

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 29 日現在

機関番号：1 2 7 0 1

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：2 2 7 0 0 7 8 6

研究課題名（和文） 理工系産業人・技術者のための即効性実験教育の研究

研究課題名（英文） Research of immediate effect experimental education for technologist and engineer

研究代表者

伊藤 大輔（ITO DAISUKE）

横浜国立大学・大学院工学研究院・特別研究教員

研究者番号：9 0 4 3 6 7 5 9

研究成果の概要（和文）：本研究は、理工系産業人・技術者に対する即効性実験教育教材の開発及びその実施による教育効果の検証を目的とした。「腐食と防食」を取り上げ、実験教育教材の開発、それを用いた教育講座の実施及び教育効果の検証を行った。その結果、一般技術者向けの内容を各産業分野に特化した内容へと再構築および再開発した。この内容を用いて化学プラント技術者、水道関連技術者に対して実験講座を行い、現場技術者に即効性のある教育システムが構築された。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is development of immediate effect experimental education teaching materials for technologist and engineer and verification of the educational effect. The development of the new experimental program succeeded and an experimental education system was built.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：腐食防食工学、電気化学、技術者教育、リカレント教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：技術者教育，実験教育，リカレント教育，教材，腐食

1. 研究開始当初の背景

現在、我々を取り巻く経済状況は 2008 年 9 月に起きたリーマンショックの影響により、世界的金融危機に陥り日本の産業界も大打撃を受けている。また、これまでの団塊世代の大量退職（2007 年問題）、出生率低下による若年労働力の減少、新入社員の早期離職（7・5・3 問題）や定職に就かない若者のフリーター・ニート化問題など早急に対策を講じなければならない課題が山積みである。今

こそ考え直さなければならないのが、大量の資源が人々の欲望を満足させるために浪費されてきた大量生産・大量消費の時代から、現存する資源の質を保ち長持ちさせる時代への転換である。このような社会背景の中で、様々な産業分野の機器や設備の保全技術の重要性は増してきている。1995 年に公表された米国のバテル研究所の推計によれば、金属の腐食により米国が受けた経済的損失は、直接および間接コストをあわせると毎年約

3000億ドル(GNPの約4%)に達しており、適切な防食対策を採っていればその損失の1/3は減らすことが出来たと報告している。日本においても直接コストだけで年間約4兆円の損失があったという調査結果も報告されている。したがって、日本でも保全技術の専門家教育が必要である。保全技術者(腐食防食技術者)の育成に関しては、海外では、アメリカのNACE(National Association of Corrosion Engineers)が行っている塗装検査員養成プログラム(CIP)及びカソード防食研修プログラム(CP)、イギリスのUMIST(University of Manchester Institute of Science and Technology)のCorrosion & Protection CentreのCorrosion Control Engineering Course、ドイツのDECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.が定期的に開催し、腐食防食プログラムとして世界的に高く評価されている。国内でも、唯一(社)日本防錆技術協会が実施する経済産業省認可の教育プログラムにより「防錆管理士」の資格が取得できる。しかし、現状では、一部の限られた産業分野のさらに限定された専門技術者にしか教育が行われておらず、とても産業界全体で保全分野を発展させていく体制にはなっていない。

一方、我々の大学では、一部の専門技術者の育成ではなく、一般的な技術者の知識の底上げを目的とし、25年以上前から様々な技術に関する社会人技術者教育講座を実施してきた。多くの受講者からのアンケート調査により、技術者教育には、すぐに現場で活用できる内容及びそれを理解するための現場再現実験教材が非常に重要であり、いわゆるブレイクダウン型の教育が最適であるということが分かってきた。

2. 研究の目的

本研究では、保安技術者の必要な知識の1つである「腐食と防食」を取り上げ、各産業分野・現場で特有の腐食現象に関して、「腐食原因を見つける方法」、「腐食の程度を知る方法」、「腐食を防ぐ方法」の3点を効率的かつ即効的に理解できる実験教育教材の開発を行い、それをを用いた教育講座の実施及び教育効果の検証を行う。

3. 研究の方法

我々は、これまでに多くの一般技術者に対する講座を実施し、受講者の本当の能力をじっくりと炙り出す(炙り出し教育)教育を実践してきた。その中で、技術者が必要とする講義内容及び実験実習プログラムの開発を行ってきた。しかし、これまで開発した内容は、一般の技術者全体いわゆる万人に共通的なテーマを扱ってきたため、各人が即現場で

活かすことができる程の教育効果を得ることは非常に難しかった。技術者に対する教育内容は、学生に教える内容とは異なる大きな特徴があり現場で起こっている現象及び問題が題材となり、それを解決するために必要な知識の習得及び知識の適用方法が重要となる。そこで本研究では、第一に即効性があり現場で活用できる内容及びそれを理解するための現場再現実験教材の開発を行う。そのためには、各産業分野(電気・電子関連、機械・材料関連、化学関連、建築・土木関連等)で特徴的に起こっている腐食問題を調査し、それぞれについて「腐食原因を見つける方法」、「腐食の程度を知る方法」、「腐食を防ぐ方法」を整理し、分野専用のカリキュラム及び実験キットの作製を行う。次に、この教育プログラム用いた講座を開催し、教育効果を検証し、さらに教材の改良を行う。このように、教育プログラムの開発からその試行の一連の研究を行い、現場技術者に対する最適な教育方法の検証を行うことを目的とする。さらに、本研究の成果を基に、他分野でも通用する即効性実験教育システムを提案し、産業教育・技術者教育における教育教材作成方法及び教育システムを確立させることを最終目標としている。

具体的な検討項目を以下に述べる。

(1) 電気・電子、機械・材料、化学、建築・土木分野の腐食防食に関する問題点の調査・整理

各産業分野で問題となっている腐食事例を、京浜工業地域の約30社を対象(東京湾岸地域大学間コンソーシアムによる社会人キャリア・アップ運営協議会(TOBAC)を活用)としたアンケート調査及び聞き取り調査を行う。この調査により、各分野で特有の事例や共通する事例の整理を行い、実験内容の骨子を作成する。

(2) 腐食防食技術を理解できる実験内容、キット及び教育講座の開発

腐食防食技術の基礎から実際の事例を体得できる実験内容、キットの開発を行う。実験は、理論や数式は極力少なくし、実験キットの作製は、実際に色の変化や測定機器の針の動きなどアナログ的な変化により、目で見て手で触って体得し効果的に理解できるものとする。簡単な材料を用い本質を確実に身に付けることができる教材を製作¹⁾⁻²⁾する。この開発に関して、種々の鋼材や試薬類、電極類、電流計等を消耗品として購入する。また、細かい実験ノウハウを参考にするために参考図書の購入を行う。各実験の時間配分、順番に関しても綿密に計画し、効果的なプログラム作成を行う。また、実験補助につく学生ティーチング・アシスタントの指導も十分

行う。

参考文献

- 1) Michael J, Thomas J, Common Student Misconceptions in Electrochemistry: Galvanic, Electrolytic, and Concentration Cells, Journal of Research in science teaching Vol. 34, No. 4, 378-398, 1997
- 2) Sulcius, Algirdas, Demonstrating Corrosion Using Galvanic Cells, Journal of Chemical Education, Vol, 80, 1138, 2003

(3) 効果的な実験テキスト及び説明用資料の作成

実験内容を効果的に理解するためには、実験テキストはもちろん実験説明用資料の検討も必要となる。実験で学んだ内容を再度復習する場合にも、理解ができるような資料を作成することが重要である。

(4) アンケート、聞き取り調査内容・解析方法の検討

一般的に調査されている内容全体の理解度や講座全体の意見ではなく、各実験毎の理解度やその有用性に関して、問題等の記述式アンケートを作成する。また、実験後に受講者から直接意見を聞き出す、面談の方法に関しても検討する。

<海外での技術者教育現状調査及び講座模擬実施>

(5) UMIST・DECHEMA が実施している技術者教育プログラム調査

保安技術者の教育プログラムに関して世界的に高く評価されているイギリス UMIST の Corrosion Control Engineering Course、ドイツ DECHEMA の Continuing Education の現状を調査し、実現場の現象を実験実習に取り入れる教育システムの仕組みを詳細に検討する。

(6) 大学間交流協定校 VSB (チェコ・オーストラバ工科大学) における冶金・金属技術者対象実験講座の実施及びアンケート・聞き取り調査

技術者教育に関する検討は、日本での研究は殆どないため海外の大学で実施している例を調査し、その教育効果を収集する。この調査では、本大学と大学間交流協定校である VSB の材料研究室 (Prof. Ing. Bohumir Strnadel 氏) に協力を得て、同大学の教育実績調査及び申請者が開発した教材を現地外国人技術者へ試行し、教育内容レベルや適正の検証を行う。

<教育効果の実証と教育プログラムの体系化>

(7) 教育効果の実証

教育効果の実証に関して、横浜国立大学主催公開講座 (2 講座)、地方公共団体技術職員、民間企業技術者向け出張講座 (2 か所×4 分野) を行い、それぞれの対象者の教育効果、その必要・妥当性を詳細に検証する。実施後には、アンケート・聞き取り調査を行う。

(8) 教育効果の解析と教育プログラムの体系化

アンケートおよび聞き取り調査の意見を解析することにより、講座の試行問題点、改善点等を抽出し実験内容、キットに修正を加え教育効果の高いモデルを作り上げていく。さらに教育プログラムの体系化を行い、他分野の産業教育・技術者教育における教育教材の開発方法を提案する。

本研究のテーマである現場技術者向けの実験講座による教育の試みは、日本・世界的にみても少ない。また、技術者教育の経験のない者がカリキュラムを作成することは不可能であるため、私が開発するというところに研究の意義が十分あると考えられる。また、この教育モデルの開発並びにそれをを用いた教育の試行は、今後の大学と企業とが連携しながら開発していく教育プログラムの一例として先導的であると考えられる。

4. 研究成果

(1) 腐食防食に関する問題点の調査・整理

過去に行った腐食防食に関連した公開講座参加者からのアンケート調査を整理した結果、各分野に共通する内容として、「腐食のしくみ」の部分が非常に重要で、さらに、この内容を各分野特有の腐食事例と関連付けて、講義・実験を行ってほしいという要望が多いことが分かった。

(2) 腐食防食技術を理解できる実験内容、キット及び教育講座の開発

腐食防食技術の基礎から実際の事例を体得できる実験内容、キットの開発を行った。1 日間コース (6 時間) の実験内容例を図 1 に示す。腐食の基礎、材料・環境差による実現場の腐食、ステンレス鋼に特化した腐食、電位測定的基础、防食方法等の腐食から防食まで一連の内容に関して時間をかけて体得できる実験カリキュラムとした。

図 2 に、実験器具を示す。実験器具は、100 円ショップやホームセンターで比較的入手し易い材料を使用し、専門的な器具は極力少なくした。また、実験班に関して、1 班 5 名以下に設定し、班全員が器具にさわり進められるように工夫した。

目次	
A. 腐食のしくみ基礎実験	P1
実験 1 鉄表面の腐食観察	P2
実験 2 鉄表面で起きている反応の確認	P4
実験 3 腐食によって生じる電流の観察	P8
B. 材料の差が原因となる腐食	P11
実験 4 異種金属接触腐食	P11
C. 環境の差が原因となる腐食	P14
実験 5 さびこぶ下の局部腐食	P14
D. ステンレス鋼の腐食	P17
実験 6 ステンレス鋼の腐食に及ぼす塩化物イオンの影響	P18
実験 7 ステンレス鋼のすきま腐食観察実験	P22
E. 電位測定の方法と理論	P24
実験 8 参照電極のしくみ	P24
F. 防食のしくみ	P29
実験 9 犠牲アノード方式によるカソード防食	P31
実験 10 外部電源方式によるカソード防食	P34

図 1. 1 日間コースの実験内容



図 2. 1 班毎に用意された実験器具

(3) 効果的な実験テキスト及び説明用資料の作成

実験内容を効果的に理解するために、全体説明資料として、パワーポイント資料を実験毎に作成した。図 3 に、パワーポイント資料の例を示す。

また、図 4 に、受講者へ配布する実験テキストの例を示す。実験テキストは、実験毎に実験の概要、目的、手順、結果記入欄、結果と考察を記載した。実験テキストは、読みながら実験を進めていくのではなく、不明な点の確認、学習した内容のメモ、復習のために利用できる内容にした。

“さびる”とは？

鉄やアルミニウムといった実用金属は優れた機械的性質を持っており、構造材料として広く使用されています。
自動車、飛行機、船舶などの乗り物や建物、橋梁や化学プラントにおける巨大な構造物がこういった金属で作られています。
しかしながら、鉄を中心とした実用金属が壊れて使われることはあまりありません。これは、こういった金属がいずれはさびてしまう宿命にあるからです。

腐食のしくみのまとめ

- 腐食はアノードとカソードが対になっておこる。
- 金属が溶解するのはアノードである。
- 金属中をカソードからアノードに電流が流れる。電流が流れ込むアノードが腐食する。

図 3. 実験説明用パワーポイント資料例

実験 1 鉄表面の腐食観察

a) 実験の概要と目的
鉄は水と空気のある環境下では容易に腐食することが知られています。このような腐食を腐食といいます。この実験では、鉄板を食塩水に浸漬し、腐食していく様子を観察します。そして、ある時間の範囲内では、鉄表面は必ず、**さびが生じる部分とさびが生じないで金属光沢がある部分にわかれる**ことを観察していただきます。つまり、鉄表面全体が同時にさびていくことはないのです。

b) 実験方法
(1) ビーカーに食塩水を 150ml 程度用意します。
(2) その中に、鉄板を浸漬します。(図 1 参照)
(3) 数分後、鉄板表面の様子を観察しスケッチします。
(4) その後、鉄板を溶液から取り出し、紙で水分とさびを拭き取りさびの下の鉄表面が酸化していることを確認します。

☆ 観察ポイント！ ☆
表面全体にさびが生じるの否かを観察しよう。

c) 観察記録簿

鉄板表面の様子を以下に書き込んでください。

浸漬して数分後、表面はどうなりましたか？

紙で水分とさびを拭き取った後、表面はどうなりましたか？

d) 結果と考察

- 鉄板表面のある部分が黒色になっているのが観察された。
- 紙で水分とさびを拭き取った後、鉄板の黒色くなった部分の金属光沢が失われていた。

鉄板を浸漬してから数分後にさびは生じます。しかし、**表面全体がさびるといふことはなく、さびが生じる部分とさびが生じない部分にわかれます。**そして、さびが生じない部分は金属光沢を保っているため、腐食していないことがわかります。これは、環境のおよび不均一、キズや不純物の有無などといった金属表面の微妙な差であったり、あるいは確率的に定まるものです。

さびが生じていない部分
さびが生じている部分

図 2 鉄板の様子

図 4. 実験テキスト例

(4) アンケート、聞き取り調査内容・解析方法の検討

一般的に調査されている内容全体の理解度や講座全体の意見ではなく、実験毎の理解度やその有用性に関して、問題等の記述式アンケートを作成した。これは、受講直前および直後に実施した。また受講した内容がその後の仕事にどのように活かされているのかを調査するために、直接意見を聞き出す面談および、その後のアンケート調査（6か月後）を行った。

出張講座
2010年8月26日

理解度チェックおよび実験アンケート

今後の出張講座改善のために、実験前に理解度をチェックさせていただきます。
また、実験後、講義・実験に関するご意見・ご感想・ご要望等をお聞かせください。
まず、実験を行う前に、以下の1、2の質問にお答えください。

1. 一般質問

(1) 貴方の専門領域について
理科室、文科室、その他 ()

(2) 現在の仕事の内容 (簡単に) お答えください。
()

(3) 年齢
1. ~19歳 2. 20~29歳 3. 30~39歳
4. 40~49歳 5. 50~59歳 6. 60~69歳

(4) 講座受講の有無
前回の実験を受けましたか? はい、いいえ (他の講座は? はい、いいえ)

2. 理解度チェック

(1) 水が存在する環境では、鉄が腐食するとアノードとカソードが発生する。
(はい・いいえ)

(2) 水が存在する環境の腐食 (湿食) は、化学反応である。
(はい・いいえ)

(3) ステンレス鋼は、錆びない材料である。
(はい・いいえ)

(4) 塩化物イオンは、鉄の腐食を促進させる働きがある。
(はい・いいえ)

(5) 異なる金属を接触させると片方の金属の腐食を促進させることがある。
(はい・いいえ)

(6) 金属の材料と材料の間に、すきまができ、水が浸入すると腐食を促進させることがある。
(はい・いいえ)

(7) 犠牲アノード方式によるカソード防食は、金属以外の材料にも適用可能である。
(はい・いいえ)

次ページ以降の質問は、全ての実験が終了した後にお答えください。

- 1 -

3. 講義・実験全体についてお聞かせください。

(1) レベル
1. 高すぎる 2. 高い 3. 適当 4. 低い 5. 低すぎる

(2) テキスト
1. わかりやすい 2. まあまあわかる 3. 普通 4. 少しわからない 5. わかりにくい

(3) 講師の説明
1. わかりやすい 2. まあまあわかる 3. 普通 4. 少しわからない 5. わかりにくい

(4) テーブルでの学生の説明
1. わかりやすい 2. まあまあわかる 3. 普通 4. 少しわからない 5. わかりにくい

(5) 実験時間
1. 丁度いい 2. 少し長い 3. 普通 4. 少し短い
5. 長くしてほしい (時間) 6. 短くしてほしい (時間)

(6) その他、講義・実験について特に印象に残ったことなどをお聞かせください。

(7) 現場で話することができる内容がありましたらお聞かせください。

4. 今回の出張講座について、今後このようにして欲しいという要望がありましたらお聞かせください。

ご協力本当にありがとうございました。 横浜国立大学 伊藤大輔

- 2 -

図 5. 実験直前直後の理解度アンケート例

出張講座事後アンケート
2011年2月3日

受講後のアンケート

昨年の6月または8月に、腐食またはステンレス鋼の出張講座を受講して頂いた方々に、ご質問致します。今後の出張講座改善のために、ご意見をお聞かせください。

1. 一般質問

(1) 貴方の専門領域について
理科室、文科室、その他 ()

(2) 現在の仕事の内容 (簡単に) お答えください。
()

(3) 年齢
1. ~19歳 2. 20~29歳 3. 30~39歳
4. 40~49歳 5. 50~59歳 6. 60~69歳

(4) 講座受講の有無
受講された実験 → 腐食講座、ステンレス鋼講座、両方

2. 受講後の現場における腐食問題に関して

(1) 現場で起きた腐食問題とその解決の有無
腐食問題:

解決の有無:

学んだ内容が役に立ったか:

- 1 -

(2) 現場で行っている腐食対策
腐食対策:

(3) 近々に対応すべき問題
近々の問題:

(4) 学びたい内容
内容:

(5) その他ご意見ご要望
ご意見ご要望:

ご協力本当にありがとうございました。 横浜国立大学 伊藤大輔

- 2 -

図 6. 実験終了半年後のアンケート例

(5) UMIST・DECHEMA が実施している技術者教育プログラム調査

これまでに行われてきた腐食関連の教育プログラムに関して、Corrosion Control Engineering Course (UMIST)、Continuing Education (DECHEMA) の現状を調査した。また、アメリカ電気化学会 (ECS220、ECS222)、アジア安全工学会 (APSS2011) 等の研究発表会に参加し、情報の収集や意見交換を行った。その結果、基礎の内容およびその活用法に関

して時間をかけて教授することが最も重要であることが分かった。

(6) 大学間交流協定校 VSB (チェコ・オストラバ工科大学) における冶金・金属技術者対象実験講座の実施及びアンケート・聞き取り調査

VSB の材料研究室で行われている実験プログラムの調査を行った。

(7) 教育効果の実証

教育効果の実証に関して、腐食関連講座として横浜国立大学主催公開講座 (3 講座×3 年)、地方公共団体技術職員、民間企業技術者向け出張講座として 10 か所を行った。

(8) 教育効果の解析と教育プログラムの体系化

アンケート調査の結果、実験講座の有効性および理解の即効性は、多くの受講生からの意見として得られた。今後は、アンケート結果を詳細に解析し、改善点や継続教育としての発展を考えていく予定である。本報告書で載せられなかった結果に関しては、今後学会発表等で公表して予定である。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 1 件)

①伊藤大輔、現場における問題解決能力向上を目指した技術者実験教育の試行、日本産業教育学会第 53 回大会、2012 年 10 月 20 日～2012 年 10 月 22 日、金沢大学・角間キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 大輔 (ITO DAISUKE)

横浜国立大学・大学院工学研究院・

特別研究教員

研究者番号：9 0 4 3 6 7 5 9