期まで激励してくれた亡き父と温かく見守ってくれた亡き母にこの論文を捧げます。

