

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350239

研究課題名(和文)技術者向け実験教育のためのマイクロスケール実験教材の開発およびその教育効果の検討

研究課題名(英文)Development of micro-scale teaching materials of experimental education for engineers

研究代表者

伊藤 大輔(Ito, Daisuke)

横浜国立大学・工学(系)研究科(研究院)・特別研究教員

研究者番号：90436759

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、腐食防食分野の基礎を理解できるマイクロスケール実験教材の開発、個人学習可能な実験手順書の作成を併せて行い、どのような学習ニーズにも対応でき、高い教育効果が保持でき、場所や時間を限定しない実験教育システムの構築を目的とした。

マイクロスケール実験教材の作製、それを用いた講座の実施、アンケート調査の結果以下の成果が得られた。・通常実験と同じ内容でマイクロスケール化可能である。・マイクロスケール化することで、時間及び場所を選ばない教育が可能である。・教材は4人～6人の班で1つ使用する形態が最適である。・教材に合わせた実験テキスト(文章を極力減らし、一目で理解できる形)が必須である。

研究成果の概要(英文)：In this study, corrosion micro-scale experimental teaching materials has been developed, it was investigated the educational effect and its usefulness. We have developed a corrosion experimental program for engineers.

A. Basic experiment of Corrosion[1)Corrosion Observation,2)Confirmation of reaction on the iron surface,3)Observation of current caused by corrosion],B. Types of corrosion[4)Heterologous metal contact,5)Local corrosion under the sediments of rust,6)Influence of chloride ions on the corrosion of stainless steel],C.Mechanism of corrosion protection[7)Cathodic protection by galvanic anode system,8)Cathodic protection by the external power supply system]

This program is a simple, point is clear. This program was arranged to delivery type experimental system. Finally, we succeeded in microscale of the experimental kit. In the future, We want to help in training of many maintenance engineers.

研究分野：腐食防食工学、電気化学、実験教育、技術者教育、リカレント教育

キーワード：腐食防食 マイクロスケール実験 実験教育 技術者教育 教材開発 維持管理 メンテナンス

## 1. 研究開始当初の背景

現在、高度成長期に建設された化学プラント、橋梁、高速道路、火力・原子力発電等の大型構造物は、耐用年数の限界に近づき、その継続的な運用が非常に難しくなっている。また、アメリカのリーマンショック以降、世界的金融危機に陥り日本の産業界も大打撃を受け、新たにそれらの構造物を建設することができない状況である。したがって、今運用しているものの安全性を担保し、残りの寿命を考えながら使用することが重要となり、これらを業務とする保全技術者（腐食防食技術者）の必要性が高まっている。保全技術者の育成に関して日本では、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。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。

このような背景をもとに、報告者は、日本独自の保安技術者育成のために、「電気化学反応の本質を理解させる実験プログラムの開発及び技術者教育モデルの確立（科研費 19700615）」、「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（科研費 22700786）」というテーマで、最も必要な劣化（腐食）現象の基礎の理解に重点を置いた教育プログラムおよびその教材開発を行った。これらを用いた実験講座を実施し、その教育効果の検証も行ってきた。その結果、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、いわゆる実現象からブレイクダウンした型の教育が最適であるということが分かってきた。

一方、近年中学・高校の理科実験に、マイクロスケール実験が導入され始めている。マイクロスケール実験は、試薬量の節減、実験廃棄物量の減少、実験時間の短縮、個人で手軽に取り扱うことができ理解度が向上するなどの様々な利点があることが報告されている。このような実験スタイルは、本研究でターゲットとしている各現場で実施する技術者向け実験教育に、十分適用できると考えられる。

## 2. 研究の目的

これまでの研究で、技術者に対する出張型実験講座を目的とした教育カリキュラムおよび実験教材の開発とその教育効果検証を行ってきた。その結果、そのシステムの良い点として、現場の現象を基にカリキュラムおよび実験を設計しているため、すぐに現場で活用できる教育であると評価が得られた。また、出張型で行うため、自社の会議室等で実施でき、通常業務を停止させる時間の軽減やコストの削減が可能であることも分かってきた。しかし、問題点も多数あり、受講者が多数（50名以上、実験班：1班5名程度×10班）であると、実験器具を扱う人が限定され、実験教育効果の低下が示唆され、また、実験器具の運搬や使用した溶液の処理など運用面で困難が出てきている。そこで、本研究では、腐食防食分野の基礎を理解できるマイクロスケール実験教材の開発、個人学習可能な実験手順書の作成を併せて行い、どのような学習ニーズにも対応でき、高い教育効果が保持でき、場所や時間を限定しない実験教育システムを目指す。次に、この教育プログラムを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、マイクロスケール実験教材を用いた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、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。最終的には、他分野でも応用可能な個人学習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システムの確立を目指す。

技術者が個人で学習できるマイクロスケール実験教育プログラムの開発を行い、その教育効果を検証する。この方式の教育教材は、世界初であるため、その効果や適用性が実証されれば、様々な産業分野で広範な展開が期待できる。また、大学の学部生、大学院生用に発展させると、専門分野の基礎の理解に十分活用できると考えられる。この教育教材の開発並びにそれを用いた教育の試行は、他のリカレント教育またはキャリア・アップ教育の新しい教育モデルとして提案できると考えている。

## 3. 研究の方法

【平成25年度】

(1) 中学・高校で実施されているマイクロスケール理科実験の現状調査および最適な実験カリキュラムの作成

中学・高校で実施されているマイクロスケール理科実験を詳細に調査し、マイクロスケール化した場合の利点や欠点を抽出する。この調査として、文献調査、理科教育・産業教育に関する国際・国内会議へ参加を行う。その結果を基に、腐食・防食分野におけるマイクロスケール実験カリキュラムの作成を行う。

(2) 腐食・防食基礎に関する実験内容の最適化及びそれを理解するためのマイクロスケール実験教材の開発

上記で作成したカリキュラムを基に、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の最適化およびその教材作製を行う。実験キットの作製は、簡単に入手できかつ危険性が少ない材料を用いて、現象を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。

(3) 効果的な実験テキスト（個人実験手順書）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。特に、マイクロスケール化した場合、個人で学習できる手順書の作成が重要となる。

(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。

【平成26～27年度】

<海外における講座模擬実施>

(5) 大学間交流協定校における冶金・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技術者のための講座を調査し、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、教育システムの有効性および適用性を検証する。

<教育効果の実証と教育プログラムの体系化>

(6) 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(15か所程度)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。

(7) 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、技術者向けマイクロスケール実験教育の体系化を行い、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マイクロスケール実験を適用させた理工系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は、世界的にも研究例がない。また、技術者教育の経験のない者が教材開発を行うことは非常に困難であるため、申請者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。

#### 4. 研究成果

(1) 中学・高校で実施されているマイクロスケール理科実験の現状調査および最適な実験カリキュラムの作成

中学・高校で実施されているマイクロスケール理科実験を文献・資料、関連学協会との会議に参加し調査した結果、以下の利点が明確となった。

- ・試薬量を大幅に削減可能
- ・廃液が大幅に削減可能
- ・1人1つの器具で実験可能
- ・実験教育効果が向上する可能性
- ・教室・会議室で実験可能
- ・実験準備・片付けが簡単

この結果を基に、図1に示すように、マイクロスケール化可能な腐食防食実験カリキュラムが完成した。

#### 実験実習カリキュラム

- A. 腐食のしくみ基礎実験(鉄表面の腐食観察, 鉄表面で起きている反応の確認, 腐食によって生じる電流観察)
- B. 材料の差が原因となる腐食(異種金属接触腐食)
- C. 環境の差が原因となる腐食(さびこぶ下の局部腐食)
- D. ステンレス鋼の腐食(ステンレス鋼の腐食に及ぼす塩化物イオンの影響)
- E. 防食のしくみ(犠牲アノード方式によるカソード防食, 外部電源方式によるカソード防食)
- F. 研究事例紹介
- G. 実験後のアンケート調査, 質疑応答等

図1. マイクロスケール化可能な腐食防食実験カリキュラム

(2) 腐食・防食基礎に関する実験内容の最適化及びそれを理解するためのマイクロスケール実験教材の開発

上記で作成したカリキュラムを基に、腐食防食技術の教材作製を行った。図2に作製した教材例を示す。この教材には、既存のマイクロスケール実験の中の化学電池(ボルタ電池)や水溶液の性質で使用される材料を採用し、さらに本来の腐食防食実験で使用している試薬、溶液を組み合わせで作製した。



図2. 作製した腐食防食マイクロスケール実験教材例

(3) 効果的な実験テキスト（個人実験手順書）及び説明用資料の作成

上記で作製した実験教材を用いて、各自で実験を進めるが、その時に必要なテキストを作成した。作成のポイントとしては、実験時間中その場ですぐに理解ができ、また復習時にもスムーズに理解ができるよう文章は極力減らし工夫した。図3に、テキストの一部を示す。いずれの内容も、1枚のスライドに1つの実験が完結するように記述し、実験手順も明確にした。さらに、本テーマの実験教材を基に、小中学生向けの科学実験「錆びない未来はつくれるか、街の錆びを科学する活動、NPO 法人悟空研究所主催」を行った。図4にその時に使用したテキストの一部を示す。小中学生向けの実験に関しても、基本的には技術者向けの内容と変わりはないが、より簡単に理解できるよう工夫した。

(4) アンケート、聞き取り調査内容・解析方法の検討

アンケートは、実験実施前に各実験毎の内容に関する認知度を聞き、実験後に知識理解度やマイクロスケール教材の有用性に関して記述式アンケートを作成した。

(5) 大学間交流協定校における冶金・金属技術者対象実験講座に対する聞き取り調査

海外における実施例および適用性を検討するため、チェコ・オストラバ工科大学および

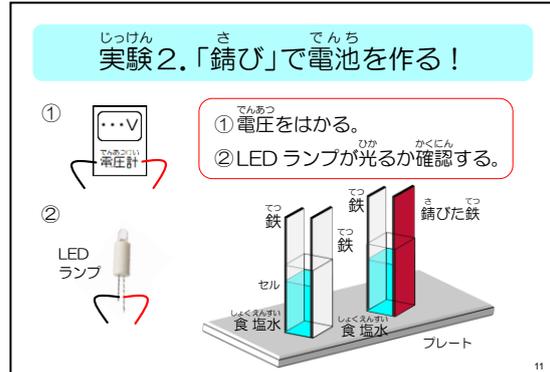


図3. マイクロスケール実験教材に合わせた実験テキスト例

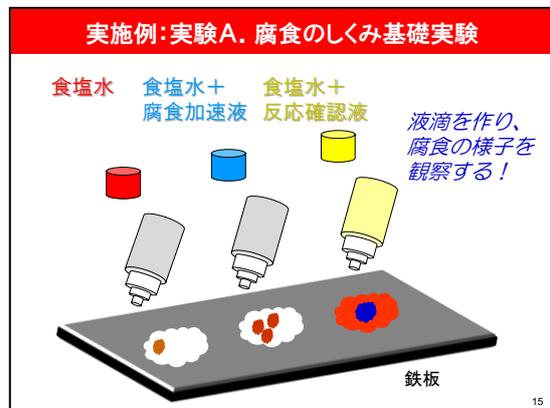


図4. 小中学生向けマイクロスケール腐食実験テキスト例

プラハ化学技術大学の教員および技術スタッフ、学生に本実験教育のシステムおよび検討項目を説明し意見を求めた。その結果、腐食教育に関しては、ドイツのDECHEMAが有名であるが、簡単な材料で実験ができるところは非常に興味があり、初学者においても基礎から学ぶことができる教材として使える可能性が高いとのことであった。本検討では、実際に模擬講義する計画であったが、先方の都合で調整がつかず今回は断念した。

#### (6) 教育効果の実証

教育効果の実証に関して、地方公共団体技術職員、民間企業技術者向け出張講座等を実施した。表1に実施した出張実験講座の実績を示す。

表1. マイクロスケール実験教材を用いた出張実験講座の実績

実施場所	実験型講義時間	受講者数
A	4時間	30名
S	4時間	31名
KS	6時間	15名
KI	6時間×2回	24名
M	6時間	29名
T	6時間	17名
KA	6時間×3回	49名
SR	6時間	20名
F	6時間	25名
KU	6時間	23名
TW	10時間×6回	110名

受講者合計:373名

受講者は全て普段の業務内で腐食及び防食に一度は触れる機会がある技術者である。専門は、機械、電気、土木、建築等が多く化学系出身者は少なかった。

次に、受講者のアンケート結果に関して述べる。図5に、実験講座開始前に実施した各項目の認識度結果の一部を示す。腐食防食を学ぶ上で重要となる項目に関して、約2割から3割は初めて聞く受講者であり、その年代は内容によって異なっていた。受講後の理解度調査では、ほぼ100%の受講者が理解できたという回答であった。そこで、自由意見の一部を以下に示す。

#### <実験の中で印象に残った部分>

- ・腐食と電気の流れのしくみ
- ・アノードの発生状況が目で見えたのが良かった。
- ・防食の実験が印象に残っている。実際に鉄が防食できていることが確認できてとても良かった。
- ・電位測定の意味が分かりました。

これらの意見より、本実験は腐食のしくみから防食技術、電位測定方法等を十分理解で

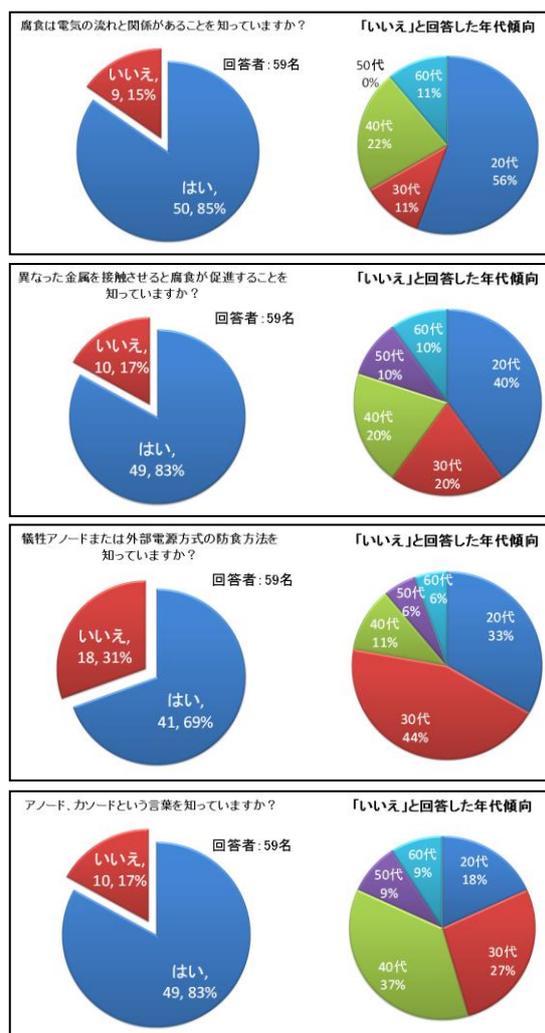


図5. 実験講座開始前に実施した各項目の認識度結果

きる教材である。

#### <現場で活かすことができる内容>

- ・腐食の原因・要因が理解でき、場所ごとに対策を検討したい。
- ・塩分が腐食を促進するので、メンテナンス時に除去する必要があること。
- ・異種金属接触腐食の特徴と絶縁処置
- ・錆こぶの下の腐食状況
- ・防食方法が参考になりました。

これらの意見より、本講座は、現場への適用性が高く、維持管理技術と直結する内容であることが分かった。

アンケートの最後に、「実験教材に関して適切な数を教えてください。」という質問を設け、選択肢を「a. 1人1つが良い、b. 全体で1つで良い、c. 各班で1つで良い(4人~6人で1つ)、d. その他」とした。その結果、約95%が「c. 各班で1つで良い(4人~6人で1つ)」を選択した。「a. 1人1つが良い」はほぼ回答がなかった。この結果は、小中学校で実践されているマイクロスケール実験キ

ットのように、1人または2人で1つという形態が最適であるという傾向と異なるものであった。したがって、社会人や技術者に対する実験教育の場合、各班で1つの実験教材が最適であることが分かった。この理由としては、社会人は自分で教材を扱って理解や興味を深めるといよりは、数人のチームで議論しながら実験を進めるといった形態を望んでいるからである。また、その場で発生する疑問に関して他の班や実験スタッフに聞くことができる時間がある方が学習効果は増大する可能性が考えられる。

#### (7) 教育効果の解析と教育プログラムの体系化

社会人技術者に対する教育効果に関しては、学んだ内容を実務に活かすことができはじめてその効果が明確となるためその調査には時間を要する。本研究では、実験講座実施半年後にインタビュー調査を行った。その結果、受講前より腐食に対する意識向上、防食に関する計画等への対応などある程度の効果はあることがわかった。しかし、その効果を定量化することはできなかった。

以上より、本研究成果を基に社会人技術者に対するマイクロスケール実験教育プログラム・システムに重要な点をまとめる。

- ・通常実験と同じ内容でマイクロスケール化可能である。
- ・マイクロスケール化することで、時間及び場所を選ばない教育が可能である。
- ・教材は4人～6人の班で1つ使用する形態が最適である。
- ・教材に合わせた実験テキスト(文章を極力減らし、一目で理解できる形)が必須である。

最後に今後の展開を述べる。

- ・現場技術者だけではなく、事務系職員に対する教育の実施が必要
- ・腐食防食技術を含む維持管理技術者(エキスパート)の育成が必要
- ・熟練技術者の活用、維持管理教育システムの構築が必要
- ・産学官、学協会の連携による教育機会の提供が必要
- ・実験教材の製品化およびマニュアル(テキスト)の作成による普及活動

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 9件)

(1) Daisuke Ito, Development of microscale corrosion experimental teaching materials for engineers, 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2015/12/15-20, Area 11-Connecting Chemistry to Society, HAWAII

(2) 伊藤大輔・横山隆・岡崎慎司、腐食防食に関する教育・意識向上を目指した実験講座の効果検証及びその普及、日本高圧力技術協会、平成27年度秋季講演会、pp39-42、

2015/10/1、富山県民会館

(3) 伊藤大輔・横山隆・岡崎慎司、技術者向け研修におけるマイクロスケール実験教材の有効性検証、日本理科教育学会、第65回全国大会、p360、2015/08/01-02、京都教育大学

(4) 伊藤大輔・横山隆・岡崎慎司、保守・保全技術者に対する出前型実験教育の研究、日本機械学会、2015年度年次大会、G1700204、2015/09/13-16、北海道大学

(5) 伊藤大輔・横山隆・岡崎慎司、技術者のための腐食防食に関する実験出前講座の実施、日本高圧力技術協会、平成26年度秋季講演会、pp43-46、2014/10/2、松山市総合コミュニティセンター

(6) 伊藤大輔、技術者向け実験教育のためのマイクロスケール実験教材の開発、日本機械学会、産業・化学機械と安全部門 研究発表講演会 2014、pp11-12、2014/06/20、横浜国立大学

(7) 伊藤大輔・横山隆・岡崎慎司、現場技術者向け研修におけるマイクロスケール実験の適用、日本理科教育学会、第64回全国大会、p302、2014/08/23-24、愛媛大学

(8) 伊藤大輔、社会人向け講座におけるマイクロスケール実験教材の開発、日本理科教育学会、第63回全国大会、p93、2013/8/10、北海道大学

(9) 伊藤大輔、現場技術者のための即効性実験教育の研究、日本機械学会、産業・化学機械と安全部門研究発表講演会 2013、pp9-10、2013/06/21、横浜国立大学

#### 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：90436759