論文

人の発達段階に応じた地域ものづくり教育考

Regional Manufacturing Education corresponding to Transitions of Human Cognitive Development

大橋　和正[1)]

Kazumasa Ohashi

キーワード：ものづくり教育、人の発達段階、サプライチェーン、知的熟練、コストマネジメント、生産戦略
Keywords: Manufacturing education, Human cognitive development, Supply chain, Intellectual skill acquisition, Cost management, Manufacturing strategy

要旨：地域でのものづくり産業の発展は、幼いころからの地域ものづくり教育に依存するところが大きいと考えられる。そこで、まず地域ものづくり産業の特徴を知り、その産業を発展させるために、人の発達段階に応じて進化するものづくり教育の学び方とその内容を明らかにする必要がある。本研究では、その学びの過程を人の成長に合わせて第 0 期から第 4 期に分け、必要となるものづくり知識の獲得について、まとめたものである。とくに人の成熟期である第 4 期が、地域ものづくり教育の目指す姿である。この時期での学び方については、工業的な専門知識の獲得にのみ偏るのではなく、サプライチェーンを考慮して知識の融合化を図り、素材の調達から社会に役立つ製品の設計、製作技能・技術、工程管理、原価管理、製品の販売計画に至る一連の学びを知識のつながりをもって修得することである。そして、競争力ある戦略的ものづくりの方法論の確立を目指すことの重要性について言及する。

１．はじめに

幼いころからの地域でのものづくり教育は、地域での産業の発展に多大な影響を与えているといえる。豊富な地域資源を活用しながら、人は発達段階に応じて、学校教育と遊びの中で、作り出す喜びを体験し、段階的に学びを深めてきた。とくに地域の特産物である木材や竹等は、子どものころより、馴染み深く、遊びの材料として好都合であった。

子どものころのものづくりは、人の発達段階に応じて、つくることに焦点をあて、学習してきた。つくることに興味をもち、精度よく価値ある製品の製作を目指しての学びである。

1）山陽学園大学地域マネジメント学部地域マネジメント学科

そのために、ものづくりに関する理論学習と体験学習を積み重ねて、知識とスキルを向上させてきた。そして、人は成長し、大人になって地域でのものづくりのプロとして成立するには、工業的専門知識のみならず他産業との知識のつながり・融合をもって、大局的見地から総合的な学びの探究を進めることが大切である。

そこで、子どもから大人のものづくりのプロになるまでの学びの過程を第 0 期から第 4 期に分け、段階的に学び、成長していく必要がある。このように人の発達段階にわたる学びのプロセスを、地域ものづくりに関して一貫して論じた研究は、これまでの著者の研究[1]以外に見当たらない。

本研究は、著書[1]の研究を基に、人の成熟期である大人のプロとしての地域ものづくり活動と教育のあり方にウェートを置きながら、それまでの人の成長過程で学ぶべき内容について地域ものづくり教育としてまとめたものである。

従って、学びの第 4 期目が、第 0 期からの集大成したものづくり教育の姿となる。この期では、製造に関する知識と共に、原料の仕入れ計画や全般的生産計画などの計画理論に関する知識、さらには品質管理・原価管理などのマネジメント関連知識もまたつながりをもって必要となる。地域において、ものづくり産業として生き残り、今後も競争に勝てる戦略性のある一貫したものづくり教育が求められることになる。

２．人の発達段階と地域ものづくり教育との関係性

2.1 人の発達段階に基づくものづくり教育の区分

幼いころからのものづくりは、遊びとしての単純なものから始まり、人の発達と共に道具や機械を活用し、複雑な精度あるものづくりへと進化していく。その過程で、ものづくりの基本となる設計、工程計画、製作の物の流れに関する考え方の重要性について理解することになる。そして、成長して大人になり、ものづくりのプロとして活躍する際には、加工・組立に関わるものづくりのコアとなる専門知識はもちろん、他の各種産業知識、経営マネジメントにかかる知識、環境に関わる知識など、人のくらしと直接つながりをもった多大な融合された知識をもつ必要がある。そのためには、幼いころからものづくりの方法論を体系的に学びながら、人の発達段階に応じたものづくり教育論を展開する必要がある。

そこで、子どもの知能や発達、いわゆる認知機能の発達という観点から、ものづくりの学びの方法と時期を区分し、考察してきた[1]。とくに、子どものころの 7 歳から 12 歳くらいから認知の形式的操作期といわれ、思考内容がほぼ完成され、科学的・実験的思考が可能になるという[2-5]。脳自体の発達についても、10 歳児くらいで大人とほぼ同じ脳の大きさをもつという[2-5]。

従って、この時期、10 歳から 12～13 歳のころが教育の一つの重要な時期と考える[5]。学校種でいえば、小学校高学年から中学校前半期に相当する。この時期を第 1 期ものづくり教育期間とする。まずはものを創る喜びの中から広い視野で物事をとらえ、論理的・科学的な考え方、基礎基本を徐々に身に付けていくことである。この第 1 期目以前のものづくり教育は、身近な材料を用いて、つくる遊びの中から、創る楽しさを感覚として感じることであり、第 0 期ものづくり教育期間と呼ぶことにする。

中学校後半になると数学等他教科との学習の深まりの中で、ものづくりを、目標を設定して理論的に考えることができるようになる。教科内容の継続性は高等学校終了時まで続き、

事象の理論化・解析を踏まえてものづくりの最適化を考えることになる。この時期が第２期ものづくり教育期間となる。

第 3 期のものづくり教育は、大学での専門教育の導入で、ものづくりも理論化が深化され、最適化から方略性ある効率化へ、複数目標の満足化、生産のスマート化などものづくり理論の高度な知識を得る時期である。そして、大学教育を終えて初めての社会人としてものづくり現場で課題発見・課題解決を考えるまでの期間である。

第 4 期ものづくり教育期間は、第 3 期後の時期であり、ものづくりのプロとして、必要となる知識をつながりをもって獲得し、価値ある製品の生産と戦略的マネジメント力を身に付ける重要な期間の連続として位置付けられる。

表 1 は、人の発達段階に応じた学びの内容とものづくり教育のねらいについてまとめたものである。学校でのものづくり教育は人の発達段階に応じた各自の学びであるが、社会に出てからの学びは、くらし・社会に関わる「つながり」をもって学ぶことの重要性を力説したものである。とくに、第１期、第２期前半では、ものづくり自体の考え方・製品のあり方について正しく学ぶ必要がある。そして、その考え方を基に、第２期後半からの製品開発論としての学びにつながることになる。

社会人になると価値ある製品を世に送り出す責務があり、人に役立つことで、生産の意義を評価されることになる。そのためには、製品に関わるコストマネジメントや有意義な生産戦略をもって、実践にあたる必要がある。

表１　人の発達段階に応じた学びの内容

区分け（時期）		学びの内容	ものづくり教育の目指すねらい
第０期	～小学校中学年	ものづくりの動機付け	遊びとしてのものづくり
第１期	小学校高学年～中学校前半	ものづくりの考え方	基礎基本、論理的見方
第２期	中学校後半～高等学校	製品としての効率的な創出方法	理論化・解析と最適化
第３期	大学～一般社会人（ビギナー）	科学的思考力の強化	最適化・方略性ある効率化
第４期	プロフェッショナル（社会人）	付加価値ある製品の生産と戦略性	知識のつながり、サプライチェーンとしての捉え方、戦略的マネジメント

2.2 各発達段階で求められる地域ものづくり教育の内容

人の発達段階に基づいて、教育区分を５つに分類したとき、各時期にかかる教育内容の量は期の進行と共に指数関数的に増加する（図１）。それは、ものづくり本来の専門的知識の増加に合わせて関連知識の増大化が大きな要因となる。

ものづくりの学習は、くらしや社会等との深いつながりがあり、人の成長と共に多くに知識を得る必要がある。

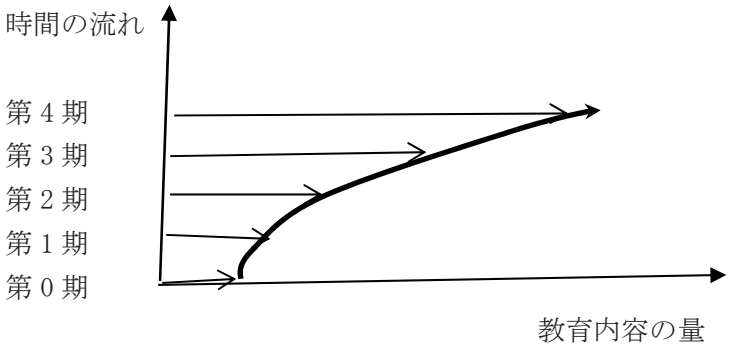

図 1　各期での教育内容の量比較

ここで、ものづくりの製造プロセスに関わる物の流れの学習は、人の発達段階ごとの学び方に関係なく、人の発達の各期でまず設計、そして工程計画、製作の順で実施される。工程計画は、設計と製作をつなぐ架け橋的存在で、設計図面からつくり方を読み解く役目である。設計、工程計画、製作の流れを意識した学びこそ上手なものづくりのキーポイントとなる。これより、人の発達段階に応じて、各期で目指す修得すべきものづくり学習の内容について、具体的に述べる。

○第 0 期

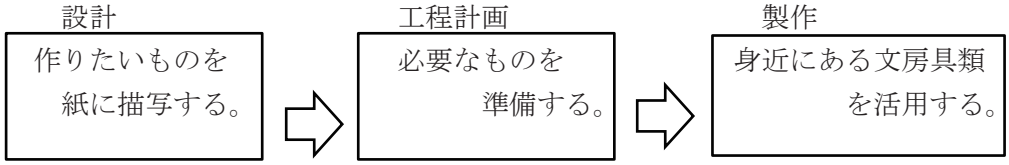

図 2　第 0 期でのものづくり学習の流れ

第 0 期は、幼少期から小学校中学年までの期間である。この時期は、ものづくりというより、日頃の遊びの中でつくる喜びを見いだすことで十分である。知覚していない事象について心に描く表象的時期である。一枚の紙を使って折ることで、あるいは粘土をこねることで、新たな動物等の形が出来上がったときの喜びは格別のものがある（図 2 ）。身近にある材料、身近にある道具を使って、好奇心の赴くままに楽しむことが目的となる。

○第 1 期

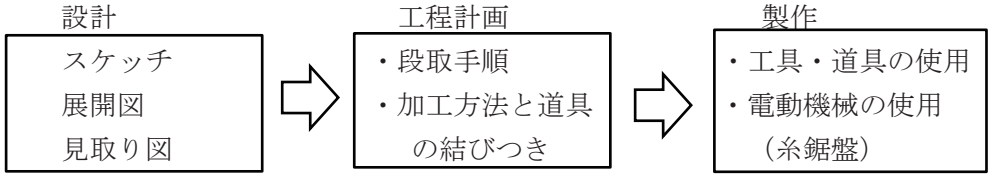

図 3　第 1 期でのものづくり学習の流れ

第 1 期のものづくり教育は、小学校高学年から中学校前半までの、いわゆる義務教育期間

でのものづくり教育である。人の発達過程において最も影響のあるこの時期は、抽象的思考が発達する時期で、広い視野で物事をとらえられるようになり重要である。元来、ものづくりという行為は型にはまったものではなく、好奇心旺盛なこの時期には、自由な発想で、作りたいものを意識することから始める。作る際には前もって、発想をスケッチしたり、図に表すことで、製品の具体的イメージを客観的に把握することができる。そして、道具や機械などの準備と共に加工の具体的イメージをもつ。これが工程計画の役割であり重要な作業であることを自覚する（図３）。材料は身近にある紙や木片を使い、日頃の生活に生かせるものづくりを考えればよい。ものづくりの根底となる考え方を修得することにある。

〇第２期

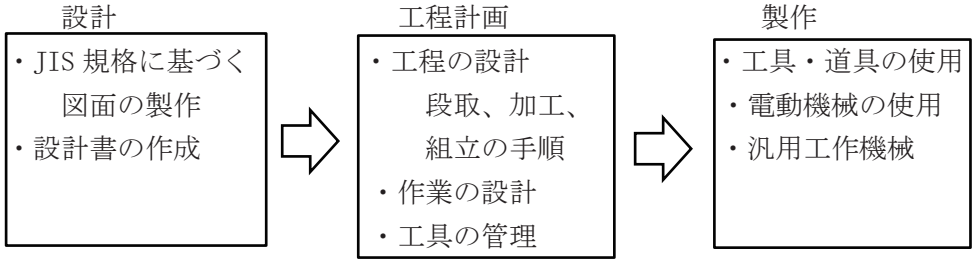

図４　第２期でのものづくり学習の流れ

第２期は、中学校後半から高等学校までの期間で、理屈に合うものづくりを目指す期間である。科学的に事象を捉える力も安定し始め、学問的知識もまた大きく増える時期でもある。ものづくりの基礎となる JIS 規格を学び、設計書を読み解く読解力を身に付けて、設計、工程計画、製作の役割を理解して、製品として適切な製作方法を展開することができる（図 4）。

〇第３期

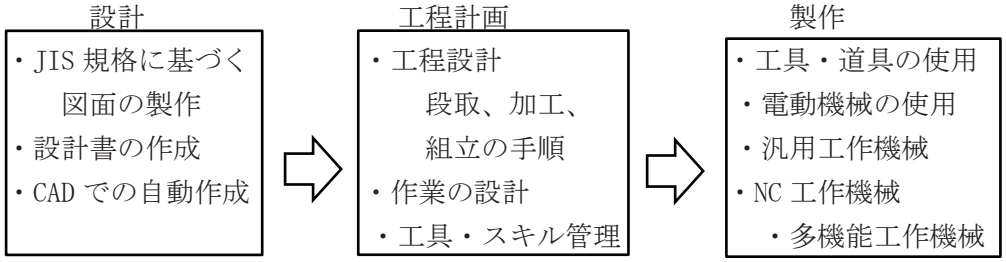

図５　第３期でのものづくり学習の流れ

第３期のものづくり教育は、大学から一般社会人（ビギナー）にかけての期間である。人として分別ある判断力、専門的知識力も身につき、社会への貢献を目指す時期である。さらに、この時期は、ものづくりの基礎基本の知識や科学的思考能力も発展・定着し、スマートなものづくりを目指す期間でもある。　設計にはコンピュータ、工程計画では手順の効率化、製作では複合機械の活用を考えながら、常に状況を分析して、最適な方法と競争力あるものづくり方法を意思決定すると共に、さらなる科学的思考力強化をはかる（図５）。

○第 4 期

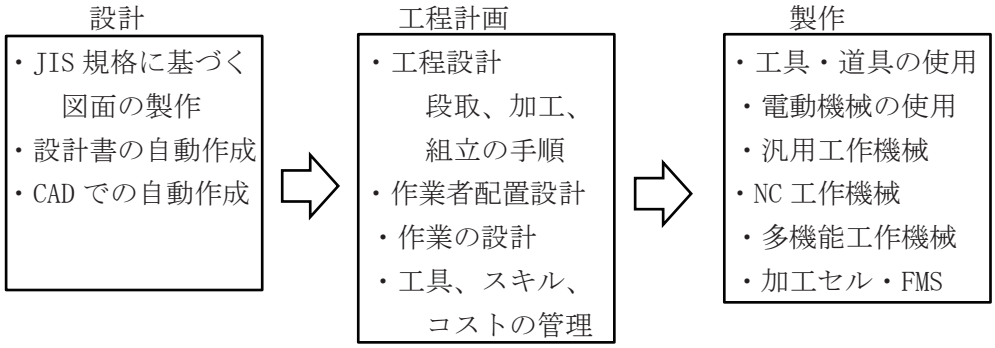

図 6　第 4 期でのものづくり学習の流れ

第 4 期目は日々が学びという最終的なものづくり教育の集大成を目指す時期である。そして、人としての成熟段階であり、人としての振る舞いに責任をもち、ものづくりのプロとして、社会に役立つ人材となる時期である（図 6 ）。この時期の学びは特徴的で、今まで学んできた設計、工程計画、製作に関わるものづくりの知識（図 7 の製造プロセスに相当 ）に加えて、素材の調達管理、製作に関わる生産計画・原価管理、製品の販売計画など全般に生産にかかわるマネジメント知識が必要になる。そのためには、製造に関わる工業的専門知識のみならず、会計、経営、戦略に関わる知識もまた「つながり」をもって学ぶ必要がある。ここでは、競争力ある戦略的ものづくりの方法論を確立することが肝要である。

以上より、各期での人の発達に関わるものづくり学習の流れは、最終的に第 4 期でのものづくり教育に集約され、体系的な学習が可能になる。図 7 に全体的なものづくり教育としての学びの全体像を表す。

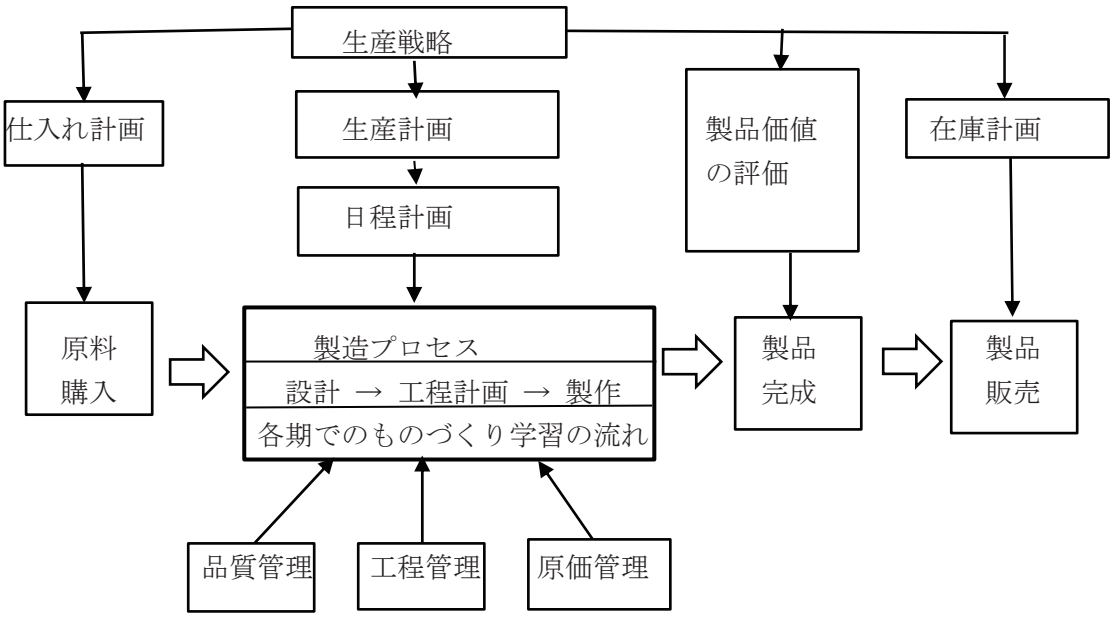

図 7　人の発達段階に応じたものづくり教育の学びの全体像（1 期～4 期）

2.3 地域ものづくり教育において追求する高品質製品の概念

子どものころから継続してものづくりの対象として考える代表的製品は、身近な材料を使って遊びの中で触れ合ってきた玩具類がわかりやすい。玩具といっても、人の成長とともに、単なる木製幼児おもちゃから、からくりおもちゃ、ミニチュワ組立機械模型、電子制御模型、家庭用 AI 搭載ロボットに至るまで、様々なものとしてとらえやすい。このような製品を将来を見据えて価値あるものとしてとらえて生産してゆくために、考えるべきいくつかの論点が存在する。

① 材料として地域特産物の活用

地域特産の材料を使って製品をつくることで、材料仕入れのための輸送費や原価を抑えることができ、納期も短縮できる。また、地域特産のブランド品としての価値も高まる。

② 分解しやすい製品設計を試みることである。

製品が故障した場合やメインテナンス時には分解する必要がある。そのためには製品構造として分解・組立しやすいように設計上配慮する必要がある[6]。また、製品寿命に到達した製品を廃棄する場合にも分解して、分別できる。

③ 製品のライフサイクルを高めることである。

電子制御された玩具製品は、いくつかの基板で構成されている。故障の際は直ちに廃棄するのではなく、まず修理することで、製品のライフサイクルを高める必要がある。ただ、修理といっても、今の時代は故障箇所を診断して当該部品そのものを交換するのではなく、その部品を含む 1 枚の基板全体を新しいものと交換する場合が多い。正常な部品は継続して使用するべきで、そのためには故障個所を正確に特定できる技能・技術をもつ熟練者を育て、故障部品のみを取り替えるという修理本来の姿を取り戻す必要がある。そのためには、熟練技能者の計画的養成も欠かせない。

④ 価値ある製品として生産することである。

製品価値とは顧客満足の抽象的表現であり、定義して論じる必要がある。ここでは、単純に、製品の性能値と原価の比率で考える。従って、製品性能値が一定であれば、原価の低い方が、顧客満足度は高く価値が高いといえる。一方で、原価が一定であれば性能の高い方が、顧客満足度は高く価値も高いと考える。従って、常に顧客満足度の高い製品を生産してゆくことが求められる。

2.4 サプライチェーンと融合化された産業知識の必要性

地域ものづくり教育として考えるモデルは、製造プロセスだけでなく、地域特産の原料の仕入れから始まり、製品完成後には製品を販売して消費者に届けるまでのサプライチェーンを考えることである。そのために必要な知識は、ものづくりのみの工学的専門知識だけでなく原料となる地域特産物の素材の知識である。原料が木材であれば林業のアグリ系知識をベースにしながら、製品にするための加工機械・道具の開発や製品化の方法は、まさに工学系知識を必要とする。製品の販売においては、販売する方法や原価管理の実践という商い系の知識である。このようなサプライチェーンのマネジメントこそが、まさに地域におけるものづくり産業を支える根源であり、産業全体の知識のつながりとともに知識は融合された形で活用することが有効である。

2.5 手作業生産の熟達化

地域でのものづくり産業の現状を考えるとき、現代的なコンピュータによる多種少量・極少量生産の形態であれ、伝統的な一品生産形態であれ、熟練者によって手作業で製品精度をあげて、製品を仕上げる場合が多い。熟練者が製作に関与した製品の品質精度は、機械製作のものを越えており、卓越したものがある。作業者の技能・技術を高める訓練は、どの時代においても必要であり、それに見合う対価が求められる。とくに、地域ものづくり産業を考えるとき、高価な自動機械の開発も必要ではあるが、人のスキルを向上させ、人を育てる工夫もまた必要となる。

人の作業熟達化は、製品の製作段階においても必要となるばかりではなく、故障した製品を修理する際の故障診断技術の向上にも大いに求められることになる。人の熟達化の進度は様々である。人の成長とともに、訓練回数の増加とともに、直線関数的あるいは指数関数的にスキル上達する場合は理想的である。中段休止型といって途中までは順調に上達するが、そこでスキルが頭打ち状態になり、やがてコツを得て急激に上達する場合もある。最後のパターンは、スキルが頭打ち状態になってからもブレークスルーできず、その状態が継続する場合である。いずれの場合も、作業者の熟達特性を把握しながら、適切に作業者の熟練化を図ることが重要である

３．産業知識の融合化と新しい製品設計哲学

3.1 地域ものづくりで適用する産業融合知識

ものづくりを実践する際に掲げる目標としては、納期を満たす目標、費用を抑える目標、利潤を最大にする目標など多くのものがある[7]。これらの目標を実現するためには、各種産業の知識を融合化して把握し、対応して行かなければならない。たとえば、目標として費用最小化を掲げた場合、仕入れとなる木製材料の種類・特性に関してはアグリの知識が必要であるが、併せて材料自体の価格、その運搬費用など会計面での知識が同時に発生することになる。そして、加工現場で製品化されるが、製造に関する原価計算を終えて、販売のための出荷になる。製品価格の設定は、製造原価との兼ね合いで設定するが、市場価格を検討することで経営自体が難しくなる場合もある。この流れの中で適切に地域ものづくりを継続的に行うには、種々の産業に関する融合された知識をもち、その都度、適切な意思決定を行ってゆく必要がある。

製品修理や製品廃棄を考えるとき、分解しやすい製品設計を行う場合には、一体型ケーシングからパーツを分けてねじ止めによるケーシングにするなど設計変更による工程数が増え、費用がかかることになる。その対応策として、他のパーツの材料を安価な高分子材料にするなど知識をつなぎながら、工夫し、改善を図ることが求められる。とくに、地域において、資本金の少ないものづくり産業では、労働力不足から機械化に頼る傾向があるが、高度な機械開発にあまりにも依存するのではなく、残された人手でスキルを高めあい、作業者の多能工化を目指して技能・技術訓練を行う方が望ましいと考える。

組立作業においては、複雑な手の動きを伴うため、機械化といっても自動組立機械の開発やロボットの導入は費用面で容易ではない。その点において、人は作業の融通性（フレキシビリティ）は高く、訓練すればするほど組立精度を上げた作業を実施することができる。

3.2 リユース概念を導入した新しい製品設計学

社会に役立つ製品設計を目指すには、リユース部品の展開を念頭に入れた製品設計を考える必要がある[8]。電子制御された玩具を分解するといくつかの制御基板で構成されている。玩具製品が耐用年数を越えて、故障した場合は破棄の対象となるが、耐用年数以内の故障は修理して使い切ることを目指す。製品の耐用年数の定義について、次のように考える。

今、基板 A*, B*, C*で構成される玩具製品 PA がある。基板 A*, B*, C*は、それぞれ 3 つの部品から成り立っている。基板ごとの個々の部品の寿命時間が、以下のように示されている。

表２　製品 PA の構成と部品の寿命時間

製品	基板	部品	寿命時間	基板寿命時間	製品寿命時間
PA	A*	a1	$\alpha 1$	TA=*Min*(α i) (i=1, 2, 3)	T_{PA}=*Min*(TA, TB, TC)
		a2	$\alpha 2$		
		a3	$\alpha 3$		
	B*	b1	$\beta 1$	TB=*Min*(β i) (i=1, 2, 3)	
		b2	$\beta 2$		
		b3	$\beta 3$		
	C*	c1	$\gamma 1$	TC=*Min*(γ i) (i=1, 2, 3)	
		c2	$\gamma 2$		
		c3	$\gamma 3$		

これより、製品 PA の製品寿命は、T_{PA} = *Min*(TA, TB, TC)であり、製品自体の耐用年数は、$T_Z = \varepsilon \times T_{PA}$　(0＜ε≦1) として考える。

ここで、製品 PA が故障した場合を考える。製品 PA は修理対象となるため、分解され、構成するすべての部品が修理のためチェックされる。故障部品が特定されたとき、その部品を含む基板全体を交換するのではなく、あくまでも特定された故障部品のみを正常な部品と交換して製品を再び使うことを目指す。正常な部品とは、必ずしも未使用の部品でなくてもよく、廃棄製品の中から寿命時間の残っている部品（リユース部品）を適用することも考えられる。

具体例として、ある製品 P は 1 枚の基板で構成され、基板上に 3 個の部品が取り付けられている場合を考える。それらの部品の寿命を T^P_i(i=1, 2, 3)とする。

この製品の寿命期間は、T^P_X=*Min*(T^P_1, T^P_2, T^P_3)であり、製品自体の耐用年数は $\varepsilon \times T^P_X$ で表される。今、新製品 P が t 期間使用され、故障ではないが、その製品を廃棄したとする。その廃棄品を分解し、3 個の構成部品を取り出して、リユース品として登録する。新たなリユース部品の寿命は、それぞれ T^P_1-t, T^P_2-t, T^P_3-t として登録される。

同じ種類の部品で構成される他の製品が故障した場合、分解して故障部品を特定し、リユース品などと入れ替える。このとき、修理した製品を構成するすべての部品の寿命時間も更新され、修理製品の新たな耐用年数が確定されることになる。

４．技能・技術の訓練計画と製品開発論

4.1 スキル上達のための訓練計画法

人は成長するとともに、精度の高いものづくりを目指すことになる。そのためには、技能・技術を磨く努力が必要である。また、製品修理の際の診断技術の向上も目指すことになる。そこで、ものづくり教育区分が第 0 期から第 4 期へと進むにつれてスキルが上達するよう訓練計画を立てておくことが肝要である[1, 9]。

スキルの熟練化には 2 つのアプローチがある。繰り返し作業による熟練と知的熟練である。繰り返し作業による熟練は、単に同じ作業を繰り返すことで、慣れることでスキル向上を目指すものである。とくに単純作業では、手先が覚えることでスキルが向上するものである。知的熟練は、知識を持つことでスキル向上をはかることである。作業の根底にある理論となる知識を見つけ理解して作業をすることで、スキルは飛躍的に高まることになる[9]。とくに、第 3 期、第 4 期のものづくり教育には、知識についての教育・訓練が大いに必要になる。

人の技能の熟達パターンには、4 つの場合があることは述べてきた。訓練回数とともに急速に上達する指数型、直線的に増加する直線型、最初は急激に上達するがやがて頭打ちとなり、その後コツを取得して急激に伸びる中段休止型、技能が早い段階で頭打ちになる停滞型のパターンなどである。いずれのパターンにおいても、技能レベルの上達は、分類して関数で管理し、技能の熟練化関数として考える。

図 8 に一般的な熟練化関数を表す。関数の特性は、技能レベルの目標を Xoo としたとき、時間の経過とともに y=Xoo なる目標値に次第に近づくことになる[1,9]。

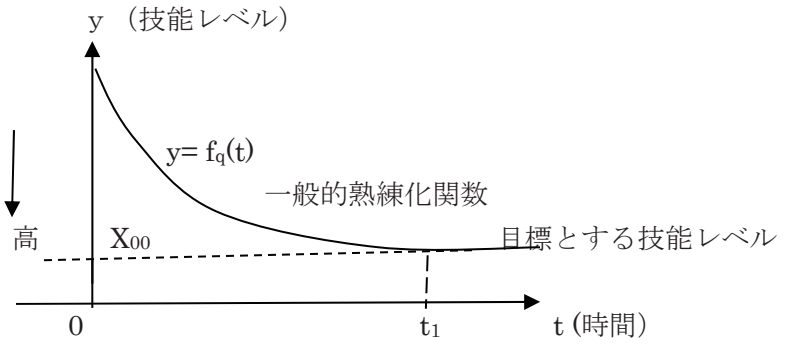

図 8　熟練化関数の一般形

ここで、作業者 q の熟練化関数を $y=f_q(t)$ とする。
技能レベル Xoo に到達するまでの作業者の訓練による労力量を次のように定義する。

$$\int_0^{t_1} (f_q(t) - X_{00})dt \qquad \cdots\cdots \quad (1)$$

作業者の訓練を行う際には、上式の労力量を最小にするように計画をたてる必要がある。その訓練形態として、次の訓練がある。

・一人訓練（個人訓練）モデル
作業者個人の経験に基づき、一人で考え、工夫しながら繰り返し訓練を行い、技能上達を試みるモデルである[1, 9]。
・チーム訓練モデル
複数の作業者を一つのチームとし、互いに協力し合って、技能上達を試みるモデルである。とくに、作業者が 2 人のみの場合を二人訓練モデルという[1, 9]。

チーム訓練モデル、とくに 2 人訓練モデルの特徴は、パートナーとなる訓練相手の技能レベルによって、訓練方法を変化させる必要がある。パートナーとなる相手との技能レベル差が大きい場合には、技能的に勝る作業者が終始他の作業者を指導することになる。技能レベル差が接近している場合には、その時点で技能的に優位にある作業者が指導的立場になるが、技能レベルが逆転した場合には優位な方が指導するという繰り返しの訓練になる。図 9 は技能レベルが逆転する場合を示す。t_0 時間までは技能レベルの高い作業者 2 が作業者 1 を指導し、技能レベルが逆転する t_0 時間以降は作業者 1 が作業者 2 を指導することになる。従って、作業者 1 と作業者 2 の 2 人訓練の場合のお互いの熟練化関数は、時間的推移において熟練化関数の値が高レベルとなる作業者（知識と経験が優位にある作業者）の熟練化関数に沿うことになる。

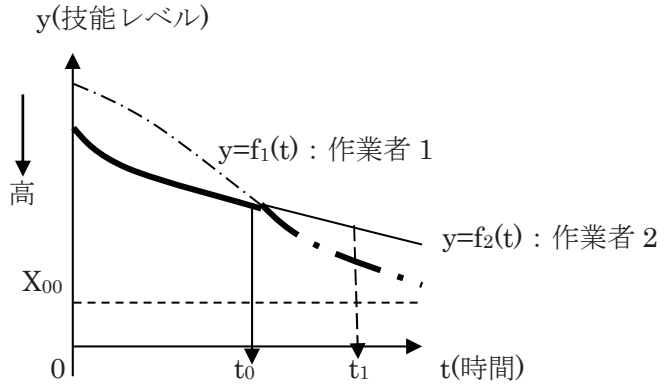

図 9　2 人訓練の場合の一般的熟練化関数[1]

従って、$0 < t \leqq t_1$ までの区間における技能指導について考える。今、$0 < t \leqq t_0$ 間は作業者 2 が、$t_0 < t \leqq t_1$ 間は作業者 1 がリーダーシップをとって作業を実施することになる。このとき時刻 t_1 までの間で目標値 X_{00} に到達するまでの労力量は次式となる。

$$\int_0^{t_0}\left(f_2(t)-X_{00}\right)dt+\int_{t_0}^{t_1}\left(f_1(t)-X_{00}\right)dt\cdots \quad (2)$$

n 人（n ＞2）の訓練者に対して、2 人訓練を効率的に実施する場合には、総労力量が最小となるようにパートナー選びを実施することが望ましい。そこで、作業者 M_i と M_j がパートナーとなった際の労力量を表形式で表す。

表３　２人訓練の労力表

作業者	M_1	M_2	M_3	・・・・	M_n
M_1		α_{12}	α_{13}	・・・・	α_{1n}
M_2			α_{23}	・・・・	α_{2n}
M_3	［対称行列］			・・・・	α_{3n}
・・・					・・・・
M_n					

この表を基に、総労力量最小化基準のもとで最適なパートナーを選ぶために、０－１変数 z_{ij} を導入する。$z_{ij}=1$ のとき作業者 i と作業者 j が パートナーになることを意味する。 $z_{ij}=0$ のときはパートナーにならない。 α_{ij} は作業者 M_i と作業者 M_j がパートナーとして訓練したときの労力量を示す。これより、以下のように定式化され、分岐限界法によって、最適解（最適パートナー）を求めることができる{1, 9}。

$$Min.\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\alpha_{ij}z_{ij} \qquad \cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

$$subject \quad to$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_{ij} = 1 \qquad (i = 1,2,...,n) \qquad \cdots\cdots \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n} z_{ij} = 1 \qquad (j = 1,2,...,n) \qquad \cdots\cdots \quad (5)$$

$$z_{ij} = z_{ji} \qquad \cdots\cdots\cdots \quad (6)$$

$$z_{ij} = 0, 1 \qquad \cdots\cdots\cdots \quad (7)$$

作業者の技能熟練化を目指すことは、地域におけるものづくり教育にとっては大きな武器になる。熟練した技能があれば、製品自体の精度向上にも役立ち、また隣接工程も受け持てるようになれば効率的な多能工化の実現も可能となる。技能・技術習得のための訓練方法も、個人で行うよりもチームで行う方が労力量を考えたとき、効率的であるといえる。

4.2 作業熟練と高付加価値生産

地域におけるものづくりの原料として地域特産物を活用することが有益であり、特徴的な製品となることを述べた。とくに伝統的ものづくり産業は、地域に根差したものがあり、そのものづくりには熟練者の技能もまた考慮すべきである。

製造プロセスでは設計段階、工程計画段階、製作段階に分けて考える必要がある。

設計段階では製品のコンパクト化、軽量化、ダウンサイジングを追求することである。製品破棄時や修理時のことも考慮に入れて、安全性を損なわない範囲内で分解可能な構造設計を考慮することも述べた。

工程計画段階では、作業表をもとにアローダイヤグラムやガントチャートを描き、作業改善を図る。とくに時間的余裕のない作業には十分配慮し、熟練者を配置して作業の迅速化・高精度化を図る。一方、時間的余裕のない作業と並行した周辺作業においては、十分な余裕時間があれば、必ずしも熟練者を配置する必要はない。熟練者の単価は高いので、経費も考えながら、人の配置も考慮する必要がある。

製造段階は実際の製作現場であり、工程計画に基づいて、加工・組立を実践し、製品化する段階である。品質管理、原価管理を徹底する必要がある。

製品の販売価格は、原則的には製造原価をベースにして利益を加えたものであるが、市場価格も考慮しながら、設定する必要がある。価格を抑える必要が生じれば、製造原価の改善に踏み切る必要がある。そのためには設計段階・工程計画段階・製造段階の再検討や材料仕入れの種類・供給の再検討などフィードバックして、サプライチェーン全体を考えて、総合的に再検討を加えた生産体制の確立が望まれる。

５．ものづくり教育で必要となる製品に関わるコストマネジメントと生産ストラテジー

人の発達段階において集大成となるものづくり教育は、各期において培った知識をもとに、種々産業における知識や地域・生活にかかわる知識等を総動員させ、それらとのつながりを重視し、一体化して活用することである。いわば、地域という特徴を生かしたものづくりの生存戦略となる。

5.1　技能レベルに応じた製品製作のための生産ストラテジー

人は上手なものづくりを行うために、技能レベルの向上を目指して、人の発達各期で教育・訓練してきた。手づくり品の製作では、作業者の技能レベルに応じて作業時間も異なり、またその作業に関わる経費も異なる。従って、顧客から指定された納期を満たす（生産時間最小化）生産体制を組みながら、経費も抑える（経費最小化）努力が望まれる。

今、製作する製品が 12 種類の作業（作業 A～作業 L）から成り立っているとする。作業者としては、熟練者である上級技能作業者と熟練域まで到達していないが通常の技能レベルである中級技能作業者の 2 種類のタイプが一般的に存在する。その中から本作業の担当者を 2 人とする。作業者の単価は、上級技能作業者で¥60/分、中級技能作業者で¥30/分とする。表 4 は、各作業での作業時間を作業者別に示したものである。また、製品の工期を 50 分とする。

表 4　各技能レベルをもつ作業者の作業時間（単位：分）

作業 / 技能レベル	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
中級技能作業者	2	20	24	3	1	5	7	3	6	4	6	4
上級技能作業者	1	13	14	2	1	4	5	2	5	3	6	4

図 10 は、製品を製作する際の 12 の作業に関する先行作業表をもとに、PERT 手法で作業手順のアローダイヤグラムを作成したものである。作業の時間的余裕のないパスをクリ

ティカルパスといい、太線矢印で表す。クリティカルパス上の作業は、作業の遅れが直接、工期遅れにつながることになる。

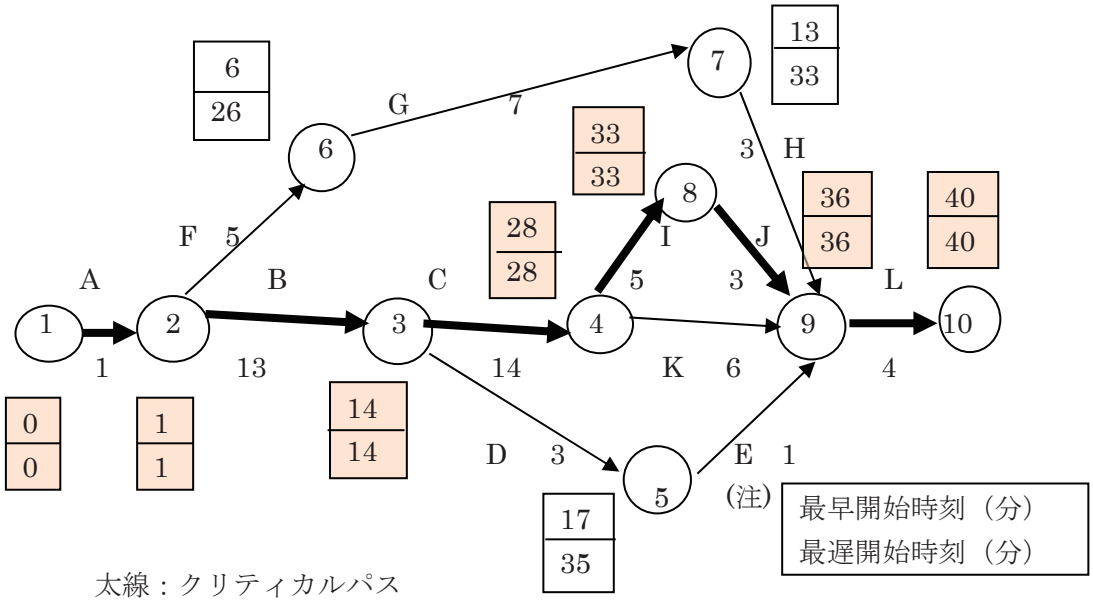

図 10　上級技能作業者（クリティカルパス上を担当）と中級技能作業者（クリティカルパス以外を担当）のアローダイヤグラム

これより、クリティカルパス上での作業とクリティカルパス以外の作業に分けて、作業者ごとに、担当作業時間とその経費を表 5 にまとめた。

表 5　計算結果

	単価（円）	クリティカルパス		クリティカルパス以外	
		作業時間（分）	経費（円）	作業時間（分）	経費（円）
上級技能作業者	¥60/分	40	¥2,400	20	¥1,200
中級技能作業者	¥30/分	60	¥1,800	25	¥ 750

これより、クリティカルパスを上級技能作業者の担当であれば 40 分であり、工期の 50 分を満足する。中級技能作業者の担当であれば、60 分となる。この場合は工期遅れとなり、ペナルティにつながることになる。クリティカルパス以外の細線矢印（図 10）の作業は、時間的余裕があるため、中級技能作業者の担当で十分である。経費分については、上級作業者はクリティカルパス分の 40 分担当であり、¥2,400　(40×60=2,400)となる。中級技能作業者の担当分は、クリティカルパス以外であり、¥750 (25×30=750)となる。従って、製品製作のための全作業に係る経費は、¥3,150　(2,400+750=3,150) となる。

結果として、工期を満たすためには、クリティカルパス上の作業は上級技能作業者に割り当てる。クリティカルパス上の作業は余裕がなく作業遅れは許されないためである。製品完成までの時間は 40 時間となる。2 人での作業のガントチャートを図 11 に示す。

クリティカルパス以外の作業はガントチャートに示すように時間的な余裕があるため、中級技能作業者に割り当てることで作業者に係る全体経費を¥3,150 に抑えることができる。

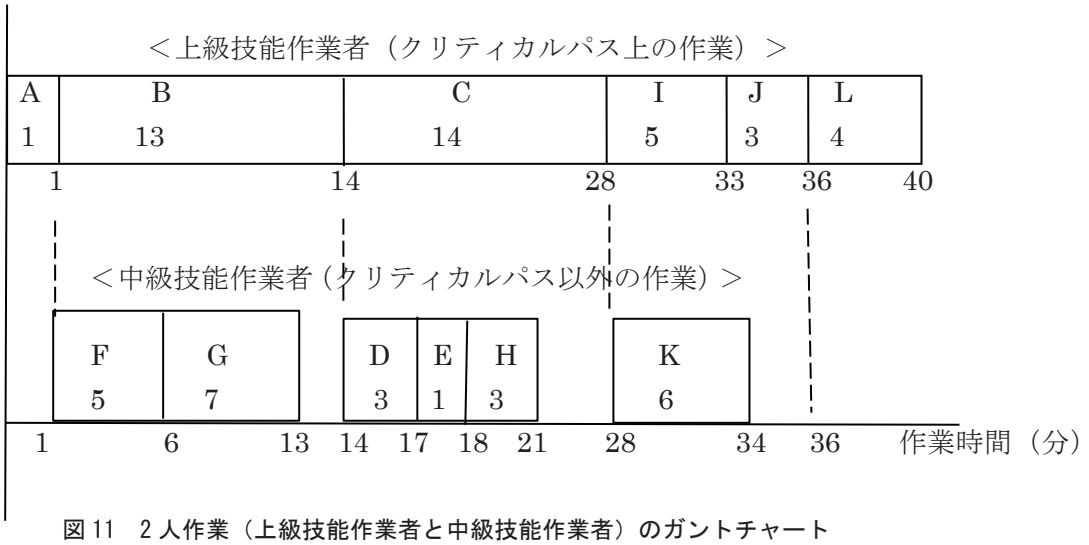

図 11　2 人作業（上級技能作業者と中級技能作業者）のガントチャート

5.2　製品製作におけるコストマネジメント

製品完成後は、価値ある製品として、製造に関する原価計算を実施しながら、価格を決めて販売することになる。

販売価格は、通常なら総原価をベースにして、その上に利益を載せて設定するが、販売競争に負けないためには、市場での取引額を参考にして決める市場ベースのアプローチをとらざるを得ない。そのためには、できるだけ製造時の原価を抑えておく必要がある。

製品の製造原価は、製造直接費と製造間接費の和として定義される。製造直接費には、直接材料費、直接労務費、それに外注など直接的にかかわる経費が含まれる。製造間接費は、製造作業の補助となる経費で、たとえば保全費や電力費などがあげられる[7]。

製品の製造原価計算法について以下に示す。

製作した製品は、3 個のパーツを加工して組み立てることによって成り立っているものとする。表 6 にその算定シートを示す。

表 6　製品の原価算定シート

部品数量	材料費 単価(円)	材料費 計(円)	工程	作業時間(分/個)	直接労務費 単位時間当り(円/分)	直接労務費 計（円）	製造間接費 単位時間当(円/分)	製造間接費 計（円）	製造原価(円)
3	100	300	・加工	50	12	(600x3) 1,800	6	(300x3) 900	
			・組立	60	10	(600x3) 1,800	5	(300x3) 900	
		300				3,600		1,800	5,700

これより、この製品の製造原価は1台で¥5,700 となる。この原価に利益を載せて価格設定となるが、市場の状況をチェックして、最終的な販売価格を意思決定することになる。このように、ものづくりの価格設定まで考慮することは、人の成熟段階でのプロとしてのものづくりであり、地域ものづくりの生存戦略となる。プロとしてのものづくりは、単に製作技術だけではなく、材料の調達から製品の製作・販売に至るサプライチェーンを知識としてもつ必要がある。原価をさらに抑える必要があれば、さらなる工程の改善や品質を損なわない材料選定の変更、製品設計の変更、人件費の見直しなど、大局的観点から正しく状況を把握することが重要である。

６．まとめと考察

ものづくりという学問は、多くの教科の集合体で成り立ち、理論と実践を備えたものである。従って、人の発達段階に寄り添って、幼きころより理論学習と体験学習を積み重ねて知識を蓄えていく学問である。人の発達段階を第 0 期から第 4 期へと展開し、その発達状況に合わせて「知行合一」の精神をもつものづくりの学びの内容を明らかにし、段階的に高度な知識を取り込んでいく教育の必要性を示した。第 0 期から第 1 期でのものづくりは、身近にある木材、竹、和紙、粘土など地域の特産物を活用して遊びの中から創造力を高めてきた。自然素材から作られるからくりおもちゃなどの動きは、真に芸術的で、動きを産み出すメカニズムの感覚的ひらめきは、この時期の人の発達に大きな影響を及ぼしている。第 2 期・3 期では、学校教育の中での教科学習によってもたらせられる知識の獲得と体験が大きく、興味本位のものづくりから、社会に役立つものづくりへと変貌する中で、個人個人のスキルの向上と共に知識同士のつながりや体験のつながりなど知識のネットワーク化が徐々に進むことになる。第 4 期においては、人の成熟期に相当し、これまで構築してきたスキルの高度化、知識のネットワーク化をさらに向上させ、活用し、ものづくりのプロとして、学びの集大成として極める時期である。そして、社会に役立ち、くらしを支えて、自信をもって物事に対処できることが期待される。

文献

[1] 大橋和正、人の発達段階を考慮したものづくり教育の体系化、風間書房、2015.
[2] J.ピアジェ（著）、中垣啓（訳）、ピアジェに学ぶ認知発達の科学、北大路書房、2012.
[3] 永江誠司、子どもの思考と言語システムの発達と脳―神経発達心理学序論(Ⅳ)―、福岡教育大学紀要、第 55 号、第 4 分冊、pp.177-193,2006.
[4] 安彦忠彦（編）、子どもの発達と脳科学―カリキュラム開発のために、勁草書房、2012.
[5]岡山大学教育学部一貫教育専門委員会、附属学校園における幼・小・中一貫教育の理論と実践―考える力を育てることばの教育―、pp.7-8, 2013.
[6] 梅田靖、インバース・マニュファクチャリング、工業調査会、1998.
[7] 人見勝人、生産システム工学、共立出版、1990.
[8] 大橋和正、“循環型産業システムの物の流れに関する研究”、日本生産管理学会論文誌、Vol.6, No.1, pp.55-58, 1999.
[9] 大橋和正、ものづくりの知的熟練化のための訓練計画理論、吉備人出版、2019.