

生産管理の現場における 人的なミス発生に着目した研究事例

—仕様変更に伴う部品構成表の構成マスタ作成に関する研究—



千葉商科大学サービス創造学部 専任講師

横山 真弘
YOKOYAMA Masahiro

プロフィール

2014年電気通信大学大学院 情報システム学研究科 博士後期課程 修了 博士 (工学)
2014～2015年中央大学 理工学部 経営システム工学科 助教
2015～2020年職業能力開発総合大学校 特任助教・助教
2020年より、千葉商科大学 サービス創造学部 専任講師
共著に、『インダストリアルエンジニアリングの最前線』(2020)
『実データで体験するビッグデータ活用マーケティング・サイエンス』(2020)
『技能科学入門 ものづくりの技能を科学する』(2018)
『数理統計学入門 (改訂版)』(2016)

1 はじめに

製造企業では、設計、製造、購買・調達、保守・サービスのあらゆる場面において、製品がどのような部品構成で作られているのかを階層的に表すBOM (Bill of Materials: 部品構成表) が必要になる。例えば、製品設計仕様を満たすための製品構成の情報を管理するために、設計部門ではE-BOM (Engineering-BOM: 設計BOM) が作成される。また、製造部門では、E-BOMに製造に関する情報を付加したM-BOM (Manufacturing-BOM) が用いられる。さらには、購買部門では購買・調達業務に関する情報に特化したP-BOM (Purchasing-BOM)、保守部門では保守・サービス業務に特化したS-BOM (Service-BOM) が用いられる。このように製造業では、製品の部品構成に関する情報がBOMという形で横断的に共有されている。しかし、新製品投入や設計変更が頻繁に発生するようになると、BOMの作成に十分な時間をかけることが難しくなる。また、近年では製品の仕様がより複雑化しており、

それに伴いBOMの内容もますます複雑なものとなってきている。特に個別生産を扱う製造企業において、仕様が複数存在する際には、仕様の異なる製品の数だけBOMを作成する必要がある。その結果、膨大な数のBOMを複雑な製品構成を考慮しながら作成しなければならず、製造現場ではBOMの作成における誤りがたびたび発生している。BOMの作成における誤りが発生し、それが取り除かれないまま後工程に渡されてしまうと、生産の手戻りや顧客に納入されてからのトラブルが発生し、製造企業にとって大きな損害を受けることになる。そのため、BOMの作成における人的なミス発生の低減に有効な対策立案を目指すことが求められる。

本稿では、BOMの作成における人的なミス発生に着目した分析を通じて、作業者の行動の結果(成果)に影響を与える要因を特定し、現場の作業効率を向上させる取り組みを示す。

2 BOMの概要と多仕様化の際の問題点

2.1 BOMの構成マスタ

BOMは、図1のように、品目マスタと構成マスタから構成される。なお、製品および構成する部品や材料は一律に品目と呼ばれ、各品目は品目コードにより識別されている。品目マスタは、品目を一覧で表したデータである。また構成マスタは、品目間の関係を親子関係により表したデータである。

品目名	品目コード	必要個数	
製品あ	Y001Z01	1台	親あ - 子A
部品A	Z01A001	1個	親あ - 子B
部品B	Z01B001	1個	親あ - 子C
部品C	Z01C001	1個	

品目マスタ 構成マスタ

図1 BOMのデータの例

構成マスタにおいては、図2に示されるように、親品目は子品目に分解される。さらに子品目は孫品目に分解される。このように構成マスタの階層を上位から下位にたどると、複雑な構造の製品では、「製品-子部品-孫部品-・・・-単体部品-材料」などのように十数階層の深さになる場合もある。

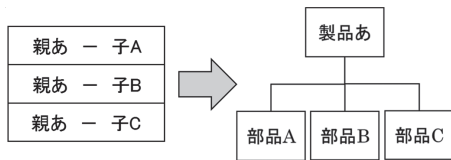


図2 親子関係による製品構成表現

品目数が少なく、製品構成も非常に単純である場合には、BOMをわざわざ作成する必要はない。例えば、設計図面を確認することにより、購買・調達部門が用意すべき部品、製造部門が部品を構築していく順番を判断することができてしまう。しかし、近年の製品のほとんどは、品目数が多く、製品構成も非常に複雑化しており、設計図面を確認するだけでは用意すべき部品や部品を構築していく順番を判断することが難しくなっている。そのため、製造現場では、品目の種類と製品構成を整理したBOMを活用することにより、設計部門、製造部門、購買・調達部門、保守・サービス部門の間で製品構成の情報の共有を行っているのである。

しかし、製造企業では、新製品投入や設計変更が頻繁に発生するようになると、BOMの作成に十分な時間をかけることが難しくなる。また近年では、個々の顧客に対応するものづくりを目指す取り組みが試行されるようになってきた(Pine 1992)。そのため、製品の仕様がより複雑化する可能性があり、それに伴いBOMの作成もますます複雑なものとなってきている。特に個別生産を扱う場合のように、仕様が複数存在する際には、製品仕様の組み合わせの数だけBOMを作成する必要がある。そのため、多仕様製品が考慮される場合には、複雑なBOMのデータを短期間で数多く作成する必要がある。

2.2 多仕様化による構成マスタへの影響

製品の仕様が複数存在する場合には、仕様の異なる製品数の分のBOMが必要となる。そのため、多仕様製品を考慮して仕様の種類を増やすと、それに従い

作成するBOMの数も増加することになる。例えば、CPUとメモリーとハードディスクなどの仕様により構成されるパソコンを考える。多仕様化を考慮しなければ1種類の製品しか存在しないのに対し、CPUを3種類、メモリーを3種類、ハードディスクを3種類に仕様を増やすと、顧客に提供可能な製品の組み合わせ数は27種類となる。それに伴い、作成するBOMの数も27倍となるため、多仕様化によりデータ量は飛躍的に増大する。

図3に、ある製品における、仕様変更に伴う製品構成の変化とその対応を示す。親品目である「製品あ」は、「部品A」、「部品B」、「部品C」を子品目としている。ここで、「製品あ」の「部品B」の部分で、「部品D」へ変更した製品を考える。その結果、製品構成の子品目が増えるため、親品目名をそのまま「製品あ」とすることができず、「製品い」などのように親品目名を変えて、区別をする必要がある。このように、親子関係により構成を表現するBOMでは、製品構成の子品目が部分的に変化した際には、それに伴い親品目名を変更しなければならない。

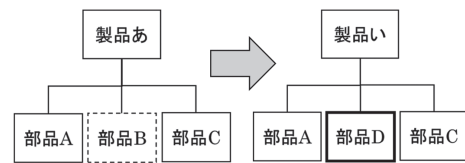


図3 仕様変更に伴う構成マスタの変化

次に、仕様変更に伴うBOMの構成マスタの作成作業を示す。図4は、ある製品「X001」において、末端品目の「J001」を「J201」に仕様変更することに伴う構成マスタの変化を表している。

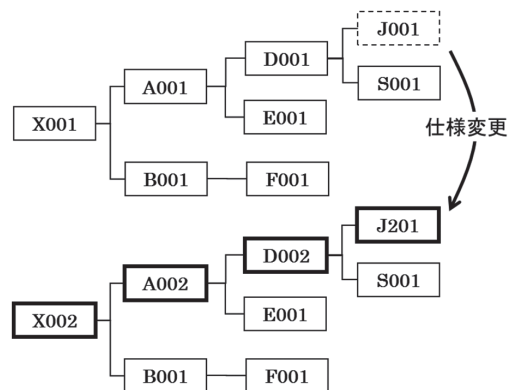


図4 仕様変更に伴う構成マスタの変化

ここで、「X001」を構成している品目「D001」は、「J001」と「S001」を子品目としている。しかし、仕様変更の発生により製品構成が変化するため、品目名をそのまま「D001」とすることができず、「D002」などのように品目名を変えて、区別する必要がある。このように、構成マスタの親子関係により製品構成を表現するBOMでは、子品目で仕様変更が発生した際には、それに伴い親品目名を変更しなければならない。

さらに、品目「D001」が「D002」に変化したことにより、その親品目にあたる「A001」も、「A002」などのように品目名を変えて、区別する必要がある。その結果、図4の太枠で示されるように、変更される品目から上位に辿り、最終的な品目（製品）に至るまで、それらの親にあたるすべての品目の品目名（品目コードも含む）を変更する必要がある。そして、各品目名が変化したことにより、新たに親子関係を登録し直す必要が発生する。

こうした多仕様化への対応は、BOMに関するデータ管理を複雑にし、様々な弊害をもたらす懸念がある。構成マスタを作成する際には、製品構成の構造そのものの誤り、製品構成内で類似した下位品目を選択してしまう誤り、変更されていない品目品名が変更されていないという変更漏れの誤りなど、様々な誤りに注意する必要がある。そのため、品目間の親子関係の不整合に基づくこれらの誤りに注意をしつつ、短納期の中で構成マスタを作成する必要がある。

3 従来研究の紹介

3.1 実験計画法

本節では、以降で示す（横山、平野 2018a）、（横山、平野 2018b）で用いられている実験計画法（Design of Experiments : DoE）について説明する。実験計画法とは、イギリスのR.A. フィッシャーが1920年代に農業実験の実施から着想して発展させた方法で、効率的に情報を得るための実験方法を設計するための統計学の応用技術の総称である。

まず、因子や水準について説明する。因子とは、実験の目的となる特性値に影響を与えると想定している原因のことである。因子による効果を要因という。要因には、各因子の水準が変わることによって生じる主効果と複数の因子の組み合わせで生じる交互作用がある。水

準とは、因子を質的や量的に変える場合の各段階のことである。例えば、農業実験においては、作物の収量が特性値、肥料や殺虫剤が因子、それらの種類や量が水準となる。さらに、肥料による効果や殺虫剤による効果が主効果、肥料と殺虫剤の組み合わせによる効果が交互作用となる。

実験計画法の目的は、因子の一番良い水準を見極めるために、効率的に実験を行うことといえる。そのために、Fisherの3原則と呼ばれる「繰り返し(replication)」、「無作為化(randomization)」、「局所管理(local control)」に基づいて実験が設計される。繰り返しとは、同一実験処理を複数回実施することである。1回の測定では、その結果が水準の違いによるものか、誤差によるものかを判別できない。しかし、同じ実験を2回以上実施することにより、同一実験処理内のばらつきに関する情報を得ることができるため、実験で生じる誤差の大きさを評価することができる。無作為化とは、実験処理を実験単位に無作為に割り当てることである。誤差には偶然誤差と系統誤差がある。系統誤差とは、実験の設備、環境、条件（農業実験においては、地域環境、農園環境など）によって引き起こされるような、一方的な偏りを生じさせるような誤差である。無作為化を行うことで、系統誤差を偶然誤差に転化させることができる。局所管理とは、実験全体を複数のブロックに分割することである。処理や反復が多い場合は無作為化だけでは系統誤差が大きくなる可能性があるが、分割されたブロック内では実験環境が均一となり、系統誤差を取り除くことができる。

1つの因子を取り上げて、3つ以上の母集団を想定して、母平均が一樣に等しいかどうかの検定や、最適水準における母平均の推定を行う方法を一元配置法と呼ぶ。一方、2つの因子を同時に取り上げる場合には、二元配置法を用いる。さらに、同時に取り上げる因子の数が複数のものは、多元配置法と総称される。多元配置法の場合は、交互作用は評価することができる。実験計画法では、分散分析による評価を行う。分散分析では、データのばらつき（総平方和）を、「水準の違いに起因するばらつき（水準間平方和）」と「誤差に起因するばらつき（誤差平方和）」に分解する。そして、要因効果の平方和が誤差平方和に対して有意かどうかをF検定により判断する。F値（水準間分散の誤差分散に対する比）が十分に大きければ、水準の違いに起

因するばらつきによる影響が誤差に起因するばらつきよりも十分に大きいことになる。つまり、偶然の誤差によって違いがもたらされている確率は極めて低いことになり、実験で制御されている要因による影響で違いが表れていると統計的に結論づけることができる。

また、取り上げた因子の水準のすべての組み合わせを実施するものを完全実施要因計画といい、一部の組み合わせしか実施しないものを一部実施要因計画という。例えば、因子 A (4水準) と因子 B (3水準) を取り上げた二元配置法を考えると、それぞれの水準組合せで2回実験するならば、 $4 \times 3 \times 2 = 24$ 回の実験を行う必要がある。実験回数は、同時に取り上げたい水準や因子の数が増えれば、それに伴い増大する。例えば、5個の因子を同時に取り上げ、それぞれを3水準にすれば、繰り返し数が1回であっても、 $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 243$ 回の実験が必要となる (永田 2000)。そこで、実験回数を減らして、効率的に情報を得るための各水準の組み合わせを決定する際に直交表 (直交配列表) を利用する。直交表とは、実験回数を減らしても主効果と交互作用の有無を検定するためには、どのような水準組合せを選んで実験すればよいかを確認することができる道具である。(横山、平野 2018a) では2水準系の L16直交表が、(横山、平野 2018b) では2水準系の L8直交表 (図5に示す) がそれぞれ用いられている。

No.	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
成分	a		a		a		a
		b	b			b	b
				c	c	c	c

図5 2水準系の L8直交表

3.2 レビュー作業の人的なミスに関する研究

(横山、平野 2018a) では、BOM により複雑な製品構成を表現する際の製品や部品の親子関係の不整合に基づく誤りに着目し、作成した構成マスタのレビュー作業の際に誤りを見逃す人的なミスの発生を誘引する

要因を明らかにしている。レビュー作業とは、一通り作成し終えた構成マスタを複数人で確認し、あらゆる誤りを発見して修正を行う作業である。レビュー作業は、構成マスタの作成において人的要因の影響が大きく、重要な作業である。また、レビュー作業は機械化が難しく、人手による作業となり、レビュー作業での誤りの見逃しや誤った修正 (これらを以下、「レビューミス」と記す) に対して人的要因の影響は大きい。レビューミスの発生につながる人的要因の複雑な構造に取り組むために、人的要因の影響が人的なミスの発生へ直接的もしくは間接的に関係しているという枠組みを与えて、素因と誘因という2つの属性からなる二重構造のモデルが仮定されている (影山、木村、山田、高橋 1998) (江崎、山田、高橋 2001) (山田、松田 2003)。素因とは、人間の行動に直接影響を与え、人的なミスの発生への直接的な原因となるものとされている。誘因とは、素因の影響を調整し、人的なミス発生の原因の間接的な影響を与えるものとされている。(横山、平野 2018a) においては、素因を「個人の注意力や集中力」と「構成マスタ作成に関する理解」、誘因を「品目コードの複雑さ」、「レビュー作業の時間」、「任意の追加作業の有無」と仮定している。

そして、(横山、平野 2018a) では、レビュー作業の実験を通じて、レビューミスを誘発する要因を分析している。実験では、品目コード上に親子関係の誤りが埋め込まれた構成マスタを被験者に提示し、誤りの箇所を探し、修正してもらう方法が採用されている。実験用の構成マスタの中には、図3や図4で示されるような、複数の仕様を持つ品目が存在している際に構成マスタ上の品目コードが正しい親子関係に基づいた適切なものになっていない誤りが意図的に埋め込まれている。なお、実験で素因に仮定した「個人の注意力や集中力」については、一様であるものと仮定されている。同じく素因に仮定した「構成マスタ作成に関する理解」については、事前に構成マスタ作成に関するテストが実施され、評価の高い被験者の群と評価の低い被験者の群に分け、それぞれに対して実験が行われている。さらに、「レビュー作業の時間」については、事前にテストデータによって被験者の能力を把握し、レビューに適切な制限時間が見積もられている。その結果、レビュー作業の制限時間を20分と25分の2種類を用意されている。また、「品目コードの複雑さ」に

については、品目コードの表記方法が2パターン用意されている。さらに、「任意の追加作業の有無」については、親子関係の誤りとは別に、親子関係とは無関係な品目コードについての誤りが埋め込まれており、親子関係の誤りのレビュー作業のみに集中する場合と、それ以外の独立した誤りについても気が付いた範囲内で指摘する追加作業を設けた場合が用意されている。以上のように、4つの因子（素因と誘因）である「構成マスタ作成に関する理解」、「品目コードの複雑さ」、「任意の追加作業」、「レビュー作業の時間」が2水準のL16直交表に割り付けられ、各組み合わせで3人ずつの計48名の被験者に対して実験が行われている。

分散分析の結果、レビューミスが発生に対しては、「構成マスタ作成に関する理解」が大きく影響し、さらに「構成マスタ作成に関する理解」が低い場合には、「品目コードの複雑さ」が存在することによりレビューミスがより多く発生してしまうことが明らかにされている。さらに、BOMの構成マスタ作成における特有のミスといえる品目間の親子関係の誤りに着目し、親子関係を正しく把握する能力が求められるレビュー作業のみを分析した結果では、「構成マスタ作成に関する理解」や「品目コードの複雑さ」の他に、「任意の追加作業」や「レビュー作業の時間」といった要因が有意であることが明らかにされている。

3.3 構成マスタ作成の作業に関する研究

（横山、平野 2018b）では、構成マスタの作成作業そのものに着目し、構成マスタ作成の作業の質と量に影響する要因を明らかにしている。（横山、平野 2018b）においても、（横山、平野 2018a）で用いられた素因と誘因の二重構造のモデルの枠組みを適用している。構成マスタ作成の作業の質と量に対する素因を、「個人の注意力や集中力」と「構成マスタ作成に関する理解」と仮定されている。一方、あらかじめ仕様変更がされる品目とされない品目を識別した後に品目コードを付ける作業に取り掛かる様にした方が、構成マスタを作成し易くなるものと考えられる。また、構成マスタの構造の把握が助けられることによっても、作成し易くなるものと考えられる。さらに、その作業に集中できる環境で作業をするのか、作業の中断により集中力が途切れるような環境で作業するのかでは、構成マスタ作成の効率が異なるものと考えられる。こう

したことから、誘因には「チェックボックスの有無」、「末端品目に対する印の有無」、「作業の中断の有無」が仮定されている。

そして、（横山、平野 2018b）では、被験者が構成マスタの作成作業を行う実験を通じて、作業の質と量に影響する要因が分析されている。実験のために、複数種類の下位品目から構成された抽象的な製品が想定され、ある1つの品目を親とした際の全ての子品目との親子関係の組が示されたデータが用意されている。実験では、品目の種別の情報が空白になっており、この部分を記入していく形で、被験者に構成マスタを作成してもらっている。さらに、構成マスタの構造により、構成マスタの入力作業に影響するものと考えられる。そこで、（横山、平野 2018b）では、製品の下位品目の数が多く階層が浅い場合と、下位品目の数が少なく階層が深い場合の二種類の構成マスタが用意されている。なお、構成マスタの構造は対象となる製品により与えられるものであるため、制御が可能な要因ではない。

素因に仮定した「個人の注意力や集中力」については、（横山、平野 2018a）と同様に、一様であるものと仮定されている。また、「構成マスタ作成に関する理解」についても、事前に構成マスタ作成に関するテストを実施し、その評価の高い被験者のみを実験対象とされている。そして、3つの因子（素因と誘因）「作業の中断の有無」「チェックボックスの有無」「末端品目に対する印の有無」を2水準のL8直交表に割り付け、8つの各組み合わせで3人ずつの計24名の被験者に対して実験が行われている。

分散分析の結果、構成マスタの階層が深くなると、「末端品目に対する印の有無」が正しい構成マスタの作成数に対して良い影響を与えることが明らかにされている。また、「チェックボックスの有無」に関しては実験からはその有効性を確認されなかった。これは、チェックボックスの記入や確認作業自体にも時間を要するため、（横山、平野 2018b）の実験の構成マスタの作成に対しては適さなかったものと考察されている。

4 今後の展望

今後も、より詳細な分析を行うことで、実際の生産

管理システムに反映可能な形で構成マスタ作成に有効な要因を明らかにすることが目指されている。なお、(横山、平野 2018a)、(横山、平野 2018b)では印刷物を用いての実験が行われているが、(Yokoyama、Hirano 2019)では実際のシステムを想定したPC操

作を用いた評価が行われている。

また、近年はAI活用の需要が強まっていることもあり、構成マスタの作成における人的なミス発生の低減のためのAI導入が進められている。

参考文献

- Pine, B. J. (1992) *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press.
- 横山真弘、平野健次 (2018a) 「BOMの作成におけるレビュー作業の人的なミスに関する研究—構成マスタの親子関係の誤りへの着目—」(『日本生産管理学会誌, Vol.25, No.1』 pp.33-44 日本生産管理学会)
- 横山真弘、平野健次 (2018b) 「BOMの構成マスタ作成作業において影響をもたらす要因の分析」(『日本生産管理学会第47回全国大会 予稿集』 pp. 331-334. 日本生産管理学会)
- 影山高章、木村光宏、山田茂、高橋宗雄 (1998) 「コードレビューにおける人的エラーと人的要因に関する考察」(『電子情報通信学会論文誌 A, Vol.81, No.9』 pp.1238-1246. 電子情報通信学会)
- 江崎和博、山田茂、高橋宗雄 (2001) 「設計レビューにおけるソフトウェア信頼性に影響を及ぼす人的要因の品質工学的解析」(『電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J84-A, No.2』 pp.218-228. 電子情報通信学会)
- 山田茂、松田僚太郎 (2003) 「ソフトウェア設計レビューにおける信頼性に影響を及ぼす人的要因の品質工学的評価」(『日本経営工学会論文誌, Vol.54, No.1』 pp.71-79. 日本経営工学会)
- 永田靖 (2000) 『入門実験計画法』日科技連出版社
- M. Yokoyama, K. Hirano (2019) *A Study of the Influence Factors in the Work of BOM Creation*, (Proceedings of the 4th International conference on production management, pp.31-34. JSPM)