

工学教育と企業における失敗の調査*

Survey of Failure in Engineering Education and Industry

有 光 隆**

八 木 秀 次**

Yutaka ARIMITSU**

Hidetsugu YAGI**

Abstract: Students have failure experiences in the project-based learning but they do not profess their experiences. On the other hand, failures and accidents, in the industrial world, are analyzed frequently, and a knowledge data base on failure and QC activities have been introduced. To turn failure experience in education to advantage, the authors survey the properties of failures in projected based learning and views of students, teachers and managers of design divisions in companies. Teachers and students regard failure experiences as instructive and acceptable. The typical causes of failure in educational institutions are luck of skill in manufacturing and inadequate planning, which are minor causes of failure in the industry. To establish a knowledge data base on failure in educational institutions, properties of failure in education should be taken into account.

Key words: Project Based Learning, Study of Failure, Engineering Education

1. はじめに

一般に失敗や事故はイメージダウンの印象を与えることから関係者には「できるだけ公にしたくない」という心理が作用する。しかし、設計上幾重にも安全対策が取られているはずの原子力施設や航空機においてさえも事故が起こることから「失敗を活かす」という発想の重要性がエンジニアに広く浸透してきている。最近、畑村らが「失敗学」を提唱し^{[1]-[4]}、失敗に対する世間一般の認識も変化し始めている。また、科学技術振興機構による失敗知識データベース整備事業(<http://shippai.jst.go.jp/flkd/Search>)が進行中で生産者・利用者を取りまく環境が大きく変わってきた。このような社会背景から失敗事例を紹介する書籍^{[5]-[7]}は多くのエンジニアに読まれている。

大学・高専での工学教育において導入が進んでいる創成科目では学生が主体的に「ものづくり」を体験し、実践例の紹介もなされている^{[8],[9]}。このとき学生たちは多くの失敗を経験するはずであるが、あまり公表されることもなく「自分たちの貴重な体験」という形で個人的に記憶されるにとどまっている。「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。他方、産業界では自社内の失敗や労働災害は徹底的に調査され要因が分析され、関連部署にフィードバックされている。これらのことから、失敗事例を活かすといった視点での取り組みは産業界の方が教育現場より進んでいると考えられる。

本報は、「失敗学をどのように教育するか」あるいは「失敗体験をどのように教育に活かすか」といった視点での研究の第1段階として、機械工学を例に教育現場と生産現場とでの失敗事例の相違と教員、学生、

* 工学教育 第54巻 第6号 (2006) pp.109-114 工学教育と企業における失敗の調査より引用

** 松山市文京町3 愛媛大学大学院理工学研究科 生産環境工学専攻

** Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, Matsuyama, Japan.

平成19年8月31日受付,平成19年10月31日受理

企業人の失敗に対する考え方とについてアンケート調査によって得た結果を報告するものである。

今後、高度な技術を利用する社会になればなるほど、さまざまな種類のミスによる事故が増えると予測できる。このような状況下における工学教育に、失敗例の有効活用という新しい手法と失敗を公表するという教員・学生の意識変化とが必要になると考えられる。創成科目の本来の目的は創造力の育成にあるが、失敗学の実践の場という観点から教育現場における失敗について考える機会としたい。

2. アンケート調査の方法と集計結果

2.1 アンケートの概略と創成型教育の実施状況

2005年1月～3月にかけて、大学の機械系学科(200 学科)と工業高等専門学校(50 学科)の設計科目担当教員および愛媛県内の製造業(50 社)の設計部門管理者あてに郵送によるアンケート調査を実施した。回答数(回答率)は大学48(24%)、高専33(66%)、企業32(64%)であった。また、愛媛大学機械工学科3年生(94名)に対して創成科目終了時にアンケート調査をした。

回答があった大学・高専のうち2/3の教育機関において、創成科目が導入されている。大学における設計科目、創成科目、失敗学関連科目の実施状況を把握するために、横軸に「学年進行」を縦軸に設計科目と創成科目の単位数の総計と失敗学関連の時間数の累計とを取りグラフに示す(図1参照)。

創成科目は設計科目で学習した内容を実際に応用する設計の集大成として位置づけている教育機関が多く、失敗学は「失敗事例の紹介」という形で設計教育の一部として取り上げられている。いずれも学年進行とともに学習量が増え、3年後期にピークを迎える。この傾向は高専についても同様である。

企業には創成型の教育を「失敗」と関連させて、「創成型の教育とは、講義や実習のようにテキストや指導書に従って学習するのではなく、学習者自らが積極的に課題を考え、主体的に問題解決に取り組むような教育を指す。このような教育における失敗は業務上の失敗とは異なり、ある程度許容されると考えられる」と説明して実施状況を照会した。

企業において業務とは別に、社員教育の一環として「創成型の教育」を実施している企業は全体の1/4あるが、70%の企業では今後導入の予定がないと回答している(図2参照)。導入しない主たる理由として「業務の中に課題とな

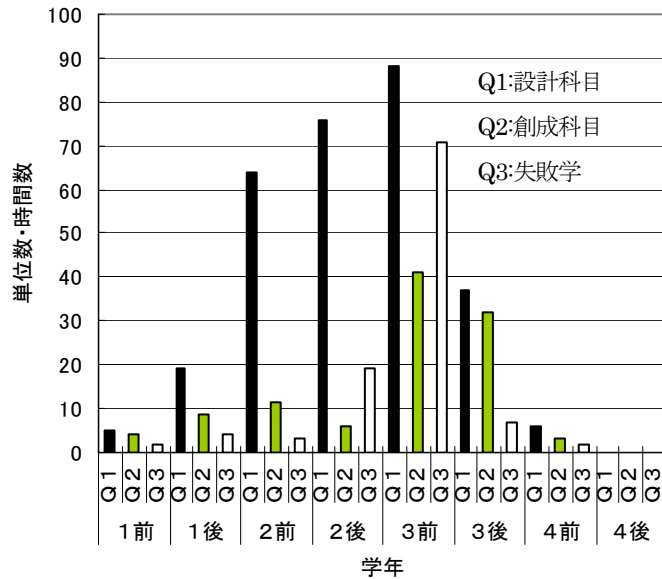


図1 大学における創成科目および失敗学の実施状況

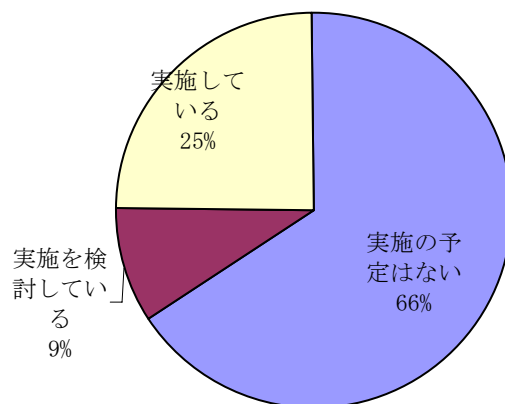


図2 企業における創成型教育の実施状況

るものが多く、教育のための課題を設定する必要がない」ことを挙げている(図3参照)。

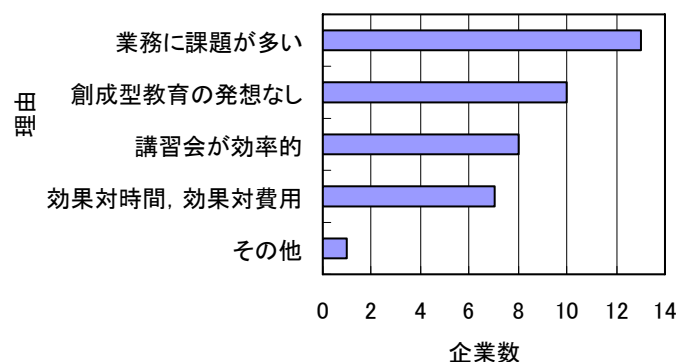


図3 企業において創成型教育を導入しない理由

導入している企業では「独創的なアイデアが出やすい」、「専門外の知識が必要となり技術者としての実力が向上する」という点を評価している(図4参照)。

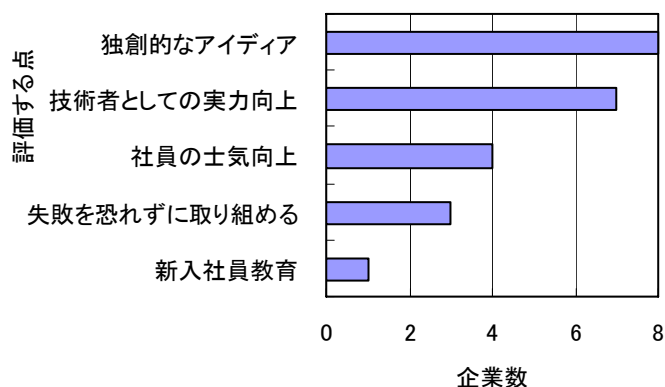


図4 企業において創成型教育を評価する点

企業における創成型教育は業務時間内に行われており、OJT (On the Job Training)や作業改善など業務に関連するテーマ決定など業務と一体となった教育が多く実施されている。また、新分野の知識習得を目的とする場合においても①市場調査から始まり、②予算を確保して、③試作、④営業サンプル、⑤受注活動と展開するなど業務に深くかかわった教育方法を採用している。

2.2 失敗原因と失敗行動

失敗学では、失敗結果は失敗原因の他に原因と結果を結びつける人の行為「失敗行動」を含めて対策を論じる。独立行政法人科学技術振興機構が進めている「失敗知識データベース」において、これらは27の失敗原因と24の失敗行動に分類されている。本調査ではこれらの分類を参考に19の失敗原因と10の失敗行動とに分類して、回答者に多いと考えられるものを選んでもらった(複数回答可)。

失敗原因として教育、生産現場ともに「知識不足」と「理解不足」が多い。企業で少なく教育機関で多い失敗原因として「戦略・企画不足」が挙げられ、逆に教育機関で少なく企業で多い失敗原因として「連絡不足」と「状況に対する誤判断」が挙げられる(図5参照)。知識・理解不足と考えられる具体的な専門分野(科目)は、教育機関では機構・機械要素設計および機械工作であるのに対して、企業では材料力学を挙げている(図6参照)。教育機関からの回答には、機械工学における創成科目の課題として強度設計を伴うものが多いことが背景にあると考えられる。

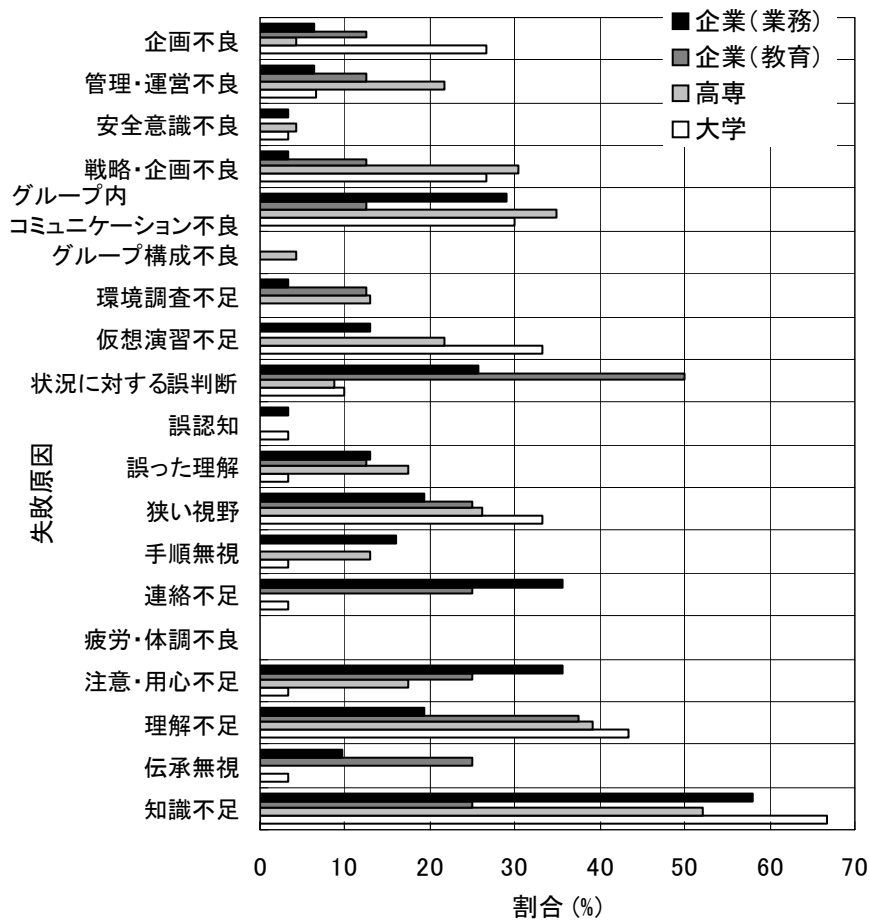


図5 失敗原因

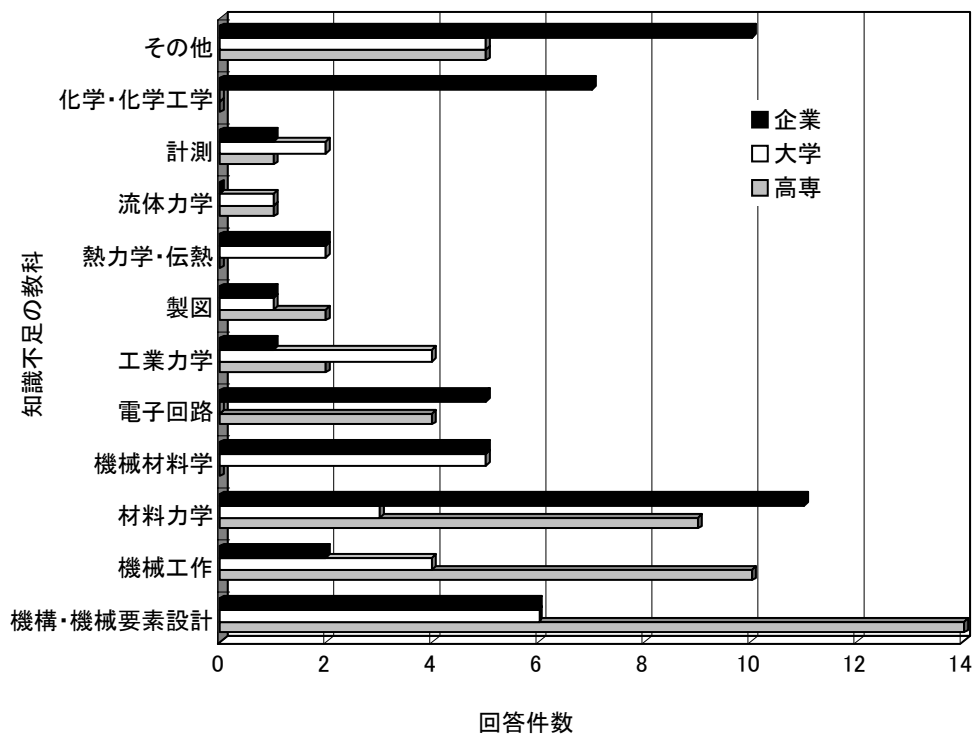


図6 失敗原因において知識不足と考えられる専門分野

企業における創成型教育は業務と深く関連しているため、不足している知識については教育と業務との間に大きな違いはなかった。また、企業からは腐食、特許などより特化した内容のものあるいは金型や塑性加工などの高度な機械加工の知識不足を指摘する回答が多かった。一般的な傾向として、「失敗体験の少ない学生はものづくりに直接かかわる知識が不足して、失敗事例についてある程度の蓄積がある企業ではより高度な内容の知識が不足している」と言える。「知識不足」や「理解不足」が主要な失敗原因であることから、「失敗事例を学習することによる失敗の回避」にある程度効果が期待でき、多くの企業で取り入れられている失敗事例の知識データベース化は有効な手法であろう¹⁴⁾。

失敗行動では「計画不良」が教育機関・企業ともに多く、教育機関では「ハード製作」、企業では「流用設計」と「不注意動作」が多かった(図7参照)。これらはものづくりの経験と技術の蓄積との違いに起因していると考えられる。また、学生に多くある「とりあえず製作して後で不具合を改良する」という姿勢は「初期の計画不良は後工程では克服できないこと」を学生に対して強調すべきであろう。

学生がおかす失敗の多くは設計の知識不足や加工の経験の不足からくるものであり、製造現場ではより複雑なコミュニケーション、連絡不足からくるものが多くある。

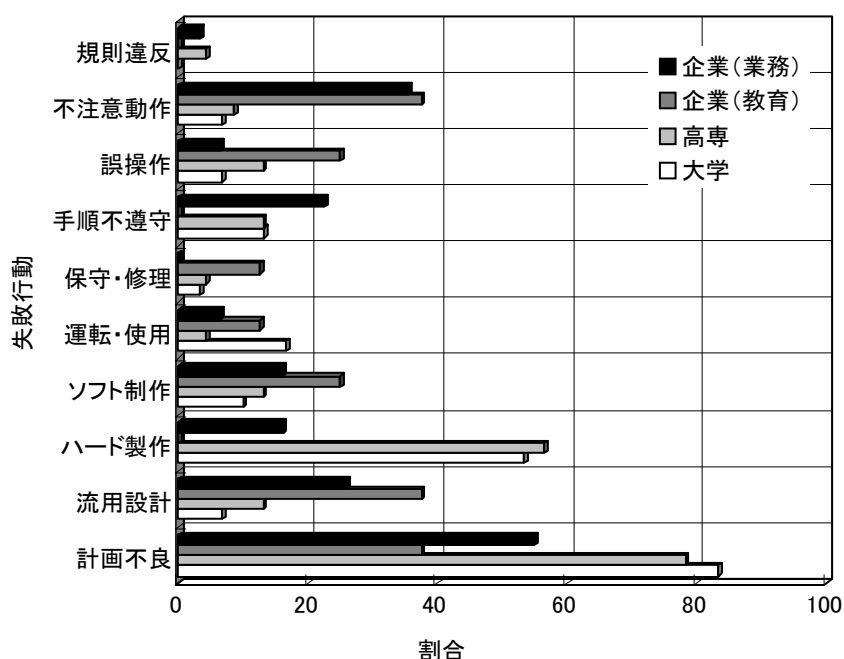


図7 失敗行動

教育機関における代表的な失敗事例を表1に示す。不注意と考えられる加工不良、工具の破損については教員の評価が低い。強度不足は学生が多くおかす失敗であるが、その内容により教員の評価は分かれる傾向にある。

企業からは、「具体的な失敗事例については未回答」の事業所が多く、社外にはなかなか公表し難いようである。少ない事例ではあるが挙げると、「他社とFAXのみの連絡による制御回路の不良(連絡不良)」、「耐ノイズ性不良」、「不適切な熱処理による強度不足」、「高速運転に慣性力の検討不良」、「設備トラブルに対する根本的な原因究明不足」などがある。

教育機関では企業に比べて単純で初歩的な失敗が多く、企業では関連部署、客先と関係する人が多く介在し、複雑な情報伝達に起因する失敗が発生している。また、企業においては設備の故障を技術的な課題と考え、故障が繰り返されることを広い意味で失敗ととらえ高い理想を目指そうとする姿勢がうかがわれる。

表1 教育機関における失敗事例

失敗事例		失敗に対する評価	類似の失敗頻度
強度不足	軽量化による	高	多
	フレーム	中	少
	固定	中	多
	一般的	低 中	多(複)
強度過大		高 中	多(複)
加工不良	アルミの溶接	高	少
	一般的	高	多
	削りすぎ	中	少
	接合不良	低	多(複)
	ねじ切り	低	少
	半田付け不良	低	多
	穴あけ位置	低	多(複)
期限内の未完成		高	少
性能不十分		高	少
発想訓練不足		高	多
実現不能		高	少
プログラムミスによる誤動作		中	少(複)
配管系の破壊		中	少
熱伝対の取り扱い不良		低	多
図面の誤り		低	多
車軸の摩擦大			多
工具の破損		低	少(複)
課題の未達成		低	多
計算ミスによる設計不良			
チームのまとまり		低	少
無気力・無関心		低	少

頻度における少(複)は少数ではあるが複数の教員が指摘していることを意味する。

2. 3 教育現場と生産現場における考え方の違い

教育機関の教員と企業の設計部門の管理者とで、失敗学との関わり方を調べた(図8参照)。一般的に、企業では失敗学は日常の業務と関連が深く、教育機関の教員は個人的興味で失敗学に関心を持っているといえる。失敗学あるいは他人の失敗事例に対する興味を質問したところ学生の中に「ほとんど関心がない」と回答した割合が他のグループに比べて高いが、8割以上が「関心がある」と回答している(図9参照)。また、自分たちの失敗を公表することについて2/3の学生が「公表することは有益で、積極的に公表した

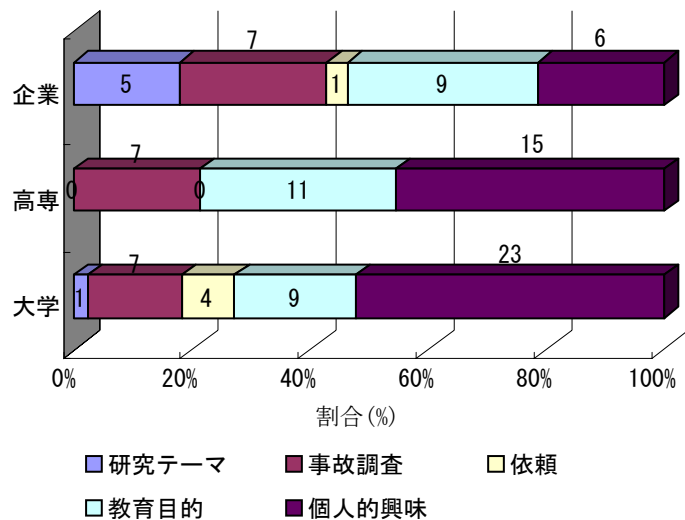


図8 失敗学との関わり

い」と考えている。8割の学生が「創成科目における失敗で将来に生かせるような教訓を得た」と回答し、95%の学生が、何らかのかたちで「過去の失敗事例を参考にする」と回答している。

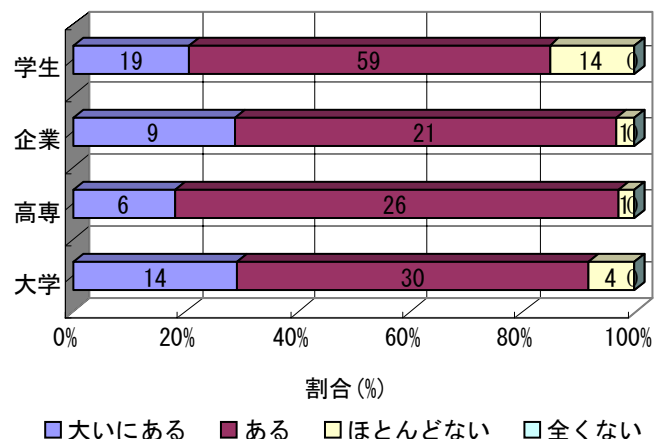


図9 失敗に対する関心

生産現場と教育現場の考え方の違いを示す1例として、次の質問に対する回答が挙げられる。

質問 失敗体験は学習者に動機付けを与え、その克服の過程で知識の応用を能動的に行う訓練になる反面、知識を伝授する学習に比べ非効率になります。限られた学校教育(生産性が求められる現場)の中で失敗学を教えるにはどのような方法が有効とお考えでしょうか。

1. 知識重視：失敗は日常的に起こるので、失敗事例を体系化したり、失敗原因の分析・対処の仕方などを教授したり可能な限り多くの知識として教えるほうが有効である。
2. 体験重視：失敗は行為を伴うもので知識以外の要素が重要であるので、可能な限り失敗を多く経験させるほうが有効である。
3. どちらともいえない。

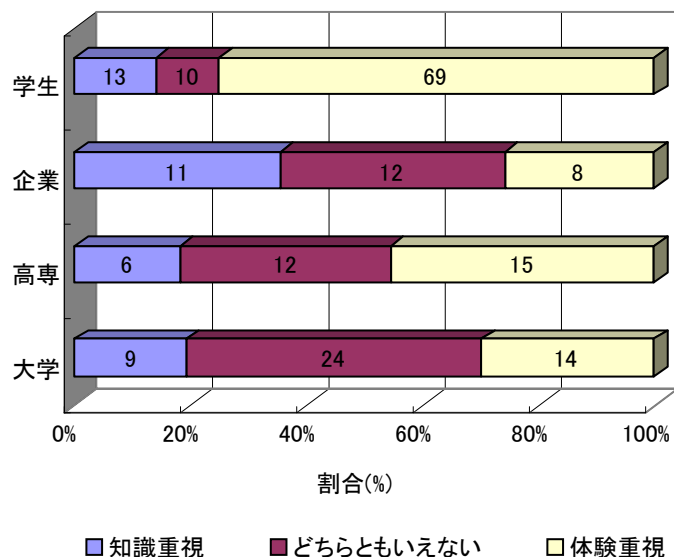


図10 失敗学の教育方法

失敗学の教育方法として、企業では知識重視、教育機関では体験重視の結果であった(図10参照)。特に、学生は体験が重要と考えている。学生あるいは従業員の経験の違いや教育・職場環境の違いが結果に反映されたと考えられる。できるだけ早い段階での失敗体験が専門科目を学習する上での動機付けにつながると考えられ、企業の設計部門管理者からも同様の意見があった。このことは初年次創成科目の効果や実施方法に示唆を与えるものである。

次に、失敗を克服するための精神的な側面について以下の2つの質問をおこなった(図 11, 12 参照)。

質問 技能の修得や結果を得るのに時間がかかる実験は「精神的な修練の場」であるとも考えられます。このような「精神的な鍛錬は失敗の克服に関係ある」とお考えでしょうか。

1. 大いに関係ある.
2. 関係がある.
3. 少しは関係ある.
4. 全く関係ない.

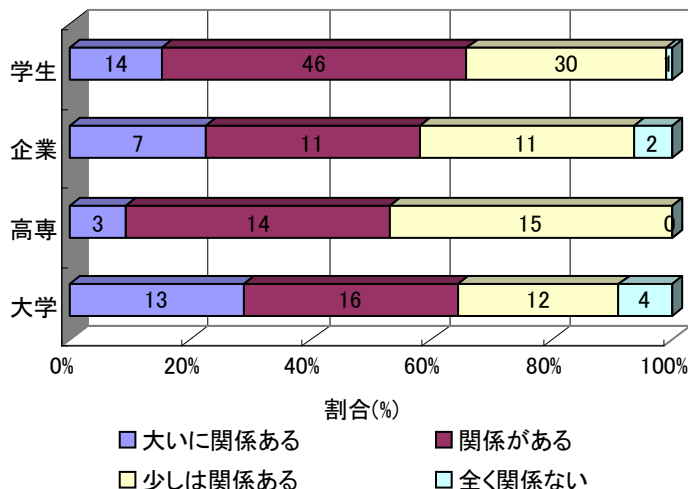


図 11 失敗の克服と精神的な鍛錬の関連性

質問 失敗の克服は困難を伴うことから、しばしば精神論とともに語られることがあります。このような失敗克服のための精神論を聞くことをどのように思いますか。

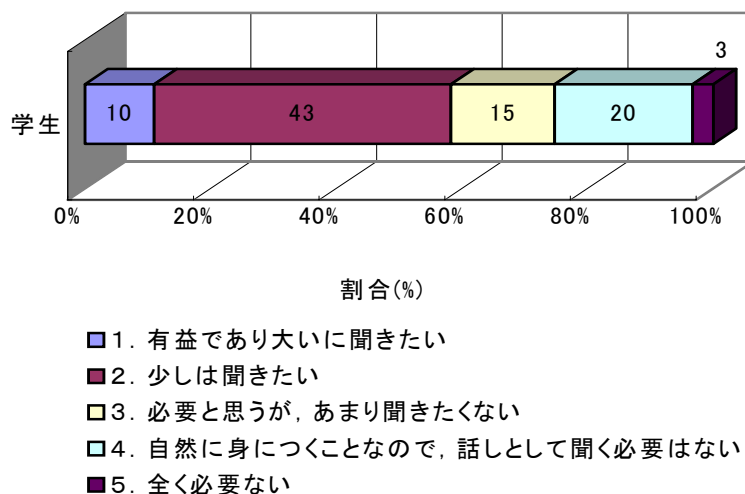


図 12 失敗克服のために精神論を聞くことについて

学生は失敗事例に関心を示すが、克服のための精神論が前面に出ることはあまり歓迎していない。教員や企業の技術者もできるだけ「精神論よりも技術論を説く」姿勢がある。しかし、教員からの自由記述による回答に「学生の無気力・無関心により課題をこなせない」という指摘があった。

「成功」と対極にある「失敗」は、表裏一体であるばかりか、ともに多くの困難を抱える。つまり、「失敗は成功のもと」といわれ、「成功すること」も「失敗を減らすこと」も同根の部分がかかなりある。「成功と失敗とを総合的に経験することが重要」という意見もあり、「成功のための苦勞」として学生に話しをする方が伝わりやすいと考えられる。

次に、「失敗の模擬体験や失敗例の演習実験のように計画・準備された失敗は、失敗例を知識として学ぶのと比較して教育上有効か」を質問した(図 13 参照)。失敗の模擬体験は実際の体験とは異なるが、失敗事例

を単に知識として学習するよりは有効と考えられる。

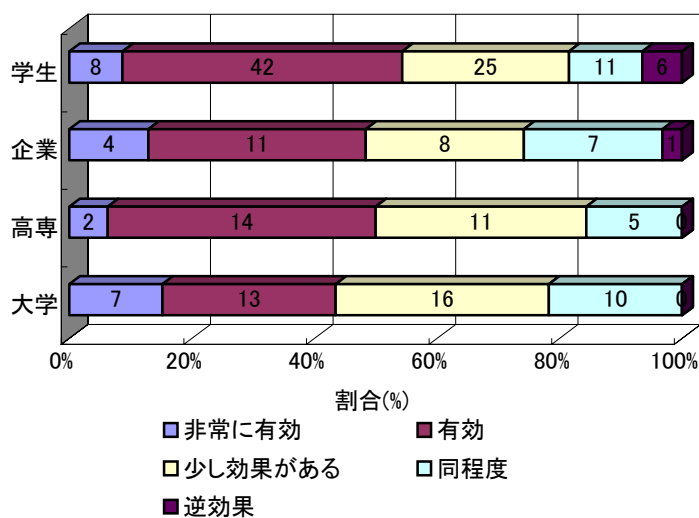


図 13 失敗の模擬体験の有効性

教育効果の測定は教育手法の有効性や学習者の達成度を評価するうえで欠かせない。しかし、失敗に対する能力の測定は失敗を起こさなければ、失敗後の対処法を評価できない。失敗を意識的に回避したのか偶然失敗をしなかったのか、あるいは失敗しても対処や以後の活用が適切であるか否か判断が困難である。以上のことから、失敗学に対する能力をどのような手法で測定できるかを質問した(図 14 参照)。

質問 失敗学に関する能力を試験により測定可能だとお考えでしょうか。

1. 測定不可能
2. 筆記試験で測定可能
3. 作業を伴う試験により測定可能
4. 不明

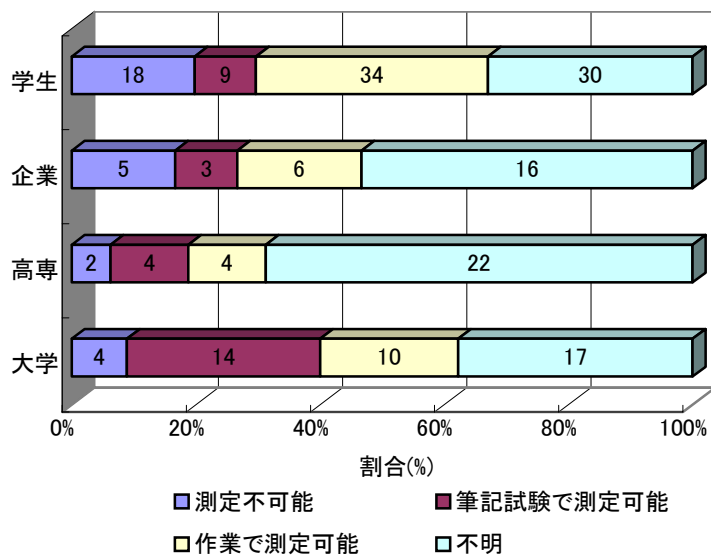


図 14 失敗学に関する能力の測定について

この回答結果は失敗がもつ特殊性を示すものであり、教授・学習方法、評価方法、能力の測定方法については今後検討する必要がある。

最後に、「創成科目におけるテーマの目標を高くすると失敗が増え、達成度と満足度への指導が必要となる。課題のレベルをどのように設定するかが重要である」という意見をいただいたことを報告しておく。

3. まとめ

教育機関と企業とでは作業の目的・環境、構成員の知識などが異なり失敗原因や失敗行動が異なる。教育機関で行われる創成科目では、学生のものづくりの経験不足に起因する失敗と基本的な知識・理解不足によるものが多い。企業での教育は業務との関連性が高く組織的な活動の不完全さや高度な内容の知識・理解不足による失敗が多い。

失敗に対する考え方も教育機関と企業とではかなり異なる。教育機関では比較的失敗に対して寛容で、失敗体験は学生の成長に有益と考えており、むしろ失敗を体験させることを奨励する意見もある。これに対して企業では「失敗は避けるべきもの」であり、「再発・類似事故の回避のために失敗事例を活用する」という発想の違いがある。

企業において失敗事例を活かす取り組みとして、品質管理と関連した QC サークル活動、改善提案・失敗事例報告、作業標準などによる工程管理、失敗事例の知識データベース化などがある。

教育機関では失敗を活かす取り組みがなされていないが、失敗について考える機会を与えることは有益であろう。学生は失敗体験を公表することあまり抵抗がなく、むしろ公表したいと思っているようである。ただし、自分がおかした失敗例を記述させると説明が不十分で、内容を第三者が理解し難いものが多い。この点をフォローすれば、失敗知識データベースの作成は「学生自身が失敗体験を考え、整理する契機」となり、他の学生への参考となり得るであろう。

なお、このアンケート調査は平成 17 年度科学研究費（創成科目と産業界における失敗事例の調査と設計科目へのフィードバック）の補助を受けて実施した。

4. 参考文献

- [1] 畑村洋太郎, 続々・実際の設計 ー失敗に学ぶー, 日刊工業新聞社, 2002.
- [2] 畑村洋太郎, 失敗学のすすめ, 講談社, 2000.
- [3] 畑村洋太郎, 失敗に学ぶものづくり, 講談社, 2000.
- [4] 飯野謙次, コンピュータを用いた失敗知識のマネジメント, 日本機械学会誌, 106 巻, 1016 号, pp.537-540, 2003.
- [5] 中尾政之, 失敗百選 41 の原因から未来の失敗を予測する, 森北出版, 2005.
- [6] ヘンリー・ペトロスキー, 橋はなぜ落ちたのか ー設計の失敗学, 朝日新聞社, 2001.
- [7] 中尾政之, 創造設計学, 丸善, 2003.
- [8] 米山 猛, デザインテクノロジー, 培風館, 2004.
- [9] 塚本真也, 創造力育成の方法 ーJABEE 対応の創成型教育ー, 森北出版, 2003.