

平成 21 年 5 月 22 日現在

研究種目： 若手研究 (B)  
 研究期間： 2007~2008  
 課題番号： 19700615  
 研究課題名 (和文) 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  
 研究課題名 (英文) Development of the experimental program for understanding essence of electrochemical reaction  
 研究代表者  
 伊藤 大輔 (ITO DAISUKE)  
 国立大学法人横浜国立大学・大学院工学研究院・特別研究教員  
 研究者番号： 90436759

研究成果の概要：本研究は、電気化学反応の本質を学習できる実験内容、実験キットの開発を行い、簡単に目にすることができない電子、イオン、電流の理解度を調査した。実験プログラムを腐食防食分野に関係する同大学公開講座、民間企業への出前講座の中で実践し、アンケート調査により教育効果の検証を行った。その結果、受講者の7割程度が電子およびイオンに関して理解ができる実験教材であることが分かった。

交付額

(金額単位：円)

|         | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2007 年度 | 900,000   | 0       | 900,000   |
| 2008 年度 | 600,000   | 180,000 | 780,000   |
| 年度      |           |         |           |
| 年度      |           |         |           |
| 年度      |           |         |           |
| 総計      | 1,500,000 | 180,000 | 1,680,000 |

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：腐食防食、電気化学、実験、技術者教育、リカレント教育

## 1. 研究開始当初の背景

近年、産業界は大きな問題と直面し危機的状況を迎える。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などにより企業の体力が保てなくなる。また、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・ニート化問題などがあり、早急に対策を講じなければならない課題もある。

このような社会背景の中、電気、電子、機械、材料、建築等の様々な産業分野において、機器や設備の保全補修、メンテナンスを考える上で金属材料の劣化・腐食防止技術は非常に重要である。しかし、腐食防食の分野は、

学際的・複合的であり個人で学習することは非常に困難である。そこで、我々の研究室では数十年前から座学と実験を併せた社会人技術者教育講座を実施し、受講者からのアンケート調査によりその効果を研究している。受講生の意見や私の教育経験から、現場で使える技術や考え方は、本質を理解することが非常に重要で、その本質を理解するためには実験教育が最も有効な方法であることが判明した。私は、より効率よく本質を理解させるために、実験内容、実験スケジュール（時間配分、実験の組み合わせ等）、ティーチングアシスタントの配置と仕事内容、説明用資料の作成、実験器具・装置の開発、アンケー

ト調査・解析等を研究している。その中で、アンケートの解析結果より腐食防食を学ぶ上で基礎となる電気化学反応、特に電子伝導体とイオン伝導体との閉回路は難解で誤解しやすい部分であることが明らかとなった。

これまでに国内外で、電気化学反応や電子伝導体・イオン伝導体を理解するための教材およびその効果などを研究した例は数少ない。また、その教育効果の検証まで至っていないのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究では、電気化学反応の本質を学習できる実験内容、実験キットの開発を行い、簡単に目にすることができない電子、イオン、電流を実験を通して体得できる教育プログラムを作成する。これを、腐食防食の実験に組み込みアレンジし、設備配管の腐食事例を抱える消防関係や水道関係の地方自治体、民間企業への出前講座として教育効果の検証を行う。教育モデルの開発からその試行の一連の研究を行い、その教育効果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、産業教育の中での他分野の教育教材開発の方法を確立することを最終目標としている。

## 3. 研究の方法

(1) 電気化学反応の本質を理解できる実験内容、キットの開発・・・

電子、イオン、電流の概念を体得できる実験内容、キットの開発を行う。電子、イオンの存在は、視覚的に見るのが困難であるためにその理解も難しい。そこで、色の変化や測定機器の針の動きなどアナログ的な変化を効果的に見せることができる実験キットを、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する。

(2) (1) を組み込んだ新しいプログラムでの腐食防食教育講座の開発・・・

これまで実施してきた腐食防食講座の内容に、(1) を組み込み入れた新たなプログラムを作成する。プログラムは、単に (1) を組み込むのではなく、腐食防食の理解を深めるための基本となる電気化学の概念の導入として、スムーズに理解できるよう考慮する。各実験の時間配分、順番についても綿密に計画し、効果的なプログラム作成を行う。

(3) ティーチングアシスタントの配置方法とその仕事内容の検討・・・

開発した実験プログラムは、受講生のみで進めていくものではなく、実施の際には講師を含めたティーチングアシスタントの補助が必要となる。各実験班にティーチングアシスタントを配置すると実験中に疑問に感じ

たことや不都合な点を即座に解決でき得るという大きな教育効果が期待され、本研究においてもこのティーチングアシスタントの配置方法とその仕事内容、育成や訓練プログラムに関しても検討する。

(4) 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。

(5) アンケート、聞き取り調査内容・解析方法の検討・・・

開発した実験内容を組み込んだ新規腐食防食プログラムを、多数実施するが、その教育効果を評価するためのアンケート、聞き取り調査の項目を検討する。さらに、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。

(6) 開発した実験内容を組み込んだ新規プログラムの実施検証・・・

開発した実験内容及び教育システムを既存の同大学主催の2講座および民間企業技術者向け出張講座2講座に対して実施し、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モデルの一般化・・・

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、改善点等を抽出し整理し、教育効果の高いモデルを提案する。さらに教育モデルの一般化へと発展させ、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。

## 4. 研究成果

(1) 電気化学反応の本質を理解できる実験内容、キットの開発・・・

電気化学反応を理解させるために、腐食反応を例にとり、図1に示す要点を満足させるための実験内容、キットの作製を行った。本内容は、DECHEMA方式による腐食教程を基本とし、各実験キットを身近な物で作製し、また実験時間や実験手法など効率的に理解できる最適な条件として開発した。図2に示す3つの実験を最低でも1.5時間かけて理解させる。

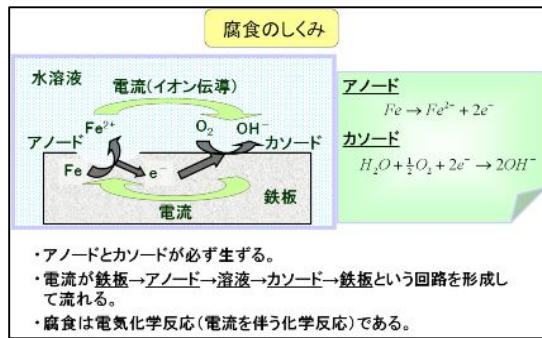


図 1 腐食のしくみを例とした電気化学反応を理解するための要点

実験A: 腐食している鉄表面には、**サビが生じる部分とサビが生じない部分**に分かれることを確認する。

実験B: 指示薬を用いた観察から、**鉄表面で起きている反応**を確認する。

実験C: 腐食反応には**電流の流れが伴う**ことを観察する。

図 2 電気化学反応を理解するための実験内容

(2) (1) を組み込んだ新しいプログラムでの腐食防食教育講座の開発及び実施検証・・・

図 3 は、(1)を組み入れた腐食防食技術習得プログラムとして作成した内容である。全体の実験としては、大きなテーマを5つ設け、計10個の実験とした。実験時間は、計7時間であり、各テーマの内容を十分理解できるようにテーマごとの時間設定を行った。実験キットは、受講者自らが手を動かし体験できるように、4名～5名程度で1つを取り扱うことができるよう準備した。

**【実験プログラム】**  
 実験時間: 3.5時間×2日間 計7時間  
 実験人数: 1つのキットにつき4～5名

A. 腐食のしくみ基礎実験 (1.5時間)  
 実験1 鉄表面の腐食観察  
 実験2 鉄表面で起きている反応の確認  
 実験3 腐食によって生じる電流の観察

B. 材料の差が原因となる腐食 (0.5時間)  
 実験4 異種金属接触腐食

C. 環境の差が原因となる腐食 (1.5時間)  
 実験5 pHに差がある環境での腐食  
 実験6 通気に差がある環境での腐食  
 実験7 さびこぶ下の局部腐食

D. 電位測定の理論と方法 (2.0時間)  
 実験8 参照電極のしくみ

E. 防食のしくみ (1.5時間)  
 実験9 犠牲アノード方式によるカソード防食  
 実験10 外部電源方式によるカソード防食

図 3 電気化学反応及び腐食防食技術を習得するための実験プログラム

図3で示した実験内容を、設備管理技術者(民間企業)向け出張講座2講座を実施した。また、内容の一部を既存の同大学主催の2講座に対して実施した。図4に実施した実験講座の様子を示す。各班に実験を指導し、受講者の理解を手助けするティーチングアシスタント(TA)を配置した。TAには、事前に実験内容を十分理解させ、初学者が疑問に思う質問事項等を整理させ、質問に対応できるよう訓練を行った。



図 4 実施した実験講座の様子

また、実験内容を効果的に理解するために、実験テキスト、実験説明用資料も実験に対応させ、新規に作成した。事前に講座実施先と協議し、仕事・業務内容など受講者の特長に最も合致する内容を調査し作成した。

図5に、使用した実験器具および実験の一例を示す。実験器具は、出張講座で実施する場合を想定し一般的な会議室のテーブル環境等でも対応可能な簡易な器具とした。実験で使用する溶液類も危険な物は使用せず、受講者の安全を第一に考えた実験となっている。



(a) 実験器具



(b) 電気化学基礎実験

(c) 腐食実験

図 5 実施した実験の詳細

(3) アンケートによる教育効果の解析・・・  
 実験後のアンケート調査を行い、実験講座の問題点、改善点等を抽出し整理した。図6に、設備管理技術者向け出張講座で実施したアンケート調査結果を示す。アンケートの内容は、受講者の特長に関する一般質問、実験



全体に関する内容、個々の内容、実験に対する意見、要望である。

結果より調査した受講生の特性は、約80%が理系の現場技術者であり、年代別では30代36%、40代26%、50代36%であった。実験前の事前調査において、電気化学および腐食防食分野に関しては、ほぼ全員が初学者であった。

|   |                |
|---|----------------|
| 回答者:39名   |                |
| 1. 一般質問   |                |
| (1)貴方の専門領域について  | (2) 年齢         |
| 理科系 31名   | 1. ~19歳 0名     |
| 文科系 1名  | 2. 20~29歳 2名   |
| 文理 1名   | 3. 30~39歳 14名  |
| その他 4名  | 4. 40~49歳 9名   |
| 無回答 2名  | 5. 50~59歳 14名  |
|   | 6. 60~69歳 0名   |
| 2. 実験全体について   |                |
| (1)レベル  | (2)テキスト        |
| 1. 高すぎる 0名  | 1. わかりやすい 22名  |
| 2. 高い 8名  | 2. まあまあわかる 15名 |
| 3. 適当 29名   | 3. 普通 1名       |
| 4. 低い 2名  | 4. 少しわからない 1名  |
| 5. 低すぎる 0名  | 5. わかりにくい 0名   |
| (3)講師の説明  | (4)テーブルでの学生の説明 |
| 1. わかりやすい 24名   | 1. わかりやすい 12名  |
| 2. まあまあわかる 13名  | 2. まあまあわかる 21名 |
| 3. 普通 2名  | 3. 普通 6名       |
| 4. 少しわからない 0名   | 4. 少しわからない 0名  |
| 5. わかりにくい 0名  | 5. わかりにくい 0名   |
| (5)実験時間   |                |
| 1. 丁度いい 16名   |                |
| 2. 少し長い 12名   |                |
| 3. 普通 8名  |                |
| 4. 少し短い 2名  |                |
| 5. 長くしてほしい(時間) 1名   |                |
| 6. 短くしてほしい(時間) 0名   |                |
| 3. 個々の実験について  |                |
| ※ 電気の流れは、金属中を電子が流れ、電解質中をイオンが流れることによるものであることが理解できましたか？   |                |
| a. よく理解できた  | 20名            |
| b. まあまあ理解できた  | 10名            |
| c. 普通   | 6名             |
| d. 少し分からないところがあった   | 3名             |
| e. 全く分からなかった  | 0名             |
| ※ 腐食は、電気回路を作って進行することが理解できましたか？  |                |
| a. よく理解できた  | 26名            |
| b. まあまあ理解できた  | 11名            |
| c. 普通   | 0名             |
| d. 少し分からないところがあった   | 1名             |
| e. 全く分からなかった  | 0名             |
| 4. 実験について特に印象に残ったこと   |                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・現象が目で見えるため非常に分かりやすい。(2人)</li> <li>・頭では分かっていたが実験でより深く理解できた。</li> <li>・短時間で目で見て分かりやすく色で覚えて印象に残った。(3人)</li> <li>・実験として現象を確認しながらの講義で分かりやすかった。(2人)</li> <li>・溶液につけた金属板が指示薬により色の変化が分かりやすい。(10人)</li> <li>・腐食＝電流の流れを知ったこと(2人)</li> </ul> |                |
| 5. 今後このようにして欲しいという要望  |                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・電位について、もう少しレベルを下げて説明してほしい。</li> <li>・一班の人数を減らし、TAを増やす。実験数を増やす。</li> <li>・実験はもう少し少人数のグループが良いと思いました。</li> <li>・実験を更に取り入れて講義をしてほしい。</li> <li>・電流と電子、イオンの流れ方についてはもう少し説明がほしい。</li> <li>・いろいろな腐食形態についても講義に入れてほしい。</li> </ul>            |                |

図6 実験終了後のアンケート調査結果

実験後の実験全体に関するアンケート結果では、実験レベルに関して約75%が「適当である」と答えている。また、テキストに関しては、56%が「わかりやすい」、41%が「まあまあわかる」であった。したがって、テキストは、ほぼ全ての受講者に受け入れられる内容であることがわかった。講師の説明およびTAの説明は、「わかりやすい」、「まあまあわかる」の上位2つを合わせると、約85%以上であった。実験時間は、「丁度いい」と「普通」を合わせると62%であった。しかし、31%は「少し長い」という意見であった。本実験講座では、受講者がその時間内で十分理解できるように、講師やTAの説明に関しても十分時間をかけている。その結果、講師やTAの説明に関しては、わかりやすいという結果を得ているが、同時に実験時間が少し長いという意見も生み出している。この結果より、受講者が十分理解できる時間を確保しつつ全体として受講者が満足できる時間設定を再検討すべきであることがわかった。

個々の実験に関する調査結果は、「電気の流れは、金属中を電子が流れ、電解質中をイオンが流れることによるものであることが理解できましたか？」という質問に対して、「よく理解できた」と「まあまあ理解できた」を合わせると77%であった。電気化学反応で重要な電気の流れに関する電子、イオンの考え方を多くの受講生が理解できている。また、「腐食は、電気回路を作って進行することが理解できましたか？」に対して、「よく理解できた」と「まあまあ理解できた」を合わせると95%であった。そこで、目にするのでできない電子とイオンをどの程度理解することができたかを検証するために、上記アンケートの最後に、図7に示すような質問を行った。

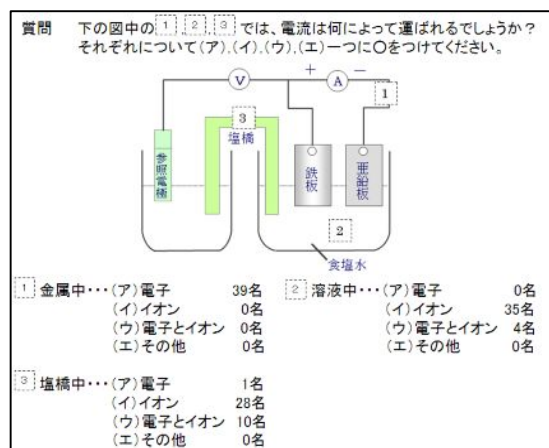


図7 電子、イオンの理解度に関する質問

図7に示した質問では、防食実験で用いた回路系の中で、どの部分で「電子」または「イ

オン」が関係しているかの理解度を調査した。その結果、導線中（金属中）では全員が「電子」と回答した。また溶液中では、90%が「イオン」と答え10%は「電子とイオン」と答えた。この結果より、電気の流れの考えの中で、金属中は電子が運んでいることは理解できているが、溶液中ではまだ10%の受講生は完全には理解できていないことになる。これは、中学や高校時代に理科などで学んだ「電流の流れの逆（反対）向きに電子が流れている」という概念が強くインプットされている可能性がある。したがって、溶液中においてもイオンの他に当然電子も存在し電気を運んでいると理解している可能性が高い。さらに、塩橋中では、26%が電子とイオンと回答した。したがって、最終的には7割程度の受講者は、電子、イオンの概念を理解でき、3割程度が理解が不十分であることが推察される。

したがって、今後は、理解が不十分であった人が理解できるような理解を補完する実験内容の開発が必要となる。

今回開発・実施・検証した実験プログラムは、設備管理技術者向けに作成したが、他分野技術者の導入としても、十分使用できると考えられる。他分野の技術者に関しても同様に実施し、その効果の検証を行っていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[その他] (計2件)

- ① 伊藤大輔、講義・実験を通じて学ぶ--材料の劣化とその対策--横浜国立大学大学院工学研究院主催セミナー、Zairyo-to-kankyo、58(3)、86-88、2009、寄書
- ② 伊藤大輔、講義・実験を通じて学ぶ--材料の劣化とその対策--横浜国立大学大学院工学研究院主催セミナー、Zairyo-to-kankyo、57(1)、22-24、2008、寄書

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊藤大輔 (ITO DASIUKE)

国立大学法人横浜国立大学・大学院工学研究院・特別研究教員

研究者番号：90436759

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者