

製造現場の生産・品質管理のための暗黙知の体系化

品質マネジメント研究

5218F004-7

石井 光

指導教員

棟近雅彦

Systematization of Tacit Knowledge for Production and Quality Control at Manufacturing Site

ISHII Hikari

1. 研究背景と目的

近年の製造業では、顧客要求の多様化とともに、多品種少量生産への対応力が問われている。本研究で事例として取り上げる印刷業においても、取扱製品の種類が増え、顧客の要求品質も高まっている。特に、色、柄の再現性の判断基準は複雑度が増している。また、長年にわたる商慣行の影響もあり、受注時点で要求品質が必ずしも明確に定まっていなかった場合もある。

一方、製造現場では、資材の状態や後工程での処理も考慮した、製造目標としての設計品質を満たすことに注力している。設計品質を左右する生産条件は毎回異なることから、個々の作業判断は、作業員の属人的な努力や経験、職人技に依存する度合いが高く、組織内で共通認識になりにくいという特徴がある。

そこで、品質の維持、向上に関して、製造現場を支える暗黙知を抽出して可視化し、実践的な生産・品質管理に役立つ形として体系化することを目的とする。なお、長年にわたり建材印刷を行っている C 社を事例とする。

2. 従来研究と研究方法

2.1. 従来研究

暗黙知に関する従来研究の代表的なものひとつとして、野中ら[1]の研究がある。野中らは、個人と組織の暗黙知と形式知が知識変換されていくことで、知識の内容が発展し、組織的知識創造がされるという SECI モデルを提案している。このモデルでは、形式知と暗黙知の知識変換プロセスを、共同化、表出化、連結化、内面化の4つのプロセスで表している。このプロセスにおける表出化は、暗黙知を形式知に変換するプロセスである。野中らは、組織内での意味のある対話を重ねることによって、表出化は引き起こされると述べている。

松木[2]は、熟練作業員の持つ技能を抽出する方法を示している。この研究では、鋳造、鍛造などの加工技術について、熟練作業員の持つ判断の技能のうち、圧力など数値で表現できる技能の暗黙知を対象としている。熟練作業員の判断結果に関するインプットとアウトプットを収集し、それらを成立させるアルゴリズムを構築することによって、暗黙知を抽出している。また、抽出した暗黙知について、その代替となる計算機システムを開発している。この研究では、熟練技能者の持つ数値で表現できる暗黙知を抽出する方法を示しているが、暗黙知の抽出を容易にするための方法は提案していない。

2.2. 本研究で対象とする暗黙知

印刷の製造現場において、作業員はまず、製造する製品の仕様を確認する。その上で、製品ごとの過去の生産実績や、欠点に関する留意点を想定し、設計品質を満たすための作業項目や判断基準を定めていく。このような個々の判断は、製造手順書に明示されているガイドラインをもとに行うものの、気温、湿度などの環境条件や、原反やインキなどの資材の状態が毎回異なることから、作業員が持つ暗黙知に負う部分が多くなる。

本研究では、製造において要求品質を満たすための、設計品質に着目する。そのため、対象とする暗黙知は、設計品質を満たすための作業項目と判断基準になる。これは、野中らが対象とする新しい知識を創造するための暗黙知や、松木が対象とする計算機システムに代替できる暗黙知とは若干意味が異なる。設計品質に関する暗黙知を明らかにすることによって、明確に定まっていなかった要求品質を明らかにすることにもつながる。

2.3. 研究方法

本研究では、製造が難しいとされる製品に着目し、暗黙知を明らかにする。難易度が高い製品ほど、設計品質を満たすために製造現場でなされる工夫が多岐にわたるため、より多くの暗黙知が存在していると考えられる。また、製造が難しい製品の特徴についても、作業員の間で共通の理解になりにくくなっている。

そこでまず、品質と生産性の両方の観点から、製造が難しいとされる製品を特定する。両方の観点をを用いる理由は、この2つにトレードオフの関係が存在するからである。生産実績データを定量的に分析し、一定の頻度以上で欠点が生じている製品と、生産時間が長い製品を抽出する。

つぎに、これらの製品で欠点が多く、生産時間が長くなっている理由を、作業員へのヒアリング調査をおこない、明らかにする。そして、明らかにした理由への対策について、印刷機の原理と印刷工程のメカニズムをもとに、暗黙知に関する仮説を立て、意味合いを確認しながらヒアリング調査を行い、明らかにする。

以上の手順を、生産・品質管理活動のための暗黙知の抽出・体系化手順としてまとめる。さいごに、抽出した暗黙知の特徴を整理し、製造現場の設計品質と生産性の向上のための指針を示す。

3. 暗黙知の抽出・体系化手順

3.1. 品質の観点による製造が難しい製品の特定

製品の製造難易度を3段階（A/B/C）に区分した上で、

難しい製品をランク A として選別する。そのために、品質と生産性の観点から、製造時間や歩留まり率が記録されている過去 2 年分の生産実績データ 4,751 件を分析する。本研究では、ランク A とする製品数が、全製品のうち上位 10%となるように抽出基準を定めることとする。また、10 の製品カテゴリーを対象とする。なお、C 社では、紙の種類と、どの製造機械で製造するかによって、製品カテゴリーを分けている。

欠点の発生頻度を分析するために、まずどのような欠点が存在しているか明らかにする必要がある。検査や品質保証の実務の実態を観察し、作業現場で用いられている 54 個の欠点名を洗い出した。その結果、これらの欠点名には現象と要因の 2 種類が混在していることが判明した。そのため、欠点の発生形状と印刷のメカニズムを踏まえて、欠点を 7 つに類型化し、現象と要因の関係性を明らかにした。結果を表 1 に示す。

表 1. 欠点の類型化

欠点名	説明
1) 見当調整・見当ズレ	見当調整：原反を印刷機に合わせる過程でのズレ 見当ズレ：見当調整後の印刷機内での原反のズレ
2) シワ・シボラレ	印刷機内の原反のズレによって表面に生じる不具合
3) ムラ	印刷機内の原反のズレによって色・柄の再現が均質でない状態
4) 汚れ・スジ	ドクター、円筒、圧胴などの機構が適切に作用しないことでの、色・柄の不具合
5) 抜け	原反上の異物や圧胴の凹みなどによる、色・柄の不具合
6) 異物・凹み・剥れ	異物の付着やインクの剥がれなど印刷物の表面に物理的に生じる不具合
7) トーンジャンプ	柄・版の構成上の特徴により色・柄が適切に再現されていない状態

類型化の結果、欠点の発生要因は大きく 2 つに分類できることがわかった。表 1 の 1)~3)の欠点は、原反を印刷機に正しく通せなかったことによって発生する欠点であり、4)~7)の欠点は、印刷機の主な機能、機構を正しく操作、調整できなかったことによって発生する欠点である。

生産実績データを用いて、各製品の歩留まり率や欠点による破棄メートル数、欠点の発生頻度を分析した。その結果、歩留まり率と破棄メートル数は、突発的なアクシデントによる欠点の影響が大きいことがわかった。そこで、欠点の発生頻度を分析し、表 1 の欠点 7 類型いずれかの発生頻度が 50%を超えている製品を、ランク A とした。

3.2. 生産性の観点による製造が難しい製品の特定

生産性の観点からは、印刷工程の生産時間に着目した。印刷工程は、準備、調色、印刷、後始末に分かれる。このうち印刷に要する時間は、製品ごとのロットの長さに依存する。一方で、準備、調色、後始末に要する時間は、現場での作業効率に直結する。生産実績データを分析すると、準備と後始末は概ね一定水準にあるのに対して、調色はばらつきが大きいことが判明した。また、調色は、色数や担当チームによる差は見られず、製品ごとによるばらつきが大きいこともわかった。そこで、製品ごとの調色時間の分布に着目した。

製品カテゴリーごとに調色時間のヒストグラムを作成し、調色時間の分布を把握した。その結果、全受注のうち半分以上が製品カテゴリーごとの標準以上の調色時間を要している製品を、ランク A とした。

欠点の発生頻度と調色時間の分析を自動的に行うために、Excel の生産実績データから、ランク A を抽出するプ

ログラムを、Python 言語を用いて作成した。分析の結果、対象とする製品の約 11%をランク A として抽出した。

3.3. 製造が難しい理由の特定

ランク A の製造が難しい理由を、作業員へのヒアリング調査を通じて洗い出し、それを分類した。なお、ヒアリング調査は、熟練の作業員 2 名を中心に、工場長 1 名と作業員 4 名の計 7 名に対して実施した。

ヒアリング調査は、製造実績や業務の引継用に記されたコメントなどを示しながら行うことで、個々の製造時の状況を踏まえて、なるべく具体的な言葉で表現するようにした。結果の一部を表 2 に示す。

表 2. 製造が難しい理由(一部)

製品カテゴリー	観点	製造が難しい理由
R-1チタン	仕様	幅広のため、シワが発生しやすい
	資材	水性インキのため、シワ・シボラレが発生しやすい
	工程上の要件	後工程の状態を確認するため、プレス確認の必要があり、調色時間が長い
LW-6チタン	仕様	分解調であり、1色変わると完成が大きく変化するため、色合わせ難しく、調色時間が長い
		柄が印刷方向に対して縦方向であり、印刷方向に発生するスジが目立ちやすい
	資材	版ごとに柄幅が多少ずれているため、色合せ難しく、調色時間が長い
		原反の製造ロットごとに原反の隠蔽が安定しないため、製造毎に色変化し、調色時間が長い
	仕様・資材	穴、汚れ多い原反 (UG) 使用のため、欠点が発生しやすい
工程上の要件	穴、汚れ多い原反 (FA) 使用のため、欠点が発生しやすい	
		柄の色淡く、原反の汚れ目立つ(KW)
		標準色を他機械 (R-1) で作成したため、条件設定難しく、調色時間が長い
		後工程の状態を確認するため、プレス確認の必要があり、調色時間が長い

表 2 に示すように、各製品カテゴリーにおいて、理由は、製品の仕様、資材、工程上の要件の 3 つの観点で分類できることがわかった。また、仕様と資材のように、2 つの観点を組み合わせによる理由があることもわかった。

3.4. 業務機能展開の実施

暗黙知に関する仮説を立てるために、印刷工程の各段階に必要な要素を明らかにする。そのため、まず作業分析などの結果をもとに業務機能展開を行った。さらに、展開した各業務機能を、それに関係する 4M (Man/担当者, Machine/機械状態, Material/資材, Method/設定) の要素に結びつけた。結果を表 3 に示す。

表 3. 業務機能展開の結果

1次機能	2次機能	3次機能	関係する4M			
			Man	Machine	Material	Method
製品を製造する	準備する	生産計画・製造仕様書を確認する	役割			
		ドクターを選び入れる		ドクター		ドクター角度調整
		ドクターの状態を確認する				
		円筒を選び入れる			円筒	
		円筒の凹みを確認する				
	調色する	リード紙を選び入れる			リード紙	
		インキを選び入れる			インキ	
		溶剤を選び入れる				
		圧胴の凹みを確認する		圧胴		
		機械に製造条件を入力する				印刷スピード調整 乾燥温度調整 テンション調整
	印刷する	リード紙を投入する				
		インキの換筒具合を確認する				
		粘度調整する				
		調色する	上長への確認			調色
		欠点検出器に製造条件を入力する				
後始末する	原反のたるみ等を確認する					
	原反を投入する				色確認精度	
	ロットごとに色確認をする					
	機械設定を確認する					
	ドクターを清掃する					
	円筒を清掃する					
	圧胴を清掃する					
	インキ皿を清掃する		インキ皿			
	ロールを清掃する		ロール			
	乾燥ボックスを清掃する		乾燥ボックス			
	製品を梱包する					

表 3 に示すように、印刷工程の各段階で必要な 4M の要素の内容を明らかにした。

3.5. 理由への対策の特定

製造が難しい理由を踏まえて、実際に製造現場で作業員がどのような対策を講じているか特定する。まず、印刷のメカニズムを想定して、表 2 の理由に対して、表 3 の 4M

表 5. 暗黙知の特徴

	暗黙知の特徴
要求達成技術	A.製品の結果を見ながら調整する技術
	B.過去の製造経験が必要な技術
	C.熟練者にとっては当たり前となっていて、今まで書かれていなかった技術
欠点対策技術	D.欠点の発生状況を見ながら調整する技術
	E.材料の正しい状態を知り、判断できる技術
	F.熟練者にとっては当たり前となっていて、今まで書かれていなかった技術

表 5 のように暗黙知の特徴を整理することによって、たとえば、作業員のスキルアップのための指針作りに役立てることができる。たとえば、表 5 の B では製造実績データを分析して機械操作や色柄再現の調整方法の特徴を掴むことが、表 5 の C と F では経験の浅い作業員が事前知識として理解できるように示しておくことが、製造現場の設計品質と生産性の向上にとって重要になる。

5. 提案方法の検証

提案方法の汎用性の検証として、3 章で提案方法を適用していなかった製品カテゴリー「R-1 転写紙」の製品に対して、提案方法を適用した。生産実績データを分析した結果、ランク A を抽出することができた。また、3 章の枠組みを用いたヒアリング調査をおこない、ランク A の製造が難しい理由と、それに対する対策を明らかにできた。

この検証では、3 章で抽出した暗黙知以外の対策を明らかにできた。また、提案方法を用いることで、ヒアリング調査開始当初に比べて、短期間で対策を明らかにでき、効率的に暗黙知を抽出することが可能になった。以上より、10 の製品カテゴリー以外にも提案方法を適用できることが確認できた。

6. 考察

6.1. 本研究の意義

本研究では、製造現場で伝承、活用されている暗黙知を、製造が難しい製品を特定し、理由と対策の意味合いを明らかにしていくことで抽出した。暗黙知は、作業員の頭の中で整理されておらず、言語化することが容易ではない。本研究では、作業分析による業務機能展開の結果を踏まえて、暗黙知に関する仮説を立て、意味合いを確認しながらヒアリング調査をおこなうことで、暗黙知を日々の生産・品質活動に活用できるような知見として形式知化した。このように、断片的な知識を羅列するのではなく体系化して示すことによって、作業員に抜けている知識を気づきやすくすることができる。暗黙知の仮説を立てて、図 1 の枠組みを作業員に見せながらヒアリング調査を実施したことが、これに相当する。

本研究では、仕様、資材、要件の 3 つの観点を用いて、製造が難しい理由を明らかにした。これらの観点は、ヒアリング調査をおこなう当初は導出されていなかったが、試行錯誤的にヒアリング調査をおこなっていく過程で、帰納的に導出することができた。そのため、ヒアリング調査の後半では、これらの理由をより容易に明らかにすることができた。また、対策の抽出については、4M の要素を用いることで、演繹的に実施した。以上のように、帰納的と演繹的の両方のアプローチによって、ヒアリング調査を実施

することが、暗黙知を抽出する上で重要となる。

6.2. 従来研究との比較

暗黙知に関する議論は、これまでも様々な研究や企業の取り組みの中でなされている。たとえば、富士ゼロックス [3] が、熟練作業員の考える製品開発、生産における品質課題の要因を、品質機能展開の形で整理することで明らかにしている。しかし、暗黙知を抽出する具体的な方法については言及されていない。

本研究では、作業者が行う判断と作業に着目し、それを抽出するための枠組みを品質と生産性の観点から考案した。提案した枠組みは、膨大な製造実績データの分析と業務機能展開を基にしており、実践的で網羅的な手法であるといえる。また、本研究は、SECI モデルのうち、暗黙知を形式知に変換する表出化の具体的な方法について、品質・生産性の観点から事例をもとに考案した研究となる。

6.3. 提案方法の今後の展望

提案方法では、膨大な数の製品の特徴を整理することになる。本研究において、暗黙知を言語化するための枠組みは、業務機能展開によりすべての工程をカバーしているため、汎用性が高い製造技術として特定でき、比較的難しい製品の製造にも役立てることができる。実際に、暗黙知を書き出す際に、ランク A 特有の対策と、他製品に適用できる対策を区別している。これより、ランク A 以外の製品に関する対策も抽出できることが明らかになった。

また、本研究では、製造が難しい製品の理由と対策を明示的に共有することができるため、さらなる多品種少量化に対応していくために必要な技術の特徴を考察したり、より高度な技術力を前提とした新製品開発にも役立てたりすることができる。たとえば、表 4 において空欄になっている部分について、新しい対策を考察することもできる。

本研究で抽出した暗黙知は、各製品を製造する際に作業員が閲覧する製造仕様書に記載し共有することによって、経験の浅い作業員は、熟練作業員の判断を知り、製造を行うことができる。また、Off-JT での研修における活用も期待できる。この暗黙知の抽出と共有を定期的の実施することで、継続的な工場全体のスキルアップが期待される。

さらに、製造現場の生産性と品質の向上という観点では、調色時間の短縮と欠点の発生抑制など日々の生産活動において、即効性の高い効果が期待できる。経験の浅い作業員の短期間でのスキル習得を促進することにもつながる。

7. 結論と今後の課題

本研究では、製造現場で活用されている暗黙知を、生産品質管理に役立つように、抽出、体系化する方法を示した。

今後の課題として、製造仕様書の内容の充実、作業員向けスキルマップとの連動などが考えられる。

参考文献

- [1] 野中郁次郎、竹内弘高 (1996) : 「知識創造企業」, 東洋経済新報社
- [2] 松木則夫 (2010) : “製造現場における熟練技能の抽出に関する研究”, 「Synthesiology」, Vol.3, No.1, pp.47-55
- [3] 日経 BP 社 (2019) : 「日経ものづくり」, 2019 年 11 月号, pp.25-26