設計製作教育における失敗体験と教育効果

Education Effects and Failure Experiences in the Designing and Manufacturing Education

松田 伸也^{※1}
Shinya MATSUDA

中川 秀則^{※2}
Hidenori NAKAGAWA

This paper presents on failure experiences and educational effects of designing and manufacturing education using an educational tool on the subject of hand winch. As a new attempt of this education, a database of failure cases that occurred during designing and manufacturing in the past was released to students. Questionnaire survey on failure was conducted before and after the class. The questionnaire result showed that there were students who recognized the importance of experiencing the failure of designing and manufacturing and reflected on not utilizing advantage of information of failure cases. Release of the failure databases at the educational site was found to be a tool for students to experience the importance of failure information at the end in the class. In addition, there were some students who were developed communication skills.

Keywords : Engineering Education, Mechanical Design, Failure Experience, Failure Knowledge Database

キーワード：工学教育，機械設計，失敗体験，失敗知識データベース

1. はじめに

大学や高専における機械工学教育では創造設計製作のカリキュラムを組み込み、様々な課題を設定して実践している^{1) - 5)}。著者らも、高専の特徴を活かして手巻きウインチを題材とした設計製作教育教材を開発し、実践してきた^{6), 7)}。このようなものづくり教育を実施したとき、学生たちは多くの失敗を経験するはずであるが、意外と公表されることもなく学生たちの貴重な体験という形で記憶されるだけにとどまってしまう。「失敗情報は伝わり難い」という失敗学における法則が教育現場においても成り立っている⁸⁾。失敗を活かす取組みとして、失敗事例を講義形式で紹介し、その効果を授業前後のアンケートから比較して検討している⁹⁾。また失敗学を基礎としたPBL教育を実践している¹⁰⁾。しかしながら、設計製作教育において、失敗事例をデータベース化したり、授業前後での個人の考え方の変化を調査した事例はない。そのため、ものづくり教育の中で体験する失敗が教育にもたらす効果の有無や大きさは定かではなく、把握することは大切である。

以上より、手巻きウインチ設計製作教育において、授業中に発生した失敗事例を失敗知識データベースとして作成する取組みを導入した。データベースは、科学技術振興機構（JST）の失敗知識データベース¹¹⁾を参考にしており、平成27年度から導入した。平成28年度では同様の取組みに加えて、前年度に構築した失敗知識データベースを公開し、特に失敗が発生しやすい事例を説明した

うで授業を実施した。本授業計画に基づき、授業の前後において失敗に関するアンケート調査を実施した。本論文では、アンケート結果に基づき、失敗知識データベースやものづくり失敗体験が及ぼす教育効果について論考した。

2. 設計製作授業の概要

2.1 手巻きウインチを題材とした設計製作^{6), 7)}

沼津工業高等専門学校機械工学科3年生（平成27年度：41名、平成28年度：44名）に対して6チームに分けて手巻きウインチを題材とした設計製作教育を実施した。表1に1年間の授業計画を示す。機械設計製図Ⅱ（3, 4時限目、午前開講、通年科目）および機械工作実

表1 設計製作教育の授業計画

回数	午前		午後		
	3時限	4時限	5時限	6時限	7時限
1	ガイダンス 授業前アンケート		機械工作実習		
2	材料力学基礎の講義				
3～5	強度計算方法の講義 強度計算書作成				
6～11	グループミーティング 構想図の作図				
12	加工仕様書作成				
13～14	加工仕様書、市販部品表および材料取り表の作成				
夏休み					
15～24	加工				
25	組立て				
26	性能試験				
27～29	組立図・部品図の作図				
30	授業後アンケート、組立図・部品図の修正				

2017年6月2日受付

※1 香川大学工学部

※2 沼津工業高等専門学校

習Ⅱ（５～７時限目、午後開講、通年科目）を合同科目として授業を開講した。手巻きウインチの仕様は、教員が作成して各チームに与えた。授業の前半は、ガイダンスによる概要説明、材料力学および強度計算方法の基礎講義を実施し、強度計算書、構想図、加工仕様書、市販部品表、材料取り表を第14回目（夏休み前）までに作成した。また第1回目～第12回目の午後では、手巻きウインチ部品製作のポイントを把握させるために、加工実習やCAD演習を実施した。さらにより理解を深めるために、過去に製作した手巻きウインチの分解および組立を実施した。第15回目（夏休み後）以降は、加工、組立て、性能試験を実施した。工作機械等の台数に制限があるため加工作業がない学生は、チーム内での進捗状況を把握したうえで組立図と部品図を作図した。全チームが製作を終えた第27回目以降は、組立図、部品図の仕上げおよび修正を実施した。

2.2 失敗知識データベースの作成

フォーマットは、科学技術振興機構（JST）の失敗知識データベース¹¹⁾を参考に設計製作教育の内容に合わせて作成した。書式と記入例を図1に示す。データベースはA4サイズ1枚とし、「事例名称」、「代表図」、「事例概要」、「原因」、「対処」、「知識化」、「シナリオ」から構成した。「知識化」はどのように対応すべきであったかを記述させた。「シナリオ」は設計製作の各工程を表す「カテゴリ」とその詳細を示す「分類」から構成し、失敗事例

に対して該当する箇所を丸を付ける形式とした。なお、「分類」は該当する項目をすべて選択することとした。図1に示す内容は平成26年度の失敗事例であり、見本として著者らが作成した。手巻きウインチのハンドル長さが異なっていたために設計仕様を満たさなかった失敗である。設計の段階で「強度計算書」が間違っていたが、それに気付かず「レーザー加工」によって加工した。その結果、「性能試験」を実施したことで失敗に気が付いた。チームや個人の「注意力」と「怠慢」が原因であった事例である。「その他」に示す「分類」の項目は、失敗発生原因である。そのため、学生が作成したデータベースに基づき教員が内容の聞き取りをして確認し、相互に納得したうえで該当箇所を丸を付けた。発生した失敗事例1件につき1枚のデータベースを失敗体験者またはチーム代表者が作成した。なお、平成28年度では平成27年度のデータベースを1年間通していつでも閲覧できるよう学生に公開した。

3. アンケート調査の概要

平成28年度では、表1に示すように第1回目のガイダンス後および第30回目の組立図、部品図修正の前にそれぞれ同じ内容の失敗に関するアンケートを実施した。表2に質問事項を示す。はじめに、質問1では文献9を基に作成した失敗しないものづくりに必要と考えられる基本的事項について質問した。質問1の回答はAからFで構成する6項目の中からの選択方式とし、失敗（A, B）、学習・情報収集（C, D, E）、コミュニケーション（F）に関する項目から構成した。次に質問2では、個々の学生の協調性に関する質問をした。協調性の意味を理解させるために、米印の文言を注意書きした。最後に、質問3では仮想の生産現場での失敗談について、どのように思うかを質問した。質問3の回答は、①から⑪で構成する11項目の中から選択方式とした。

4. 失敗知識データベースの集計結果

「シナリオ」の各カテゴリ分類別件数を図2に示す。なお、カテゴリはその内容が明確になるよう示している。失敗知識データベースの総件数は、平成27年度では45件、平成28年度では66件であった。図2に示す失敗発生原因の件数は、失敗の要因が1つに限らないことが多いためにデータベース件数よりも多い。各年度において、失敗の多くが「加工」と関連している。特に、組立ておよび性能試験を通じて失敗に気付く件数は平成27年度では21件、平成28年度では28件であり、データベース総件数の47%および42%にそれぞれ相当する。

平成28年度では平成27年度のデータベースを1年間通していつでも閲覧できるよう公開した。さらにデータベースに基づく失敗やヒヤリハット事例に基づく安全に関する事前指導を第15回目の授業に導入した。過去の失敗事例として、特に失敗の多い事例（旋盤加工、レーザー加工に必要なCADデータの作成および手仕上げ）を中心に説明した。失敗事例を公開したり、紹介すれば気を付ける意識が働くために失敗は減ることが予想されるが、

手巻きウインチ設計製作失敗知識データベース2016年度版(参考例)

事例発生日	2016年 1月 13日																
事例名称	性能試験の結果、与えられた仕様を満たさなかった。																
代表図																	
事例概要	製作した手巻きウインチの性能試験において、10kgの錘を載せてばね秤を用いて手で巻き上げる力Fを測定した。その結果、設計した値を用いて公式 $F=WR/(LH \cdot r)$ を使って計算した結果と異なっていた。																
原因	強度計算書作成の段階で、ハンドルの腕の長さLHが異なっていた。このことは、先生からチェックを受け指摘されていたにもかかわらず、班員全員が見直さなかった。																
対処	改めて強度計算書を再計算・設計し、ハンドルの腕の図面を作成してレーザー加工で追製作した。																
知識化	班全員のチェックミスによる失敗である。強度計算書は構想図作成の前段階で班員全員でよくチェックすべきである。																
シナリオ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>カテゴリ</th> <th>分類</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>設計</td> <td>強度計算書</td> </tr> <tr> <td>加工仕様書</td> <td>加工図</td> </tr> <tr> <td>購入</td> <td>材料取り</td> </tr> <tr> <td>加工</td> <td>汎用旋盤</td> </tr> <tr> <td>完成</td> <td>組み立て</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>意思疎通</td> </tr> </tbody> </table>			カテゴリ	分類	設計	強度計算書	加工仕様書	加工図	購入	材料取り	加工	汎用旋盤	完成	組み立て	その他	意思疎通
カテゴリ	分類																
設計	強度計算書																
加工仕様書	加工図																
購入	材料取り																
加工	汎用旋盤																
完成	組み立て																
その他	意思疎通																

※本資料はJST(科学技術振興機構)失敗知識データベースを参考に作成しました。 作成者 松田伸也

図1 失敗知識データベース書式および記入例

表2 失敗に関する質問事項

<p>[質問1] 手巻きウインチ設計製作を通じて、失敗を未然に防ぎ、製品を製作するためにはどのようなことが重要と考えますか。次の6つの項目の中から「重要だと思うこと」と「自分に不足していること」を重要な順番に2つを選び回答してください。</p> <p>A 実際の「ものづくり」による失敗体験 B 個人またはチーム内での失敗への関心・注意深い行動と考え C 失敗事例の情報を集めること D いろいろな分野を幅広く学習すること E 専門の分野を深く学習すること F 他人との協力・コミュニケーション</p>	
<p>[質問2] あなたは自分で協調性があると思いますか？ [ある ← 1 2 3 4 5 → ない] ※他人を理解しうまく物事を進める性質、能力のことである。</p>	
<p>[質問3] 「某企業の設計製作部門において、新製品を開発して1年後に出荷するプロジェクトが開始された。新人のため未熟だが、まじめでコツコツと取り組むことができるA氏を含むプロジェクトチーム（7名）で構成されていた。出荷を1か月後に控え、組立ての最終段階で出荷までに改善が望めない致命的な失敗が発生した。チームリーダーは失敗の原因を突き止めた結果、A氏の知識不足による設計ミスと図面の単純なチェックミスであった。チームリーダーはA氏のミスを責め、厳しく叱責した。翌月、まじめなA氏は意欲がなくなり、自分の能力がないことを理由に辞職した。」あなたはこのことについてどう思いますか。項目について、自分の考えがもっとも当てはまるものに順位を付けて回答してください。</p>	
<p>① A氏に仕事が偏っており、チームとして機能していなかった。 ② A氏自身のミスは反省すべきだが、失敗をもとに会社を辞めずにがんばるべきだった。 ③ チームリーダーは、A氏だけの責任にしたことは問題である。 ④ A氏には合っていない職場だったので、仕事を辞めて良かったと思う。 ⑤ A氏は新人であったため、もっと努力して専門知識を勉強しておくべきだった。 ⑥ チームリーダーは原因を突き止めず改善策のみ考えるべきだった。 ⑦ A氏がかわいそう。 ⑧ 責任の追及よりも製品の出荷を優先した上で原因を追求すべきだった。 ⑨ A氏に責任はあるが、チームもA氏の能力・性格を理解すべきだった。 ⑩ チーム内でのミーティングやコミュニケーション（報告、連絡、相談）を増やすべきだった。 ⑪ その他</p>	

減っていないことがわかる。特に図2の失敗発生原因に注目すると、「うっかり」や「注意力」の件数が多く、それらの件数が失敗発生原因全体の件数に対して平成27年度では44%、平成28年度では64%であった。

5. アンケート調査の結果と考察

授業前は44名、授業後では42名のアンケート回答より整理した。質問1および3の集計が一番重要な（不足している）事項を2点、次に重要な（不足している）事項を1点と数値化して評価した。

図2 シナリオのカテゴリ分類別件数

5.1 ものづくり失敗体験効果

質問1「失敗しないものづくり」に関して、重要な事項を図3に、不足している事項を図4に示す。また比較のために有光らが実施した結果⁹⁾を示す。本アンケートおよび文献9は、回答数が異なるため評価点の合計に対する割合としてそれぞれ示した。有光らは、大学4年生や大学院1年生に対して、畑村らによって紹介されている機械の設計・製作・実験等で発生した17の事例についてスライドと配布資料を用いた講義形式によって紹介している。講義前後において、「失敗を防ぐためにはどのようなことが重要と考えますか」の質問に対して表2に示した質問1と同様の回答項目より選択回答させて評価した結果である。

「重要な事項」として、図3(a)より設計製作教育では、A「実際の「ものづくり」による失敗体験」が高くなっているが、C「失敗事例の情報を集めること」が低くなっている。一方、図3(b)より講義形式教育では、Aが低く、Cが高くなっており、この結果は、「失敗事例から学ぶことが多くある」ことに気付くためである⁹⁾。本授業では失敗知識データベースの公開および失敗事例の事前指導をしているため、失敗事例の情報は十分に提供している。設計製作教育における結果は、公開されている失敗知識データベースの情報よりも数多くの失敗経験が学生にとって印象が強く残っているために、「失敗体験が重要」と回答したと考えられる。またB「個人またはチーム内での失敗への関心・注意深い行動と考え」については教育方法によらずいずれもほとんど変化はないが、授業前後において20%程度を維持している。そのため、年代によらず授業をしなくとも重要であるとすでに認識していることがわかる。D「いろいろな分野を幅広く学習すること」やE「専門の分野を深く学習すること」については設計製作教育では変化がなかった。これまでに習得したことを主に利用した授業のためと考えられる。

「自分に不足している事項」について、図4(a)より設計製作教育では変化があったが、図4(b)より講義形式教育ではほとんど変化はない。特にB「個人またはチーム内での失敗への関心・注意深い行動と考え」が高くなっている。手巻きウインチの製作は、「組立て」の工程がある。チーム内で「自分が製作する部品はどの部品と組み

(a) 設計製作授業

(b) 講義形式による失敗事例紹介授業

図3 失敗を防ぐために「重要と思うこと」アンケート結果の比較

合わさるのか」を考えなければいけない。そのため、チーム内において各自の状況を注意して把握する必要があるが、十分に実行できず組立て時の多くの失敗を反省した結果と考えられる。またC「失敗事例の情報を集めること」が高くなっている。これは、「失敗しないためには公開された失敗知識データベースをもっと活用すべきだった」ことに気付いた反省の結果と考えられる。そのため、4節で示した失敗件数が前年度と比較して減少しなかった原因として、データベースを活用しなかったがゆえに「うっかり」ミスや「注意力」の欠如を招いたためと考えられる。一方で、D「いろいろな分野を幅広く学習すること」は低くなっている。これは、学習した内容で対応できた自信からと考えられる。

以上のアンケート解析より、「ものづくりの失敗体験」の重要性の認識と「個人またはチーム内での失敗への関心・注意深い行動と考え」および「失敗事例の情報収集」の反省は、本授業のものづくり教育効果を表している。また失敗知識データベースの公開は、失敗を減らす目的とはならず、失敗情報の大切さを最後に体験させるツールになったといえる。

このことから、本授業のような設計から製作まで現場の一連の流れを模擬したものづくり教育では、授業時間内に対処可能な失敗はおおいに許容すべきである。一方

(a) 設計製作授業

(b) 講義形式による失敗事例紹介授業

図4 失敗を防ぐために「自分に不足していること」アンケート結果の比較

で、授業に充てられる時間や予算に限りがある¹²⁾。そのため、許容しにくい失敗もあるため失敗をしないように指導することに注力しがちである。ここが指導する立場として難しい点である。また失敗知識データベースの本来の趣旨は失敗を減らすために有効に活用することであり、本授業でも学生に活用するよう促していた。有効に活用できる学生が現れることは大いに歓迎するが、本結果を踏まえてさらに有効に活用して学生が失敗しないよう指導することは、本来、経験していたはずの失敗体験を奪うことになり、学生の失敗体験が減少してしまう。そのため、本結果のように失敗情報の大切さを学べるツールになるよう活用すべきである。さらに有意義な取組みとして、反省する時間を確保し、過去の失敗知識データベースと照らし合わせて失敗を考えるツールとして活用することが考えられる。

5.2 コミュニケーション

重要な事項として、図3(a)および(b)より授業形態によらずF「他人との協力・コミュニケーション」はほとんど変化がない。しかしながら、設計製作教育では講義形式教育と比較して授業前後によらず高い割合を示している。チームによる実践的な取組みのため、すでに重要性を認識していたことを示している。一方、不足している事項として、設計製作教育では図4(a)よりFが低く

図5 「協調性」アンケート結果

図6 仮定の生産現場での失敗体験談に関するアンケート結果

なっているが、講義形式教育の図4(b)ではほとんど変化がない。図5に質問2「協調性があると思うか」の回答を示す。図5より、授業後では協調性が「ある」に回答がシフトしている。授業前はコミュニケーション力や協調性がないと思っていたが、実際に授業を通して協調性があることに気付いたり、チームの一員として取組むことができた自信からの結果と考えられる。

5.3 学生個々の意識変化

図6に質問3「仮定の生産現場での失敗体験談」に対するアンケート結果を示す。授業前後のアンケート回答数が異なるために評価点の合計に対する割合として示している。③「チームリーダーは、A氏だけの責任にしたことは問題である」や⑨「A氏に責任はあるが、チームもA氏の能力・性格を理解すべきだった」が高くなっている。安易な役割分担だったチームや自分のことで精いっぱいとなって十分に協力できなかった学生もいたと思われる。5.2節で示したように、設計製作後にコミュニケーション力を自覚していた。コミュニケーションを取ることで自分の役割だけでなく他のチームメンバーをフォローすれば、スムーズに製品が完成できたと考えた学生もいたと思われる。その結果、③や⑨と関連して「役割分担の不適切さの認識やメンバーとの協調性を反省した」や「コミュニケーションによる互いの理解が大切である」と学生が考えたためにこのような傾向が表れたと考える。また⑥「チームリーダーは原因を突き止めず改善策のみ考えるべきだった」が高くなっている。図2に示したように失敗の件数が多いため、各チームにおいて思うように順調に進まなかったと思われる。その結果、⑥と関連して「早く仕上げることを優先するべき」と考える学生がいたと考えられる。さらに興味深いデータとして、④「A氏には合っていない職場だったので、仕事を辞めて良かったと思う」は、授業前アンケートでは回答なしに対して、授業後アンケートでは高くなっている。この割合は、②「A氏自身のミスは反省すべきだが、失敗をもとに会社を辞めずにがんばるべきだった」の減少割合とおおよそ対応している。チーム内において、ものづくりに不向きなチームメンバーがいると認識した学生が

いた結果と考えられる。本心として「チームに必要な」と思うことがあったかもしれない。本授業においては人間関係のいざこざはなかったが、教育現場としては注意を要することである。そのため、協調性に関してチームを組んで取組むことの難しさを再認識させるような事後指導が必要と考えられる。

6. おわりに

本報では、手巻きウインチを題材とした設計製作教育の失敗体験とその教育効果について報告した。以下に、まとめを示す。

1. 実際の設計製作を通じて、学生はものづくりの失敗体験の重要性を認識し、個人またはチーム内での失敗への関心・注意深い行動や失敗事例の情報の失敗を反省していた。また授業前はコミュニケーション力や協調性がないと思っていたが、実際に授業を通して協調性があることに気付いたり、チームの一員として取組むことができたために自信がついた学生がいた。
2. 失敗知識データベースの作成は、失敗した場合「何が原因だったのか」を考えるツールとして重要である。ただし、失敗データベースの公開は、学生たちにとって失敗を減らす目的とはならず、失敗情報の大切さを最後に体験させるツールになった。
3. 協調性に関して、人間関係の難しさを再認識させるような事後指導が必要と考えられる。「ものづくり」教育を通じた「ひとづくり」教育の難しさを改めて再認識した。

謝 辞

本授業およびアンケートは、筆頭著者が沼津工業高等専門学校 機械工学科在職時に実施したものです。本報は、今後の機械系教育に役立てていただきたい願いを込めて執筆しました。本授業の関係者各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 大山 啓, 高木 均, 日下一也, 堀川敬太郎: Lego

Mindstormsを利用した創造的ものづくり教育とその効果, 工学教育, 52-4, pp.20-24, 2004

- 2) 八木秀次, 有光 隆: 外部アドバイザーの参加による創成科目の実施について, 工学教育, 57-4, pp.71-75, 2009
- 3) 千田進幸, 梅原徳次: 機械系学生に対するものづくり教育の取り組み, 精密工学会誌, 75-5, pp.575-578, 2009
- 4) 石崎繁利, 尾崎純一, 齋藤 茂, 中辻 武, 英 崇夫: 分担方式によるものづくり教育の試み, 工学教育, 58-2, pp.64-69, 2010
- 5) 石崎繁利, 尾崎純一, 齋藤 茂, 中辻 武, 英 崇夫: 設計図交換によるものづくり教育の試み, 神戸高専研究紀要第49号, pp.15-20, 2011
- 6) 松田伸也, 中川秀則: 手巻きウインチを題材とした設計製作教育教材の開発, 工学教育, 62-5, pp.33-38, 2014
- 7) 松田伸也, 中川秀則: 手巻きウインチを題材とした設計製作教育の実践, 工学教育, 63-6, pp.93-98, 2015
- 8) 有光 隆, 八木秀次: 工学教育と企業における失敗の調査, 工学教育, 54-6, pp.109-114, 2006

- 9) 有光 隆, 八木秀次: 機械設計教育における失敗事例の紹介方法とその効果, 工学教育, 56-4, pp.78-84, 2008
- 10) 佐藤清忠, 星 朗, 浅利 聡, 伊東 格, 佐藤昭規: 失敗学を基礎にした産学連携による問題解決型教育の試み, 工学教育, 57-4, pp.76-81, 2009
- 11) 科学技術振興機構(JST)(事業統括: 畑村洋太郎): 失敗知識データベース, Webページ, <http://shippai.jst.go.jp/>, 参照日: 2017-5-15
- 12) 中川秀則, 松田伸也: 設計製作教育における失敗データベースの活用, 日本高専学会年会講演会講演論文集(CD-ROM), 22nd, ROMBUNNO. C2-3, 2016

.....

著 者 紹 介

松田 伸也

2009年愛媛大学大学院理工学研究科修了, 学位: 博士(工学), 現在: 香川大学工学部材料創造工学科 講師, 専門: 材料力学, 材料強度学, 破壊力学, 所属学会: 日本工学教育協会, 日本機械学会, 日本材料学会, 日本複合材料学会
連絡先: matsuda@eng.kagawa-u.ac.jp