

RoHS/ELV 指令に基づく有害物質教育の試み

出川 強志^{*1}, 渥美 太郎^{*2}, 田中 孝国^{*2}

An Attempt for Hazardous Materials Education based on the RoHS/ELV Directive

Tsuyoshi DEGAWA, Taro ATSUMI, and Takakuni TANAKA

Students did not have the opportunity to consider the environmental problems in the student experiments. Therefore, we paid attention to the chromate products. The chromate products was included Cr (VI), but now was not included Cr (VI) by RoHS / ELV Directive. However , inspection of containing Cr (VI) at the chromate products is necessary to export. Therefore we tried an attempt for hazardous materials education based on the RoHS/ELV Directive. Hazardous materials measurements of the chromate products are suitable education to the understanding of the environmental problems.

KEYWORDS : the environmental problems , student experiments, the chromate product, Cr (VI) , hazardous materials education , the RoHS / ELV Directive

1. はじめに

小山高専は、実験・実習を重視した専門教育課程を有し、卒業生の多くは研究開発ができる実践型技術者として、新規開発や製品製造現場の第一線において高い評価を受けている。現在の産業界は、環境負荷に配慮したモノづくりは必須である。また様々な専門領域を越えた技術開発は当たり前であり、狭い専門領域だけを習得する従来の高専の教育課程ではこれをカバーできない。したがって次世代の技術者を育成する高専において、環境に配慮しながら専門領域を超えて問題解決ができる技術者育成が求められている。

これまで、共著者の環境に関する通常の講義科目と同時に、著者が指導している物質工学科 2 年生の分析化学実験において、学生実験における廃液教育の試み¹⁾(平成 25 年度奨励研究採択 課題番号 25910030) を導入しており、学生実験時の廃液中の有害物質の測定を通して、環境負荷を考える人材の育成を目指してきた。

しかし学生実験では、試薬等を持ちいた基礎的な実験が多く、学生は実際の工業製品がおよぼす環境負荷を考える機会がなかった。そこで今回、実例の 1 つとして防食の為に電子部品や自動車に広く使用されるクロメート処理²⁾されたボルト・ナットなどの金属製品に着目した。クロメート処理は三価クロムの化合物を主体とした様々な混合

*1 技術室 (Technical Office) E-mail: degawa@oyama-ct.ac.jp

*2 物質工学科(Dept.of Materials Chemistry and Bioengineering)

物の皮膜で、主に亜鉛めっきされた鉄製品の防食性強化のために行われる。かつてクロメート処理には六価クロムを含む溶液が用いて製造されたが、この場合はクロメート皮膜中に人体や環境に有害な六価クロムの化合物が少量含まれた。最近ではEU（ヨーロッパ共同体）で2000年代に公布、施行された電子製品や自動車廃棄物中の特定有害物の使用に対する規制（RoHS/ELV 指令）³⁾により六価クロムを含む溶液を使用しない方法で製造されつつある。この場合皮膜には六価クロム化合物は含有しない。しかし国内に流通する製品によっては六価クロムが検出され、製造・取り扱い業者において、現在も検査業務は必須である。これら製品の有害物質の測定は、処理のコスト、環境負荷などの理解に必須であり、高専が目指す将来のゼロエミッション社会の技術者教育の実践に好適である。また電子部品や自動車部品を扱うには電子、機械、化学など専門領域を越えた問題解決能力が求められる。そこで学生に、電子部品や自動車に使用される金属製品中の有害物質（六価クロム）の測定実習を柱とした勉強会を計画した。

今回の取り組みの目的は、製品中に含まれる有害物質の含有率を理解させることにより、学生に有害物質の処理のコスト、環境負荷などの理解と、電子、機械、化学など専門領域を越えた問題解決能力の醸成を図り、産業界において環境負荷を念頭に入れた、技術開発および製造を行える人材育成を目指すものである。

2. 実施内容

勉強会は2014年10月～2014年2月に行った。今回の試みは専門領域を超えたアプローチが必要とされるので、共同利用施設である地域連携共同開発センターを中心に展開し、環境問題や工業製品に興味のある学生を対象に学科横断的にHRに募集ポスターを掲示し、3年及び4年生の全学科（約200名）の学生に参加を呼び掛けた結果、物質工学科の3年生2名と4年生2名が勉強会に参加した。

勉強会全体の構成は、参加学生が課題を積極的に学習をする事を目指し、以下に記した手順を計画した。

1. 現代文明における科学技術の存在
2. 文明をささえる素材としての鉄
3. 鉄の弱点であるサビと防食法

4. 防食法としての六価クロメート
5. 環境保護意識の全世界的な高まり
6. 環境保護政策としてのRoHS/ELV 指令
7. RoHS/ELV 指令における六価クロム
8. クロメート製品中の六価クロム測定実習
9. 勉強会において学んだ事を発表

最初に現代文明における科学技術の恩恵を考え、その現代文明を支える大きな存在である鉄という素材の利点と、その弱点といえるサビやすさに対する防色法として亜鉛めっきを挙げ、この亜鉛めっきの弱点を補完する意味合いで、20世紀中頃に六価クロメート技術が開発された歴史的展開を述べるとともに、六価クロメート技術の概要の説明を行う。

六価クロメート被膜は、亜鉛めっきされた鉄製品を六価クロムが主成分の処理液中に浸漬させた際表面に生じる Cr^{3+} と Cr^{6+} を主成分とするゲル状複合酸化物($x\text{Cr}_2\text{O}_3/y\text{CrO}_3/z\text{H}_2\text{O}$)であり、様々なイオンが含まれている。湿度や温度の影響によりクロムの価数が安定していない。六価クロメート皮膜はその厚さによってユニクロ、有色、黒色、緑色などの種類があり、皮膜の種類にもよるが皮膜中の六価クロムは三価クロムの1/10ほどの量が含まれることもある。六価クロメートは防食法として非常に優れており、亜鉛めっきの白さびを防ぎ、赤さびへの時間延長や、塗装との密着性の改善などの様々な特徴がある。

その中でも特筆すべき点は皮膜に傷が出来ても皮膜中に含まれる六価クロム化合物が還元され、三価クロム化合物に変化することにより、皮膜が修復する事（自己修復性）である。このことは防食としての特性の良さが有害物質である六価クロムに起因していることを示している。

その後20世紀後半から環境保護や、産業における安全衛生の思想の広まりから有害な物質の規制が進展と、その結果EUで発効されたRoHS/ELV指令を紹介する。RoHS/ELV指令では規制すべき有害物質に六価クロムが挙げられその含有率は製品に施されたクロメート皮膜中において1000ppmを超えている場合、その製品はEU圏内において取引を禁ずるものであり、六価クロムを含む六価クロメートは六価クロムを含まない三価クロメートに置き換わった背景を説明する。これらを背景に、実際のクロメート製品中の六価クロムの濃度を測定する実習を行い、最後に今回の勉強会で学んだ

事を各人でまとめて発表会を行うことを計画した。

以上の構成にしたがって勉強会のスケジュールを作製した。進行は、4年生と3年生は別にし、学生との相談の上、同内容ながら、難易度等を多少変更した。表1に4年生、表2に3年生に行った勉強会のスケジュールを記す。

表1 4年生グループのスケジュール

	テーマ
第1回(10/ 8)	鉄, 亜鉛, 六価クロメート
第2回(10/15)	六価クロム, RoHS/ELV
第3回(10/22)	様々なクロメート製品
第4回(10/29)	様々なクロメート製品-2
第5回(11/ 5)	まとめ
第6回(11/12)	発表会

表2 3年生グループのスケジュール

	テーマ
第1回(10/17)	鉄, 亜鉛
第2回(10/24)	クロメート, 六価クロ, RoHS/ELV
第3回(12/ 5)	EN15205
第4回(1/23)	様々なクロメート製品, まとめ
第5回(2/20)	発表会

こうして組み立てられたスケジュールにおいて各回の勉強会は以下の手順で行った。

1. 講義
2. 問題呈示
3. 問題を班内討議 (ブレインストーミング)
4. 討議内容に対する指導者の助言・助言
5. 問題の理解のための検証実験・実習・観察

各回の勉強会は1時間～3時間の範囲で行った。最初に筆者が講義を行い、その中で各回のテーマに沿って呈示された問題について学生同士の班内討議を行わせた。班内討議では、ブレインストーミングの形式を取り入れた。これにより自由に意見を出し、ホワイトボードに記入していき、発想が広がるようにした。この班内討議の内容に対し、筆者は、進むべき方向を助言・指導し、呈示された問題に対する検証実験・実習を行う事により、テーマの内容に対する理解を深めると言う、きめ細かいアクティブラーニング的手法を用いた。問題呈示とブレインストーミング的議論および、検証実験の1例を表3に記す。(物質工学科3年生

グループ)

表3 問題呈示, 議論と検証実験例

物質工学科3年生グループ 第1回勉強会 (2014年10月17日) テーマ「鉄, 亜鉛」	
班内討議に提示された問題	「『鉄』について何でも思いつく事を述べて考えてみよう。」 (図2)
班内におけるブレインストーミング的議論の展開	『鉄』をキーワードに「電車」、「車」、「バイク」、「鉄筋」、「武器」、「ビル」、「ロボット」、「どこにでもある」等様々な言葉が出た。(図3)
討議内容に対する助言と指導	鉄の性質を、学生の発想と議論を元に、鉄の利点(強靱さ、様々な方面に使用されている事、生産量等)と欠点(さびやすさ)の観点からまとめて説明した。(図3)
検証実験	鉄の欠点である、さびやすさを体感するために、鉄クギとステンレスくぎで、さびを発生させる実験を行い、両者を比較した。

実験・実習・観察等に使用した試料は、ホームセンター等で普通に市販されている、鉄クギ、亜鉛板、クロメート製品(ボルト、ナット、座金等)等を用いた。使用した製品を図1に記す。

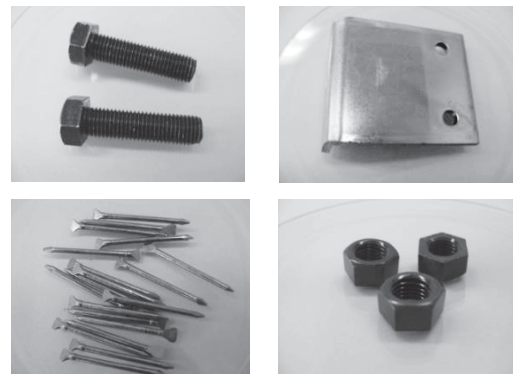


図1 クロメート製品

六価クロムは水に可溶であり、クロメート製品中の六価クロムは水による抽出が可能である。様々な抽出法があるが、今回製品中の六価クロムの抽出法は、EUで広く行われているEN15025に準拠した。これは試料の金属製品を天秤で秤量して1 試料の質量を測定した後に、ノギス等で表面の各部分を計測してその形状に適した計算式より、表面積を算出する(図4)。その後50cm²の表面積毎に試料を分取し50cm³の沸騰蒸留水中にて10分間、試料表面の六価クロムを加熱抽出させる方法である(図5)。これにより抽出された抽出液1cm³中には試料1cm²に含まれる六価クロムが溶出していることとなる。この抽出液中の六価クロムの含有率測定は、分光光度計及びジフェニルカルバジド法を準用した市販パックテストキットを用いた(図6)。最後に勉強会全般について、自分達が理解および発見した事象について、全体討議で口頭発表(全体発表会)(図7)を行った。

勉強会の様子を図2~7に記す。



図4 表面積計測



図5 加熱抽出



図6 分光光度計による六価クロム測定



図2 班内討議

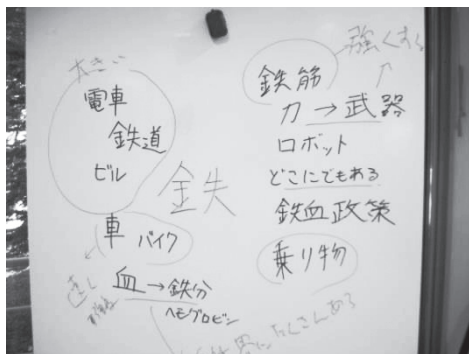


図3 ブレインストーミング



図7 全体討議 (全体発表会)

3. 結果

RoHS/ELV指令では、製品のクロメート皮膜中の六価クロムの濃度は1000ppmを超えないこととされる。この時クロメート製品の加熱抽出液中の六価クロムの含有率は、0.1ppm⁴⁾を超えない。表4に学習会において測定した結果を示す。測定に使用した分光光度計の検出限界は0.02~1.0ppmである。

表4 製品中の六価クロム濃度

製品の種類	六価クロム濃度 (ppm)
L字金具 (建設用金具)	0.035
釘 (頭をつぶしたもの)	1.0以上
ピン釘	0.02以下
ボルト	0.36
ナット	1.0以上
角座 (建築用金具)	1.0以上

表4において、斜体太字の数値を示している製品(釘, ボルト, ナット, 角座)はRoHS/ELV指令の規制値を上回り、EU内で取引は出来ない。参加学生は国内において身近に流通しているクロメート製品中にRoHS/ELV指令での規制値を超過している製品があるという事を、測定によって確認できた。これにより学生は実際の工業製品中の有害物質の存在をもって環境負荷を考える事が出来た。

また事前における知識と事後における内容理解を調査するため勉強会の前後において簡単なアンケートを実施した。その一部を図8~10及び表5に記す。

(4年生グループ, 2014年10月1日及び11月12日2名中2名回答)

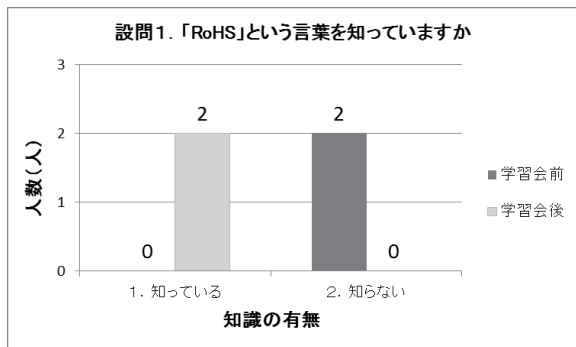


図8 アンケート結果

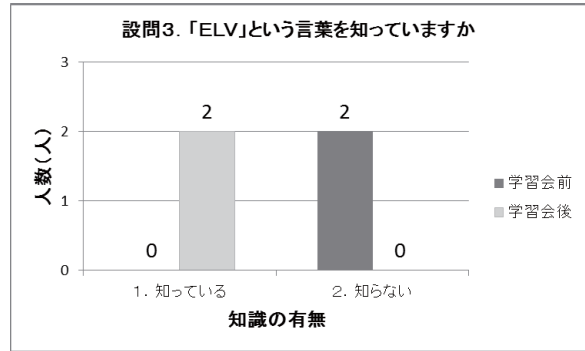


図9 アンケート結果

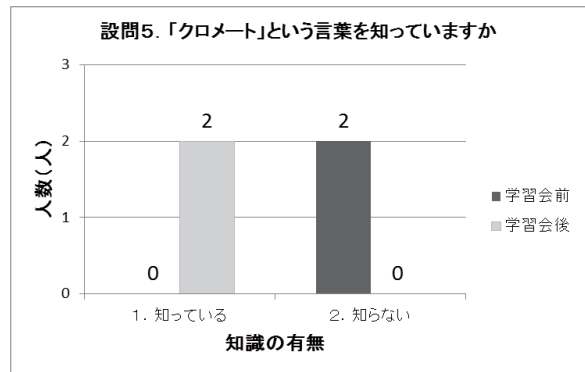


図10 アンケート結果

表5 アンケート結果

13. 環境問題について思いつく事を書いてください。	学習会前	酸性雨, 温暖化, 河川の汚染 工場排水の処理技術, 酸性雨, 地球温暖化, 廃棄物から出る汚染物質
	学習会後	土壌・河川の汚染, RoHS指令, 生物濃縮 地球温暖化, フロン(オゾン層の破壊・メタンガス), 六価クロムなど有害物質の排出, 工業廃棄物による汚染

これらの結果は、参加学生のRoHS/ELV指令に関する知識習得を示している。また質問13についての回答では、勉強会前は、「酸性雨」、「地球温暖化」などの一般的に良く知られているキーワードが出ているが、学習会後は、勉強会で知ることが出来た「RoHS指令」や「六価クロム」などより具体的なキーワードが並んでいる。今後この勉強会を継続した際、さらに詳細なアンケート調査を行い、勉強会の効果を確かめたい。

全体発表会では参加学生(4人)が勉強会を通じて理解および発見した事象を指導者と相談しながら、自ら題目を決めて発表し、発表後この発表に関するレポートを提出した。表6に両者のテー

マを記す。

表6 発表会とレポートの題目

	全体発表会	提出レポート
4年生	クロメート製品について ークロメートと他めっき類との比較ー	六価クロムの測定と影響
4年生	六価クロムの測定	RoHS/ELV 指令に基づく製品中の有害物質測定の勉強会
3年生	RoHS 指令とこれに伴う日本の動向	RoHS 指令と日本の動向
3年生	クロメート皮膜と RoHS 指令について	製品のクロメート皮膜中の六価クロムの測定

この題目はクロメート製品と六価クロムを軸にクロメート製品と他めっき類との比較（クロムメッキや三価クロメート処理法等について）や、RoHS指令と日本の動向（日本における環境規制の現状）など、参加学生の興味が様々な方面にわたっていることを示している。

以上の結果より化学専攻の学生が、クロメート製品という普段学校の授業で触れることが少ない工業製品を扱うことにより、産業における化学系技術の活用的一端を知ることが出来た。これにより、学生は、機械製品の開発・製造にも化学の知識が必要であることを知り、開発・製造の現場では電子、機械、化学など専門領域を越えた知識と問題解決能力が必要であることを体感することが出来た。

2014年度に行った勉強会は、参加人数が計4名と非常に少なかった。また物質工学科のみの参加で、専門が機械系、電気系、建築系など化学系以外の学生の参加はなかった。参加した物質工学科の学生は各人興味を持って取り組んでいたが、他の専攻が同じように興味を持って参加したかどうかは不明である。

2015年度にもこの勉強会は行っていきたいが、募集に当たって、参加学生増と、専門領域を越えた学生の参加を目指している。HRに募集ポスターを掲示して募集したが集まらなかった事を踏まえ、今後は、例えばHRにおいてデモ実験による紹介の

実施などにより、多くの学生が参加してもらえるように工夫していきたい。

4. 謝辞

本研究は平成26年度奨励研究（課題番号26910028）に採択されています。本研究で小山高専内の関係される先生方には多くの御支援を頂きました。深謝いたします。

参考文献

- 1) 出川強志, 高屋朋彰, 加島敬太, 糸井康彦, 上田誠, 田中孝国: 「学生実験における廃液教育の試み」, 小山工業高等専門学校研究紀要, 第47号, pp. 105-110 (2008)
- 2) 電気鍍金研究会編: 現代めっき教本, 日刊工業新聞社, pp. 371 (2011)
- 3) RoHS 研究会編: 『Q&A でよくわかるここが知りたい世界のRoHS 法』, 日刊工業新聞社, pp. 10-15, 128-133 (2011)
- 4) 角田欣一ら, 著: 『分析化学実技シリーズ 応用分析編6 環境分析』, 共立出版, pp. 219-235 (2012)

【受理年月日 2015年 9月30日】