

## 課題を解決する高い能力を有する若い学生の育成を目指して(2) — 高学年科目における「学びあい」を通じて —

城石 英伸<sup>1\*</sup>, 庄司 良<sup>1</sup>, 波止元 仁<sup>2</sup>, 志村 穰<sup>3</sup>, 加藤 格<sup>4</sup>  
東京工業高等専門学校 物質工学科<sup>1</sup>, 一般教育科<sup>2</sup>, 機械工学科<sup>3</sup>, 電子工学科<sup>4</sup>  
(〒193-0997 八王子市櫛田町 1220-2)

\*h-shiroishi@tokyo-ct.ac.jp

## Development of Problem-Solving Abilities in Students (2)

Hidenobu SHIROISHI<sup>1\*</sup>, Ryo SHOJI<sup>1</sup>, Jin HATOMOTO<sup>2</sup>, Jyo SHIMURA<sup>3</sup>  
and Itaru KATO<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departments of Chemical Science and Engineering, <sup>2</sup>General Education, <sup>3</sup>Mechanical Engineering, <sup>4</sup>Electronics,  
Tokyo National College of Technology (1220-2 Kunugida, Tokyo 193-0997, Japan)

(Received April 1, 2013; Accepted April 24, 2013)

In order to develop problem-solving abilities, students need to improve their communication skills through beneficial problem solving in a group setting. In this study, we introduced “learning from each other” to fourth-year students in Quantum Chemistry, a subject consisting of semiempirical and *ab initio* molecular orbital calculations. We also introduced the same system of learning to fourth-year students in Instrumental Analysis II, which consists of problems for determining chemical structure by NMR, IR, and mass spectra. In Coordination Chemistry and Electrochemistry in fifth-year students, the student’s presentations were reviewed each other to improve their presentation ability.

**Key words:** Problem-solving ability, Peer-review type presentation

### 1. はじめに

東日本大震災以降、日本の貿易収支の赤字が続いている。原子力発電所の稼働停止に伴う天然ガスや原油の輸入量が増大しただけでなく、円高による工場の海外移転やアップルやサムソンに代表される世界に訴求できる商品の欠如によって、日本の国際競争力の低下が著しい。

我が国は、外貨が獲得できなければ、1次エネルギー源を獲得できず、「石油を食べている」と揶揄される自給率が低い食料生産でさえも維持することはできない。そのため、外貨を獲得できる有能な技術者を育成することが肝要である。

前回の報告[1]でも記述したが、高専生には、専門の基

礎学力と課題を解決する力が企業から求められている。

このような技術者を育成するためには、2つの視点から教育を改善する必要がある。一つは、課題を解決するために必要なツールと、その活用方法を彼らに体得させることである。現在、コンピュータの授業は情報系の科目で、それ以外の授業は教室で実施することが多いが、情報系の科目で習得した知識を生かす事ができない学生が多い。様々な授業にコンピュータを活用した実践的な演習を取り入れることが、このような「縦割り人間」を作り出さないために必要である。

もう一つは、課題を解決させるトレーニングを積ませることである。自らの専門分野については卒業研究でト

レーニングを積み重ねることができるが、社会人としての「課題を解決できる能力」は、自分の専門分野で完結することは希である。そのためには、彼らのコミュニケーション能力を高め、課題毎に編成されたチームの力で課題を解決する経験を積み重ねる必要がある。

2009 年度に実施した東京高専卒業生へのアンケート(3424 人に発送, 548 名回答)において、コミュニケーション能力を強化するカリキュラムが必要であると回答した卒業生(社会人)は 60.7%, プレゼンテーション能力を強化するカリキュラムが必要であると回答した卒業生(社会人)は 64.7%に上った。

近年、「学びあい」という学習方法が注目されてきている[2]。これは教育基本法第 1 条に掲げられている「人格の完成」を目標とし、学生同士で学習することによって、コミュニケーション力ならびに課題解決能力の向上を図るという教育方法である。すでに小学校・中学校の一部の授業に導入され、成果を上げている。一方、高等専門学校においては、少数の報告があるものの、まだまだ実践例が少ないのが現状である。

本研究では、課題解決能力を妨げる問題点について検討するとともに、高学年の専門科目(4 年量子化学, 4 年機器分析 II)に課題解決能力向上のために、「学びあい」を試験的に導入した結果について報告する。また、プレゼンテーション及びコミュニケーション強化のために行った様々な試みについても報告する。

## 2. 課題解決能力の取得を妨げる問題点

東京高専の 4 年物質工学科後期の量子化学の授業において、数学と物理の基礎問題の正答率を調査した結果を図 1 に示す。なお、問題は以下の通りである。

- [問 1] 光子の運動量  $p$  を波数  $k$  と  $h$  を使って表せ。
- [問 2]  $e^{i(a+ib)x}$  をオイラーの公式を使って三角関数で表せ。
- [問 3] ある波  $Ae^{i(a+ib)x}$  がある。この波の絶対値の二乗を計算せよ。
- [問 4]  $\frac{d}{dx}e^{iax} = iae^{iax}$  となることをオイラーの公式を使って証明せよ。
- [問 5] ベクトル  $\mathbf{a} = (a_x, a_y, a_z)$ ,  $\mathbf{b} = (b_x, b_y, b_z)$ ,  $\mathbf{c} = \mathbf{a} \times \mathbf{b}$  とするとき、ベクトル  $\mathbf{c}$  の各成分を求めよ。
- [問 6]  $y'' + 3y' + 2y = 0$  を解け。
- [問 7]  $y'' + 2y' + 4y = 0$  を解け。
- [問 8] 次の行列式を計算せよ。

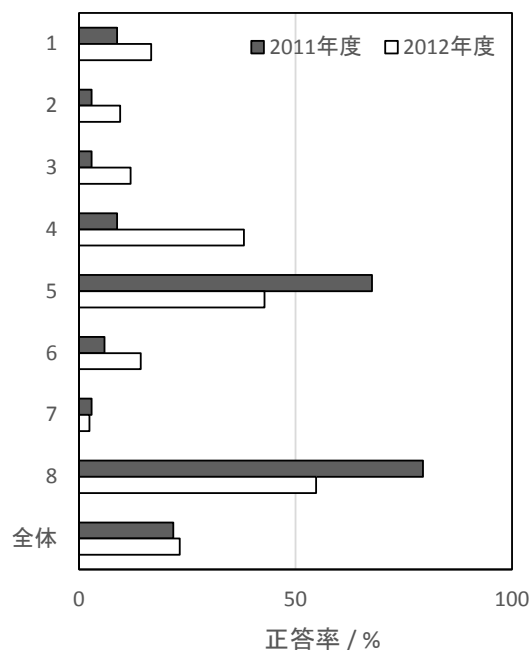


図 1 東京高専 4 年物質工学科の物理・数学の基礎問題の正答率

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{vmatrix}$$

3 年生までの微分積分学・線形代数学や 4 年生前期の量子論を学んできているにもかかわらず、全体の正答率は 2011 年, 2012 年度ともに 20%強とほとんど記憶に残っていないことが明らかとなった。量子化学の内容を理解する前に、数学や物理でつまづいてしまうことを意味する。量子化学に限らず、数学や物理の知識の定着率が低いと、専門教科の学習に支障が出ていることが予想される。そのため低学年次からの数学教育は重要である。しかしながら、別の見方をすれば、専門科目の知識を理解する上で、数学は道具であり、計算方法を厳密に習得していなくても、結果の意味さえわかれば良い場合が多い。苦手な学生が内容を理解する前に、数学でつまづかないようにするために、量子化学において数式処理ソフトの Maxima を使用して講義を行うこととした。

## 3. 高専の授業に「学びあい」を導入する際の問題

「学びあい」の手引き書は主に、小学校から高校までを念頭に書かれたものであり、高専などの高等専門教育に導入する際には、いくつかの問題点がある。ひとつは、授業の進度が小中学校と比べて圧倒的に速いということ

である。「学びあい」の手引き書[3]においては、「学びあい」を導入することによって、教員がある程度の生徒を理解させるのに要する時間よりも短い時間で、生徒を理解することができる」と記述されているが、高専の授業スピードを考えると、難しいと言わざるを得ない。もう一つの問題点としては、教科書に書かれている内容を2割の生徒がすでに塾や自学自習によって習得していると仮定していることである。高専の高学年の内容に関しては、このような仮定は成り立たないため、「学びあい」を高専年で実施する際は、この点に関して注意が必要であると考えられる。

#### 4. 高専高学年次における学びあい実施例

上述のような問題点があるが、非常に有効な方法であると考えられるため、4年物質工学科の機器分析Ⅱと量子化学において、表1および表2のようなカリキュラムを組み、一部の演習や実習に「学びあい」の学習法を実施した。

実施に際しては、「教科書に書かれている内容を2割の生徒がすでに塾や自学自習によって習得していると仮定している」という問題点に対して、教員がいなくても自学自習できる程、理論から手順まで詳しく書かれたプリントを準備することで対応した。プリントの例を図2に示す。

授業の流れであるが、どの項目についても以下に示す同様な方法をとった。まず、図2に示すような演習プリントを配布し、「本演習は学びあいの学習法で実施する。」と告げた。次に、学びあいの手順書に従って、教員は、分からないことがあったら聞きやすい友達のところに行って相談して良いことやクラス全員が理解することが最も大事な目標であることを定期的に伝え、「学びあい」を

表1 機器分析Ⅱのカリキュラム

内容	時間
機器分析Ⅱ理解に必要な基礎化学定着確認試験	2
実験データ分析のための統計的手法	6
物質に関する情報の検索方法 産総研DB, NIST, Aldrich, Google Scholar, Science direct	2
NMRの原理	4
*NMRスペクトル演習	2
IRの原理	2
*IRスペクトル演習	2
質量分析の原理	2
*有機化合物の同定演習	2
電気化学測定法	4
熱分析法の基礎/*TGデータ解析演習	2
*「学びあい」を実施した授業	

促した。また、できた学生を見つけて、「～君はできているね」とクラス中に聞こえる声で宣伝し、「ここに行けば答えが分かる」ということを暗に示す、といった行動をとった。また解答は、教卓の上に置き、できた人は教卓のところまで来て、答え合わせをするようにと伝えた。

年度終了時において、次のようなアンケートを実施した。

[問1] 「学びあい」の授業を受講したことがありますか?

該当する時期すべてにチェックをつけてください。

小学校の時受けたことがある。

中学校の時受けたことがある。

高専で受けたことがある。

[問2] 学びあいの授業はどうでしたか?

[問3] 2問目でそのように回答した理由について教えてください。

[問4] 学びあいをした部分についての理解度・習得度はどうでしたか?

[問5] 学びあいの学習の回数はどうでしたか?

[問6] 学びあいの学習について該当する項目(複数)にチェックをつけてください。

友達にわからないところを聞くことができた。

そもそもすべてわかったので、友達に聞くことがなかった。

表2 量子化学のカリキュラム

内容	時間
量子化学理解に必要な基礎物理数学確認試験	2
量子論I, IIの復習 シュレーディンガー方程式を導く	2
シュレーディンガー方程式の数値解法	2
水素様原子・多電子原子	2
変分法	2
水素分子イオンの分子軌道	2
$\pi$ 電子共役系-単純ヒュッケル法	2
分子科学計算の種類, 分子モデリング	1
<b>半経験的分子軌道計算</b>	
*構造最適化・振動スペクトル予測	1
*エネルギー準位図・分子軌道描画	1
点群と対称性	2
*回転ポテンシャル計算	1
*SN2反応の解析	1
*開殻系と閉殻系	1
*溶媒中の分子の量子化学計算	1
*励起状態の計算	1
<b>非経験的分子軌道計算</b>	
*基底系と基底関数	2
*構造最適化・振動スペクトル予測	2
タンパク質・無機化合物のデータベース	1
計算から座標を生成するには?	1
*「学びあい」を実施した授業	

12/11/13  
4C 量子化学(城石)

SN2 反応を解析できるようならう→firefly 編

Facio インストールフォルダ中の PES\_ScanYPC\_GAMMESS 中には、firefly を用いて Friedel-Craft 反応や、SN2 反応を解析するための入力ファイルと出力結果が納められている。この PES とは Potential Energy Scan の頭文字だ。

今回は PC-Gamess のフォルダ内にもある

NH<sub>3</sub> + MeBr → H<sub>3</sub>N-Me-Br  
の遷移状態を解析してみよう。

1. MeBr のモデリング

- 1) Facio を立ち上げ、[File]→[Load New Structure]→[PDB file]をクリックして、Facio のインストールフォルダ→[PDB]フォルダ内の Methane.pdb をロードしよう。
- 2) [Edit]→[Open Edit Tool Box]をクリックしてツールボックスを表示しよう。
- 3) [Miscellaneous]→[Show]→[Numeric Label]をクリックして、原子の番号を表示させよう。
- 4) [5 番目の水素を要素に置換する] Tool Box 内の Change Atom を選び、5 番目の水素をクリックし、Change Atom ダイアログの Br を選んで[Apply]をクリックしよう。
- 5) [MeBr を最適化する] 今回は時間の関係で 3-21G で最適化しよう。[Calculation]→[Firefly]をクリックし、Base File Name を MeBr としよう。また、ほかのパラメータは右図のように設定し、[Execute Calculation]をクリックして計算を始めよう。

2. 遷移状態に近い位置の探索

- 2) [最適化された MeBr を読み込む] 計算が終了したら[File]→[Load New GAMMESS]→[Output for Optimized Geometry/Saddle Point]をクリックし、MeBr.out を読み込ませよう。
- 3) [NH<sub>3</sub> 分子を追加する] [Load and Append another PDB file]をクリックし、[PDB]フォルダ内の NH3.PDB を選択しよう。[Adjust Position/Tilting Angle ダイアログ]が表示されるので、酸素原子の反対側にアンモニアが位置するように配置しよう。だいたい右図のような値で[Apply]すれば OK だ。念のため NH3-MeBr.pdb として保存しておこう。

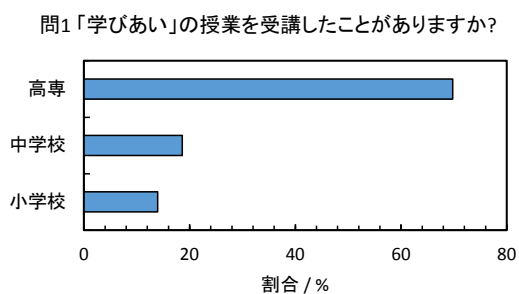
図 2 物質工学科 4 年量子化学の「卒びあい」において使用したプリントの一部

12/11/13  
4C 量子化学(城石)

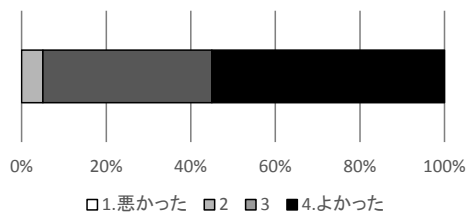
- 4) [Calculation]→[Firefly]をクリックして、Firefly Input Options の Base File Name を NH3-MeBr-PES という名前にしよう。また、ダイアログの[more options]をクリックして[PES Scan]をクリックする。N-C 間の距離を変えていくので、N の参照原子を 1-2-5 とし、[Redefine Connectivity]をクリックしよう。また Selected Internal Coordinate の値を 10(N-C 間の距離)に、Var\_1 を 10 (N-C 間の距離) に、NDISP1(MOPAC の Point に相当する)に、DISP1 (MOPAC の STEP に相当する値)は-0.05 にし、[Apply]をクリックしよう。スタート時の N-C 間の距離を読み取って Excel に入力しておこう。
- 5) [Preview / Edit Input]をクリックし、入カファイルの編集画面にする。Method=GDLS、HESS=GUESS を削除しよう。[Execute Calculation]で計算を開始しよう。
- 6) NH3-MeBr-PES.out ファイルをテキストエディタで開き「OVERALL RESULTS OF THE RELAXED POTENTIAL SURFACE SCAN」のところをみよう。最も大きいエネルギーの地点(遷移状態であると思われる地点)はスタート地点から1.0Å(C-N間の距離)が 1.86Åのところである。

OVERALL RESULTS OF THE RELAXED POTENTIAL SURFACE SCAN

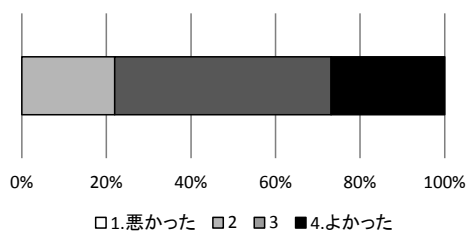
COORDI, COORDI	ENERGY
1 ( 0.000001)	-2655.3245454377
2 ( -0.050001)	-2655.3239999302
3 ( -0.100001)	-2655.3232248115
4 ( -0.150001)	-2655.3224966656
5 ( -0.200001)	-2655.321720145
6 ( -0.250001)	-2655.3189359452
7 ( -0.300001)	-2655.3173127887
8 ( -0.350001)	-2655.3154304244
9 ( -0.400001)	-2655.3132647967
10 ( -0.450001)	-2655.3107956494
11 ( -0.500001)	-2655.3080126542
12 ( -0.550001)	-2655.3049171465
13 ( -0.600001)	-2655.3015400132
14 ( -0.650001)	-2655.2979491013
15 ( -0.700001)	-2655.2942732066
16 ( -0.750001)	-2655.290520727
17 ( -0.800001)	-2655.286720727
18 ( -0.850001)	-2655.2829418852
19 ( -0.900001)	-2655.2845418852
20 ( -0.950001)	-2655.2845418852
21 ( -1.000001)	-2655.2842572100
22 ( -1.050001)	-2655.2846031569
23 ( -1.100001)	-2655.285642051
24 ( -1.150001)	-2655.2871259226
25 ( -1.200001)	-2655.2880646507



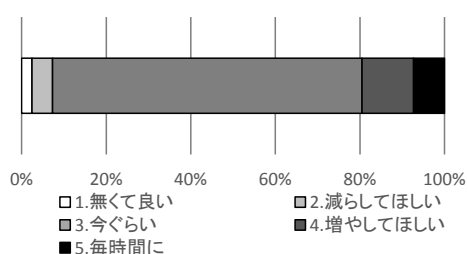
問2「学びあい」の授業はどうでしたか？



問4「学びあい」をした部分についての理解度・習得度はどうでしたか？



問5「学びあい」の学習の回数はどうでしたか？



問6

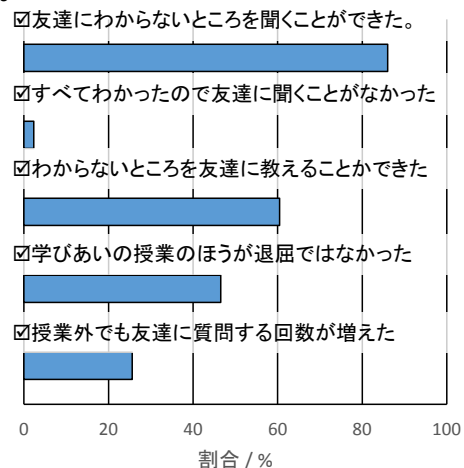


図3「学びあい」のアンケート結果

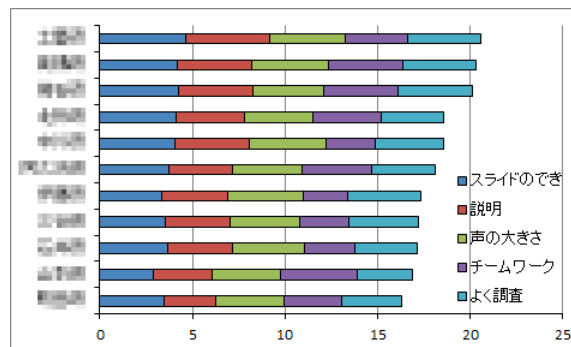


図4 ホームページに掲載したランキング

友達がわからないところを教えることができた。

学びあいの授業のほうが退屈ではなかった

授業外でも友達に質問する回数が増えた

[問7] 学びあいの学習に対する感想や意見などを記述してください。

表3 (A)錯体化学のグループ学習課題

- A. 錯体と医薬品について
- B. タンパク質の中の錯体(1)  
ヘム鉄・非ヘム鉄・銅含有タンパク
- C. タンパク質の中の錯体(2)  
亜鉛タンパク, 遺伝子発現制御,  
メタロチオネン, メタロシャペロン
- D. 錯体を利用したセンサー
- E. 希土類錯体の応用
- F. 色素増感太陽電池
- G. 不斉還元分子触媒
- H. 高分子合成における金属錯体
- I. 糖質を変換する錯体
- J. 酸化と還元を同時に活性化する金属錯体  
光エネルギー変換デバイス
- K. 錯体による多孔性物質
- L. 錯体による磁石・超伝導体MgB<sub>2</sub>
- M. 錯体設計のための計算化学

(B) 電気化学のグループ学習課題

- A. 一次電池
- B. 二次電池  
Li-ion, リチウムイオンポリマー電池  
未来の二次電池
- C. 電気泳動
- D. 化学センサー
- E. 金属の腐食と防食
- F. バイオセンサとバイオセンシング
- G. 表面処理
- H. 無機・有機電解合成
- I. 燃料電池
- J. 熔融塩電解～電解採取と電解精錬
- K. 電気化学キャパシター
- L. 光触媒

### 酸素センサー

- 医学・生化学・環境・エネルギー分野などで利用
- ・従来では半導体式のものや、ジルコニアが主
- ・錯体化合物を用いた光学的酸素センサーが登場

**1**

### 測定に際して

- 酸素センサー膜の作成  
錯体分子を媒体に固定化  
アルミナまたはシリカゲルのプレートを、錯体化合物溶液に浸漬・乾燥
- 発光強度の測定  
発光強度は励起光の強さや色素濃度、膜厚等、さまざまな要因により変化  
→ 測定値を基準となるデータで正規化する必要
- 基準データが得られない場合  
生体組織や血液中では基準データの取得が不可能  
→ この場合は寿命を測定する

**4**

### 測定原理

- 光励起された錯体分子がルミネッセンスを放射  
↑ 酸素分子との衝突により消光

Stern - Volmer式より  
発光強度または寿命を測定すれば酸素濃度が求まる

$$I_0 / I = \tau_0 / \tau = 1 + K_{SV} [O_2] \quad (1)$$

$I$ : 発光強度     $I_0$ : 真空中での発光強度  
 $\tau$ : 発光寿命     $\tau_0$ : 真空中での発光寿命  
 $K_{SV}$ : スターン・ボルマー係数

**2**

### 応用例

- 光ファイバー式センサー  
光ファイバーの端に錯体分子を固定したもの  
・遠隔操作が可能  
・血液や生体組織中の酸素濃度測定、湖水・海水中の溶解酸素測定
- 感圧塗料  
錯体化合物を高分子に分散し、スプレー塗布したもの  
・酸素濃度から酸素分圧を求めることができる  
・航空力学分野、反応の監視など

**5**

### 酸素センサーに使用される錯体

- ポルフィリン.....白金、パラジウム等が中心金属
- ・遷移金属錯体.....ルテチウム、オスミウム等
- ・希土類錯体.....ユーロビウム等

**3**

### 電気化学発光

- 電極の酸化被膜破壊に伴う発光
- 半導体への電子・正孔注入による発光  
→ 電界発光 (electroluminescence:EL)
- 電極近傍の溶液あるいは溶液全体で生ずる発光  
→ 電気化学発光 (electrogenerated chemiluminescence:ECL)

**6**

図5 錯体化学の発表資料事例(学生が作成したスライドから一部抜粋)

アンケート結果を図3に示す。問1から、小学校や中学校において「学びあい」の授業を経験している学生が2割程度いることがわかった。また、高専に入ってから7割の学生が「学びあい」を経験しており、高専の授業に「学びあい」が導入されてきていることが明らかとなった。

問2から、今回実施した「学びあい」の授業に対して肯定的な意見が95%を占めた。その理由を問3であげて

もらったところ「学びあい」の利点として知られていることを学生達の多くがあげた。まとめると

- ・コミュニケーション力の向上
- ・自ら理解しようという姿勢が身につくこと
- ・友達に教えることによる理解度の向上
- ・楽しく勉強できること
- ・わからないところを気軽に聞けること

という点を挙げた学生が多かった。

一方、否定的な意見としては

- ・プライドの関係で友達に聞きにくい
- ・先生の解説のほうがりやすい
- ・何もしていない時間が増えた。

という「学びあい」に真の意味で参加していない学生が抱く不満が多かった。

問4では、学びあいをした部分の理解度・習得度を聞いたところ、8割弱の学生がポジティブな結果であると答えた。

問5では、「学びあい」の学習をする頻度を聞いたところ、7割以上の学生が、今と同程度がよいと答え、2割程度の学生が増やしてほしいと答えた。

問6では、友達に聞くことができた学生が86%、教えることができた学生が60%と、「学びあい」がある程度機能していることが示された。また、25%の学生が授業外でも友達に質問する回数が増えたと答え、コミュニケーション力の向上に「学びあい」が寄与したと考えられる。

問7の学びあいの学習に対する感想や意見から代表的なものを原文のまま抜粋して以下に示す。

- ・たまにはこのような授業もいいと思った。わからないところが聞きやすい雰囲気よかった。
- ・眠くならなかった。
- ・全員がわからない状態からスタートしているので、議論や質問が自熱するまでに少し時間がかかってしまうのが残念。
- ・授業で聞いているだけでなく自分で考えることはよいと思った。
- ・理解が深まるとも良い学習方法でした。これからも続けて頂きたいです。
- ・自分は頭が悪いので授業だけでは理解できないところがあるので、友達に聞いてわかったところもあってよかった。

## 5. 電気化学と錯体化学におけるプレゼンテーション力向上の実施例

上述のように、卒業生からもプレゼンテーション力向上のためのカリキュラム改善が必要であると指摘されている。そこで、物質工学科5年生の電気化学及び錯体化学においてグループ(研究室)毎にそれぞれの科目に関連する調査テーマを決め、授業時間内に1グループ12分、質問2分のピアレビュー型プレゼンテーションを実施し

た。以前はピアレビュー型でなかったが、自分たちの発表が終わってしまうと、興味を無くし、寝てしまう学生もいた。ピアレビュー型にすることによって、他の学生の発表に注目するとともに、学生達が自らプレゼンテーションの質を向上するようになるのではないかと考えた。テーマは主に、錯体化学や電気化学がどのように応用されているのかを調査するものである。調査内容を表3に示す。学生達は教科書や書籍、インターネットなどを使ってパワーポイントファイルを作成して発表する。発表資料事例として錯体化学において学生が作成したスライドの一部を図5に示す。当初、それぞれカリキュラムの最後で実施していたが、授業アンケートにおいて「こんなに応用されていると知っていれば、最初から授業をまじめに受けたのに」という趣旨の回答が複数寄せられたので、一昨年度からカリキュラムの前半～中盤で行うようにした。

ピアレビューは、1)スライドのでき、2)説明のわかりやすさ、3)声の大きさ、4)チームワーク、5)よく調査されているか、の各項目について5段階で採点することとした。

また、採点結果は、パスワード付きのホームページで、ランキング形式で発表した(図4)。

ピアレビューにすることによって、他のグループの発表を真剣に聴講するようになり、プレゼンテーション力の向上のみならず、学習効果の向上にも効果があることがわかった。

## 6. 結言

高専4年次の量子化学及び機器分析Ⅱに「学びあい」の授業を導入した。その結果、「学びあい」は、高専高学年においても機能することが示された。また、高専5年次の錯体化学および電気化学にピアレビュー型のプレゼンテーション課題を導入した。ピアレビューにすることによって、プレゼンテーション力の向上のみならず、学習効果の向上にも有効であることがわかった。

## 参考文献

- [1] 城石 英伸, 工藤 節子, 雑賀 章浩, 中野 雅之, 大野 秀樹, 技術教育研究論文誌, 18(1) (2011) 29-38.
- [2] <http://www24.atwiki.jp/manabiai/pages/1.html>
- [3] <http://dl.dropbox.com/u/352241/manabiai-data/net-book/tebiki.pdf>