ISSN　0286－0503

Research Reports of Tokyo National College of Technology

東京工業高等専門学校

研　究　報　告　書

第 39(2) 号

2008.3

東京工業高等専門学校研究報告書　第39（2）号　目次

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 39 (2)

CONTENTS

微分方程式の解の分岐理論

拜　田　　稔*

Bifurcation Theory for Solutions of Differential Equations

Minoru HAIDA

We summarize here bifurcation theory for solutions of differential equations along an excellent book by Masuda [11]

(Keywords: bifurcation, differential equation)

1　序論

この報告書では、X、Y をバナッハ空間、Ω を X の原点の近傍とする。λ_1、λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) を与えられた実数とし、$V = (\lambda_1, \lambda_2) \times \Omega \subset \mathbf{R^1} \times X$ とおく。さらに、すべての $\lambda \in (\lambda_1, \lambda_2)$ に対して

$$f(\lambda, 0) = 0 \tag{1.1}$$

をみたす連続写像 $f : V \longrightarrow Y$ が与えられているとする。このとき、V 内の与えられた点 $(\lambda_0, 0)$ の近傍で、方程式

$$f(\lambda, x) = 0 \tag{1.2}$$

が $(\lambda_0, 0)$ 以外の解を持つための条件を考える。

定義 1.1　任意の $\epsilon > 0$ に対して、(1.2) の解 $(\lambda, x) \in V$ で $|\lambda - \lambda_0| < \epsilon$ かつ $0 < ||x|| < \epsilon$ をみたすものが存在するとき、$\lambda = \lambda_0$ を方程式 (1.2) の分岐点という。特に、任意の $\epsilon > 0$ に対して、$f(\lambda_0, x) = 0$ かつ $0 < ||x|| < \epsilon$ をみたす $x \in \Omega$ が存在するとき、$\lambda = \lambda_0$ を方程式 (1.2) の垂直な分岐点という。

例 1.2　A を n 次実正方行列、$f : \mathbf{R^1} \times \mathbf{R^n} \longrightarrow \mathbf{R^n}$ を

$$f(\lambda, x) = \lambda x - Ax \tag{1.3}$$

で定義された線形作用素とする。このとき、$\lambda \in \mathbf{R}$ が方程式 (1.2) の分岐点であるための条件は、λ が A の固有値であることである。特に、$\lambda \in \mathbf{R}$ が A の固有値であれば、λ は方程式 (1.2) の垂直な分岐点である。

2　準備

定義 2.1　一般に、バナッハ空間 X_1 からバナッハ空間 X_2 への線形写像 g に対して、

$$Ker(g) = \{u \in X_1; g(u) = 0\} \tag{2.1}$$

$$R(g) = \{g(u) \in X_2; u \in X_1\} \tag{2.2}$$

---

*情報工学科

とおき、それぞれ g の核空間、像空間という。

また、点 $x_0 \in X_1$ に対して、X_1 から X_2 への有界線形作用素 T が存在して

$$\lim_{x \to x_0} \frac{||g(x) - g(x_0) - T(x - x_0)||}{||x - x_0||} = 0 \tag{2.3}$$

が成り立つとき、g は点 x_0 でフレシェ微分可能であるという。このとき、T を $x = x_0$ における g のフレシェ微分といい、$T = g_x(x_0)$ などと書く。g が X_1 の開集合 D 上のすべての点でフレシェ微分可能であるとき、g は D 上でフレシェ微分可能であるという。

3 分岐理論

次の命題は、$\lambda_0 \in (\lambda_1, \lambda_2)$ が (1.2) の分岐点であるための必要条件を与える。

命題 3.1 ([11]) f は C^1 級とする。このとき、$\lambda_0 \in (\lambda_1, \lambda_2)$ が (1.2) の分岐点ならば、$f_x(\lambda_0, 0)$ は X から Y の上への 1 対 1 写像ではない。

次の定理は、$\lambda_0 \in (\lambda_1, \lambda_2)$ が (1.2) の分岐点であるための十分条件を与える。

定理 3.2 (リャプーノフ・シュミット;[11]) 写像 f は C^1 級で、f と 実数 $\lambda_0 \in (\lambda_1, \lambda_2)$ は次の 4 つの仮定を満たすとする。

$f_{\lambda x}$ が存在して、V 上作用素ノルムで連続である。 (3.1)

$$\dim Ker(f_x(\lambda_0, 0)) = 1 \tag{3.2}$$

$R(f_x(\lambda_0, 0))$ は余次元 1 の閉部分空間である。 (3.3)

$f_{\lambda x}(\lambda_0, 0)[x_0] \notin R(f_x(\lambda_0, 0))$ を満たす $x_0 \in Ker(f_x(\lambda_0, 0))$ が存在する。(3.4)

さらに、X における $Ker(f_x(\lambda_0, 0))$ の補空間を Z とする。このとき、$\mathbf{R^1} \times X$ における $(\lambda_0, 0)$ の近傍 $V_0 \subset V$ と、原点を含む区間 I と、I 上で定義された実数値連続関数 $\lambda = \lambda(s)$ で $\lambda(0) = \lambda_0$ を満たすものを適当にとれば、$f(\lambda, x) = 0$ を満たす点 $(\lambda, x) \in V_0$ の全体は、２つの曲線

$$\Gamma_1 = \{(\lambda(s), sx_0 + sz(s)); s \in I\} \tag{3.5}$$

$$\Gamma_2 = \{(\lambda, 0); (\lambda, 0) \in V_0\} \tag{3.6}$$

の合併 $\Gamma_1 \cup \Gamma_2$ と一致する。ここで、$z = z(s)$ は、I 上で定義され、$z(0) = 0$ を満たす Z 値連続関数である。さらに、$f \in C^p(V, Y)$ $(p \geq 2)$ ならば、$\lambda(s)$ と $z(s)$ は C^{p-1} 級のものがとれる。

定理 3.3 (クラスノセルスキー;[11], cf.[2][3]) $Y = X$ とし、

$$f(\lambda, x) = x - (\mu_0 + \lambda)Tx + g(\lambda, x) \tag{3.7}$$

$$\mu_0 \neq 0, \ \ \mu_0 \in (\lambda_1, \lambda_2) \tag{3.8}$$

T は X から X への線形なコンパクト写像 (3.9)

$g(\lambda, x)$ は V から X への連続なコンパクト写像 (3.10)

$g(\lambda, 0) \equiv 0$, $g(\lambda, x) = o||x||$ (十分 0 に近い λ について一様に) (3.11)

とする。このとき、$\lambda = 0$ が (1.2) の分岐点であれば、$1/\mu_0$ は T の固有値である。逆に、$1/\mu_0$ が T の固有値であり、その多重度 (cf.[3][4][11, p.62]) が奇数ならば、$\lambda = 0$ は (1.2) の分岐点である。

4 分岐理論の応用例

例 4.1([11]) $\mathbf{R}^1 \times \mathbf{R}^2$ から $\mathbf{R}^2$ への写像

$$f(\lambda, x) = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -{x_2}^3 \\ {x_1}^3 \end{bmatrix} \quad \left(x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \right) \tag{4.1}$$

を考える。

$$f_x(\lambda, 0) = \begin{bmatrix} 1-\lambda & 0 \\ 0 & 1-\lambda \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

であるから、命題 3.1 より、λ_0 が分岐点ならば $\lambda_0 = 1$ に限る。ところで、もし (1.2) が成り立つならば、$f(\lambda, x)$ の各成分が 0 であることより、

$$x_2\{(1-\lambda)x_1 - {x_2}^3\} - x_1\{(1-\lambda)x_2 + {x_1}^3\} = -({x_1}^4 + {x_2}^4) = 0 \tag{4.3}$$

が得られるから、$x = 0$。よって、$\lambda_0 = 1$ は分岐点ではない。

例 4.2([11]) $\mathbf{R}^1 \times \mathbf{R}^2$ から $\mathbf{R}^2$ への写像

$$f(\lambda, x) = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} x_1 \\ 2x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -{x_2}^3 \\ {x_1}^3 \end{bmatrix} \quad \left(x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \right) \tag{4.4}$$

を考える。

$$f_x(\lambda, 0) = \begin{bmatrix} 1-\lambda & 0 \\ 0 & 1-2\lambda \end{bmatrix} \tag{4.5}$$

であるから、命題 3.1 より、λ_0 が分岐点ならば $\lambda_0 = 1$ または $\lambda_0 = 1/2$ に限る。逆に、このとき、どちらの場合も簡単な計算により定理 3.2 の 4 つの仮定すべてが満たされることが確認できるから、これらはともに分岐点である。

例 4.3([11]) 常微分方程式の境界値問題

$$\begin{aligned} u'' + \lambda\{u + v(u^2+v^2)\} &= 0 \quad in \quad (0,1) \qquad (4.6) \\ v'' + \lambda\{v - u(u^2+v^2)\} &= 0 \quad in \quad (0,1) \qquad (4.7) \\ u(0) = u(1) = v(0) = v(1) &= 0 \qquad (4.8) \end{aligned}$$

を考える。

$$\begin{aligned} X &= \left\{ \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} ; u, v \in C^2([0,1]), u(0) = u(1) = v(0) = v(1) = 0 \right\} \qquad (4.9) \\ Y &= \left\{ \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} ; u, v \in C([0,1]) \right\} \qquad (4.10) \\ f(\lambda, U) &= \begin{bmatrix} u'' \\ v'' \end{bmatrix} + \lambda \begin{bmatrix} u + v(u^2+v^2) \\ v - u(u^2+v^2) \end{bmatrix} \quad \left(U = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \right) \qquad (4.11) \end{aligned}$$

とおくと、

$$f_U(\lambda,0)[W] = \begin{bmatrix} {w_1}'' + \lambda w_1 \\ {w_2}'' + \lambda w_2 \end{bmatrix} \quad \left(W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} \right) \tag{4.12}$$

であるから、$f_U(\lambda,0)$ が 0 を固有値にもつのは、境界条件より $\lambda = n^2\pi^2$ $(n=1,2,3,\cdots)$ のときに限る。そして、

$$Ker(f_U(n^2\pi^2,0)) = \left\{ \alpha \begin{bmatrix} \sin n\pi t \\ 0 \end{bmatrix} + \beta \begin{bmatrix} 0 \\ \sin n\pi t \end{bmatrix} ; \alpha,\beta \in \mathbf{R} \right\} \tag{4.13}$$

となるから、$\dim Ker(f_U(n^2\pi^2,0)) = 2$。よって、定理 3.2 の条件 (3.2) を満たさないので、$\lambda = n^2\pi^2$ が分岐点であるとは判定できない。実際、(4.6)-(4.8) より、

$$\int_0^1 \{(4.6)\text{ の左辺} \times v - (4.7)\text{ の左辺} \times u\}\, dt = \lambda \int_0^1 (u^2+v^2)^2\, dt = 0 \tag{4.14}$$

となるから、$\lambda \neq 0$ のときは自明な解しか存在しない。一方、$\lambda = 0$ のときも、(4.6)-(4.8) より $u = v = 0$ である。したがって、分岐点は存在しない。

例 4.4([11])　常微分方程式の境界値問題

$$\begin{aligned} x'' + \lambda \sin x &= 0 \quad in \quad (0,1) && (4.15) \\ x'(0) = x(1) &= 0 && (4.16) \end{aligned}$$

の自明でない解の存在について、分岐理論を用いて考える。まず、

$$\begin{aligned} &X = \{u \in C^2([0,1]); u'(0) = u(1) = 0\}, \ \ Y = C([0,1]) && (4.17) \\ &f(\lambda,x) = x'' + \lambda \sin x && (4.18) \end{aligned}$$

とおくと、$f : \mathbf{R^1} \times X \longrightarrow Y$ であり、

$$f_x(\lambda,x)[u] = u'' + \lambda u \cos x \tag{4.19}$$

より、

$$f_x(\lambda,0)[u] = u'' + \lambda u \tag{4.20}$$

である。これが 0 を固有値に持つのは、

$$\lambda = \frac{(2n-1)^2\pi^2}{4} =: \lambda_n \ \ (n=1,2,3,\cdots) \tag{4.21}$$

のときに限る。よって、それ以外の λ については定理 3.2 の条件 (3.2) において λ_0 を λ に置き換えたものは成り立たない。そこで、定理 3.2 を用いて分岐点を探すとき、その候補は λ_n だけである。これらが分岐点であることを示すために、定理 3.2 の 4 つの条件を 1 つずつ確かめていく。まず、(3.1) の成立は、

$$f_{\lambda x}(\lambda,x)[u] = u \cos x \tag{4.22}$$

より明らか。また、

$$\phi_n(t) = \cos \frac{(2n-1)\pi}{2} t \tag{4.23}$$

とおくと、

$$Ker(f_x(\lambda_n, 0)) = \{\alpha\phi_n(t); \alpha \in \mathbf{R}\} \tag{4.24}$$

であるから、(3.2) において λ_0 を λ_n に置き換えたものも成立。一方、リース・シャウダーの交代定理 (cf.[8, 系 11.31]) より、

$$R(f_x(\lambda_n, 0)) = \left\{u \in Y; \int_0^1 u(t)\phi_n(t)\,dt = 0\right\} \tag{4.25}$$

であるから、(3.3) において λ_0 を λ_n に置き換えたものも成立。最後に、ϕ_n は

$$f_{\lambda x}(\lambda_n, 0)[\phi_n] = \phi_n \notin R(f_x(\lambda_n, 0)) \tag{4.26}$$

を満たすから、(3.4) において λ_0 を λ_n に置き換えたものも成立。したがって、定理 3.2 より λ_n $(n = 1, 2, 3, \cdots)$ は分岐点である。

例 4.5([12]) 次の常微分方程式の境界値問題を考える。

$$\begin{aligned} -u'' + h(u^2 + u'^2)u - \lambda\{u + k(u^2 + u'^2)u\} &= 0 \quad in \quad (0, \pi) && (4.27) \\ u(0) = u(\pi) &= 0 && (4.28) \end{aligned}$$

ここで、h、k は $h(0) = k(0) = 0$ を満たす C^1 関数である。

$$\begin{aligned} X &= \{u \in C^2([0, \pi]); u(0) = u(\pi)\} && (4.29) \\ Y &= \{u \in C([0, \pi]); u(0) = u(\pi)\} && (4.30) \\ f(\lambda, u) &= -u'' + h(u^2 + u'^2)u - \lambda\{u + k(u^2 + u'^2)u\} && (4.31) \end{aligned}$$

とおくと、

$$f_u(\lambda, 0)[v] = -v'' - \lambda v \quad (v \in X) \tag{4.32}$$

であるから、これが 0 を固有値にもつのは、境界条件より $\lambda = n^2$ $(n = 1, 2, 3, \cdots)$ のときに限る。固有空間は

$$Ker(f_u(n^2, 0)) = \{\alpha \sin nt; \alpha \in \mathbf{R}\} \tag{4.33}$$

である。よって、定理 3.2 の (3.2) において λ_0 を n^2 に置き換えたものが成り立つ。

$$f_{\lambda u}(n^2, 0)[v] = -v \quad (v \in X) \tag{4.34}$$

より、(3.1) も成立。さらに、

$$R(f_u(n^2, 0)) = \left\{v \in Y; \int_0^\pi v(t) \sin nt\,dt = 0\right\} \tag{4.35}$$

であるから、(3.3) において λ_0 を n^2 に置き換えたものも成立。最後に、$\sin nt$ は

$$f_{\lambda u}(n^2, 0) \sin nt = -\sin nt \notin R(f_u(n^2, 0)) \tag{4.36}$$

を満たすから、(3.4) において λ_0 を n^2 に置き換えたものも成立。したがって、定理 3.2 より $\lambda = n^2$ $(n = 1, 2, 3, \cdots)$ は分岐点である。しかも、例えば $\lambda = 1$ から分岐する解は、

$$\lambda = \frac{1 + h(c^2)}{1 + k(c^2)} \tag{4.37}$$

に対応する解 $u(t) = c \sin t$ であることも計算によりわかる。

例 4.6([11]) Ω_0 を $\mathbf{R^3}$ 内の滑らかな有界領域とし、境界値問題

$$\Delta u - \lambda u = u^3 \quad in \quad \Omega_0 \tag{4.38}$$

$$u = 0 \quad on \quad \partial\Omega_0 \tag{4.39}$$

の自明でない解の存在について、分岐理論を用いて考える。まず、

$$X = {H_0}^1(\Omega_0) \cap H^2(\Omega_0), \quad Y = L^2(\Omega_0) \tag{4.40}$$

$$f(\lambda, u) = \Delta u - \lambda u - u^3 \tag{4.41}$$

とおくと、ソボレフの埋蔵定理 (cf.[1]) より $f : \mathbf{R^1} \times X \longrightarrow Y$ である。さらに、f は C^2 級であり、

$$f_u(\lambda, 0)[v] = \Delta v - \lambda v \tag{4.42}$$

である。よって、命題 3.1 より分岐点の候補はディリクレ条件下の Δ の固有値、つまり

$$\Delta v = \lambda v \quad in \quad \Omega_0 \tag{4.43}$$

$$v = 0 \quad on \quad \partial\Omega_0 \tag{4.44}$$

を満たす自明でない解 v が存在するような実数 λ である。ところで、そのような固有値全体は可算無限個あり、それらを大きさの順番に重複度に応じて λ_0、λ_1、λ_2、…… とおくと、

$$0 > \lambda_0 > \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \tag{4.45}$$

となることが知られている (cf.[13, 定理 3.6])。特に、λ_0 に対する固有空間の次元は 1 であり、その固有関数の 1 つを ϕ とおく。このとき、λ_0 が分岐点であることを示すために、定理 3.2 の 4 つの条件を 1 つずつ確かめていく。まず、(3.1)-(3.2) の成立は明らか。一方、リース・シャウダーの交代定理 (cf.[8, 定理 11.30][10]) より、$h \in Y$ に対して

$$\Delta v - \lambda_0 v = h \quad in \quad \Omega_0 \tag{4.46}$$

が解 $v \in X$ を持つための条件は、

$$\int_{\Omega_0} h(x)\phi(x)\, dx = 0 \tag{4.47}$$

を満たすことである。よって、$R(f_u(\lambda_0, 0))$ の補空間は ϕ の張る 1 次元空間であるから、(3.3) も成立する。最後に、

$$f_{u\lambda}(\lambda_0, 0)[\phi] = -\phi \notin R(f_u(\lambda_0, 0)) \tag{4.48}$$

であるから、(3.4) も成立する。したがって、定理 3.2 より、ディリクレ条件下の Δ の第 1 固有値 λ_0 は分岐点である。ゆえに、$\mu_k \to \lambda_0$ $(k \to \infty)$ となるような点列 $\{\mu_k\}$ が存在して、少なくとも $\lambda = \mu_k$ $(k = 1, 2, 3, \cdots)$ のときに (4.38)-(4.39) は自明でない解をもつ。

例 4.7 Ω_0 を $\mathbf{R^3}$ 内の滑らかな有界領域とし、次の境界値問題を考える。

$$\Delta u - \lambda u = |u|^{p-1}u \quad in \quad \Omega_0 \tag{4.49}$$

$$u = 0 \quad on \quad \partial\Omega_0 \tag{4.50}$$

$p = 2$ の場合は、$p = 3$ の場合 (つまり例 4.6) と同様の結果が得られる ([12])。それでは、一般の $p > 1$ の場合はどうであろうか？次の例で考えたい。

例 4.8([3, p.99], cf.[11]) Ω_0 を $\mathbf{R^n}$ 内の滑らかな有界領域とし、

$$g(s) \in C^1(\mathbf{R^1}), \quad g(0) = 0, \quad g'(0) = 0 \tag{4.51}$$

とするとき、境界値問題

$$\begin{aligned} \Delta u - \lambda u &= g(u) \quad in \quad \Omega_0 &(4.52)\\ u &= 0 \quad on \quad \partial\Omega_0 &(4.53)\end{aligned}$$

の自明でない解の存在について、分岐理論を用いて考える。まず、定数 $\alpha \in (0,1)$ を任意にとり、

$$\begin{aligned} X &= \{u \in C^{2,\alpha}(\overline{\Omega_0}); u = 0 \ \ on \ \ \partial\Omega_0\}, \ Y = \{u \in C^{0,\alpha}(\overline{\Omega_0})\} &(4.54)\\ f(\lambda, u) &= \Delta u - \lambda u - g(u) &(4.55)\end{aligned}$$

とおくと、$f : \mathbf{R^1} \times X \longrightarrow Y$ である。さらに、

$$f_u(\lambda, 0)[v] = \Delta v - \lambda v \tag{4.56}$$

である。よって、命題 3.1 より分岐点の候補はディリクレ条件下の Δ の固有値、つまり

$$\begin{aligned} \Delta v &= \lambda v \quad in \quad \Omega_0 &(4.57)\\ v &= 0 \quad on \quad \partial\Omega_0 &(4.58)\end{aligned}$$

を満たす自明でない解 v が存在するような実数 λ である。例 4.6 と同様にして、それらの固有値を大きさの順番に重複度に応じて λ_0、λ_1、λ_2、$\cdots$ とおくと、λ_0 をはじめとする任意の重複度 1 の固有値 λ_* が分岐点であるということを、例 4.6 と同様にして示すことができる。(ただし、固有関数がすべて X に属することの証明は、例えば [7] 参照。) したがって、$\mu_k \to \lambda_*$ $(k \to \infty)$ となるような点列 $\{\mu_k\}$ が存在して、少なくとも $\lambda = \mu_k$ $(k = 1, 2, 3, \cdots)$ のときに (4.52)-(4.53) は自明でない解をもつ。

例えば、$g(u) = \pm|u|^{p-1}u$ $(p > 1)$ の場合がそうである。

注意 4.9 (4.52)-(4.53) で $g(u) = -|u|^{p-1}u$ $(p > 1)$ の場合については、変分法 により、p や n の大きさや Ω_0 の形状に応じて様々な研究成果が報告されている (cf.[2] [5] [6] [9] [11, §33] [14] [15, Chapter III])。解が存在する際、実際には正値解となるので、$g(u) = -u^p$ となる。

参考文献

[1] R.A.Adams and J.J.F.Fournier, Sobolev Spaces, Second Edition, Academic Press, Amsterdam- Boston-Heidelberg-London- New York-Oxford-Paris-San Diego- San Francisco-Singapore-Sydney-Tokyo, 2003.

[2] A.Ambrosetti and A.Malchiodi, Nonlinear Analysis and Semilinear Elliptic Problems, Cambridge University Press, Cambridge-New York-Melbourne- Madrid-Cape Town-Singapore-São Paulo, 2007.

[3] A.Ambrosetti and G.Prodi, A Primer of Nonlinear Analysis, Cambridge University Press, Cambridge-New York-Melbourne- Madrid-Cape Town-Singapore-São Paulo, 1993.

[4] H.Brezis(ハイム・ブレジス) 著; 藤田宏監訳・小西芳雄訳, 関数解析, 産業図書, 1983.

[5] A.Bahri and J.Coron, On a nonlinear elliptic equation involving the critical Sobolev exponent: the effect of the topology of the domain, Comm.Pure Appl.Math. **41** (1988), 253-294.

[6] H.Brezis and L.Nirenberg, Positive solutions of nonlinear elliptic equations involving critical Sobolev exponents, Comm.Pure Appl.Math. **36** (1983), 437-477.

[7] D.Gilbarg and N.S.Trudinger, Elliptic Partial Differential Equations of Second Order, Second Edition (Revised Third Printing), Springer, Berlin-Heidelberg-New York-Barcelona-Budapest-Hong Kong -London-Milan-Paris-Santa Clara-Singapore-Tokyo, 1998.

[8] 黒田成俊, 関数解析, 共立出版, 1980.

[9] J.Kazdan and F.Warner, Remarks on some quasilinear elliptic equations Comm.Pure Appl.Math. **28** (1975), 567-597.

[10] 増田久弥, 関数解析, 裳華房, 1994.

[11] 増田久弥, 非線型数学, 朝倉書店, 1985.

[12] 増田久弥, 非線型楕円型方程式, 岩波書店, 1977.

[13] 溝畑茂, 偏微分方程式論, 岩波書店, 1965.

[14] S.I.Pohozaev, Eigenfunctions of the equation $\Delta u + \lambda f(u) = 0$, Soviet Math.Dokl.**6** (1965), 1408-1411.

[15] M.Struwe, Variational Methods, Second Edition, Spronger, Berlin-Heidelberg-New York-Barcelona-Budapest-Hong Kong -London-Milan-Paris-Santa Clara-Singapore-Tokyo, 1996.

(平成２０年１月７日受理)

On Bashmakov's theorem for elliptic curves without complex multiplication

Hajime NAKAZATO*

We consider the Galois cohomology groups arising form the Galois modules E_{p^n} and $\mathcal{H}_n^m$=Gal(L_n^m/K_n^m), where L_n^m denotes the filed defined by Bashmakov[1] and K_n^m denotes the p^n-division field $F(E_{p^n}, \mu_{p^m})$ for non-negative integers m and n. Then we describe the structure of $H^1(\mathrm{Gal}(L_n^m/F(\mu_{p^m})), E_{p^n})$ using the Mordell-Weil group $E(F(\mu_{p^m}))$.

(Keywords: elliptic curve, Galois cohomology group)

1. Introduction

Let E/F be an elliptic curve over a finite number field F. We assume that E has not complex multiplication over any finite extension of F. Let p be an odd prime. For a positive integer m, E_m denotes the group of all m-torsion points of E and μ_m denotes the group of all m-th root of unity.

Assumption. We assume that

$$\text{(S)} \qquad \mathrm{Gal}(F(E_p)/F) \cong \mathrm{GL}_2(\mathbb{F}_p).$$

By the celebrated theorem due to Serre[3] this assumption (S) holds for almost all p. In this case, the p-torsion part of the Mordell-Weil group of E over F is null i.e. $E(F)_p = 0$. Moreover we have $E(F(\mu_{p^m}))_p = 0$ for any non-negative integer m.

Definition. For non-negative integers m and n, we define the following;

$$B_n^m = \frac{1}{p^n}E(F(\mu_{p^m})), \quad L_n^m = F(B_n^m, \mu_{p^m}), \quad K_n^m = F(E_{p^n}, \mu_{p^m}), \quad K^m = F(\mu_{p^m}),$$
$$\mathcal{H}_n^m = \mathrm{Gal}(L_n^m/K_n^m), \quad \mathcal{G}_n^m = \mathrm{Gal}(L_n^m/K^m), \quad G_n^m = \mathrm{Gal}(K_n^m/K^m), \quad \text{and}$$
$$r_m = \mathrm{rank}E(K^m).$$

Also we define

$$L_\infty^m = \bigcup_n L_n^m, \quad K_\infty^m = \bigcup_n K_n^m,$$
$$\mathcal{H}_\infty^m = \mathrm{Gal}(L_\infty^m/K_\infty^m), \quad \mathcal{G}_\infty^m = \mathrm{Gal}(L_\infty^m/K^m), \quad \text{and} \quad G_\infty^m = \mathrm{Gal}(K_\infty^m/K^m).$$

We call L_n^m and L_∞^m Bashmakov fields. Using $E(K^m)_p = 0$, we have

$$E(K^m)/p^nE(K^m) = E(K^m)\otimes \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z} \cong (\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})^{\oplus r_m}.$$

Let $T_p(E)$ be the p-adic Tate module of E.

In this paper we will get the following theorems:

* General Subject (Mathematics)

Theorem 8. (i) $\mathcal{H}_n^m \cong E_{p^n}^{\oplus r_m}$ *as* G_n^m*-modules.*
(ii) $\mathcal{H}_\infty^m \cong T_p(E)^{\oplus r_m}$ *as* G_∞^m*-modules.*

Theorem 12. (i) $H^1(\mathcal{G}_n^m, E_{p^n}) \cong E(K^m) \otimes \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z} \cong (\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})^{\oplus r_m}$,
(ii) *the discrete Galois cohomology group* $H^1(\mathcal{G}_\infty^m, E_{p^\infty}) \cong E(K^m) \otimes \mathbb{Q}_p/\mathbb{Z}_p \cong (\mathbb{Q}_p/\mathbb{Z}_p)^{\oplus r_m}$,
(iii) *the continuous Galois cohomology group* $H^1_{cts}(\mathcal{G}_\infty^m, T_p(E)) \cong E(K^m) \otimes \mathbb{Z}_p \cong \mathbb{Z}_p^{\oplus r_m}$.

Bashmakov [1] obtained the following

Theorem. (i) *The discrete Galois cohomology group* $H^1(\mathrm{Gal}(L_\infty^0/F), E_{p^\infty})$ *is an extension of* $(\mathbb{Q}_p/\mathbb{Z}_p)^{\oplus r}$ *by a finite group,*
(ii) *the continuous Galois cohomology group* $H^1_{cts}(\mathrm{Gal}(L_\infty^0/F), T_p(E))$ *is an extension of* $\mathbb{Z}_p^{\oplus r}$ *by a finite group, where* r *is the rank of* $E(F)$.

Our Theorem 12 is sharper than Bashmakov's theorem. We get our result from our *Assumption* (S) that holds for almost all prime p [3].

Moreover we setup our theorems over the tower of number fields:

$$F = K^0 \subset K^1 \subset \cdots \subset K^m \subset \cdots \subset K^\infty.$$

This setting is more important in recent Iwasawa theory of elliptic curves [2]. So this paper is an attempt to use Bashmakov's theorem for researching Iwasawa theory of elliptic curves.

Notation. For a prime p, $\mathbb{Z}_p$ denotes the p-adic integer ring, $\mathbb{Q}_p$ denotes the field of fractions of $\mathbb{Z}_p$ and $\mathbb{F}_p$ denotes the field $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$. We recall the definitions and the properties of the Galois cohomology groups from [4].

2. Preliminary

Let P be a point of $E(K^m)$.

Definition. Let $\varphi_P : \mathcal{H}_1^m \to E_p$ be a map defined by $\varphi_P(h) = (h-1)Q$, where $Q \in E(L_1^m)$ s.t. $pQ = P$.

Lemma 1. *The map* φ_P *is a well-defined* G_1^m*-homomorphism.*

Proof. 1° φ_P is well-defined.
Let $Q, Q' \in E(L_1^m)$ s.t. $pQ = pQ' = P$. As $p(Q - Q') = 0$, $A = Q - Q' \in E_p$. For $h \in \mathcal{H}_1^m = \mathrm{Gal}(L_1^m/K_1^m)$, using $K_1^m = K^m(E_p)$, we have $hA = A$. Therefore $(h-1)Q = (h-1)(Q' + A) = (h-1)Q' + (h-1)A = (h-1)Q'$.

2° φ_P is a homomorphism.
For $h, h' \in \mathcal{H}_1^m$, we have $ph'Q = h'pQ = h'P = P$. By 1°, we have $(h-1)h'Q = (h-1)Q$. Hence we have

$$\varphi_P(hh') = (hh'-1)Q = (h-1)h'Q + (h'-1)Q = (h-1)Q + (h'-1)Q = \varphi_P(h) + \varphi_P(h').$$

3° φ_P is a G_1^m-homomorphism.
For $\sigma \in G_1^m = \mathrm{Gal}(K_1^m/K^m)$, there exists $\tilde{\sigma} \in \mathcal{G}_1^m = \mathrm{Gal}(L_1^m/K^m)$ s.t. $\tilde{\sigma}|_{K_1^m} = \sigma$. As $p\tilde{\sigma}Q = \tilde{\sigma}Q = \tilde{\sigma}P = P$, we have $p(\tilde{\sigma}Q - Q) = 0$. Hence there exists $A = \tilde{\sigma}Q - Q \in E_p$. For

$h \in \mathcal{H}_1^m$, let $\sigma \cdot h = \tilde{\sigma} h \tilde{\sigma}^{-1}$. Then we have

$$\begin{aligned}\varphi_P^\sigma(h) &= \sigma\varphi_P(\sigma^{-1}\cdot h) = \tilde{\sigma}\varphi_P(\tilde{\sigma}^{-1}h\tilde{\sigma}) = \tilde{\sigma}(\tilde{\sigma}^{-1}h\tilde{\sigma}-1)Q = (h\tilde{\sigma}-\tilde{\sigma})Q = (h-1)\tilde{\sigma}Q \\ &= (h-1)(Q+A) = (h-1)Q + (h-1)A = (h-1)Q = \varphi_P(h).\end{aligned}$$

Therefore $\varphi_P^\sigma = \varphi_P$. □

Definition. Let $\psi : E(K^m)/pE(K^m) \to \mathrm{Hom}^{G_1^m}(\mathcal{H}_1^m, E_p)$ be a map defined by $\psi(P + pE(K^m)) = \varphi_P$.

Lemma 2. *The map ψ is a well-defined injective homomorphism.*

Proof. 1° ψ is well-defined.
If $P \in pE(K^m)$, then there exists $Q \in E(K^m)$ s.t. $pQ = P$. For any $h \in \mathcal{H}_1^m$, we have $\varphi_P(h) = (h-1)Q = 0$. Hence $\varphi_P = 0$.

2° ψ is a homomorphism.
For $P, P' \in E(K^m)$, let $Q, Q' \in E(L_1^m)$ s.t. $pQ = P, pQ' = P'$. Then $p(Q+Q') = P + P'$. Therefore we have, for $h \in \mathcal{H}_1^m$, $\varphi_{P+P'}(h) = (h-1)(Q+Q') = (h-1)Q + (h-1)Q' = \varphi_P(h) + \varphi_{P'}(h)$. Hence $\psi(P+P') = \varphi_{P+P'} = \varphi_P + \varphi_{P'} = \psi(P) + \psi(P')$.

3° ψ is injective.
We assume that $\varphi_P(h) = 0$ for any $h \in \mathcal{H}_1^m$. Let $\tilde{\varphi_P} : \mathcal{G}_1^m \to E_p$ be a map defined by $\tilde{\varphi_P}(g) = (g-1)Q$ for $g \in \mathcal{G}_1^m$. Using the assumption, we define $\overline{\varphi_P} : G_1^m = \mathcal{G}_1^m/\mathcal{H}_1^m \to E_p$ by $\overline{\varphi_P}(\sigma) = \tilde{\varphi_P}(\tilde{\sigma})$ for $\sigma \in G_1^m$, where $\tilde{\sigma} \in \mathcal{G}_1^m$ s.t. $\tilde{\sigma}|_{K_1^m} = \sigma$. Then $\overline{\varphi_P}$ is a cycle. As $H^1(G_1^m, E_p) = 0$ (see Lemma 9), the cohomology class $[\overline{\varphi_P}]$ is null. Thus $\overline{\varphi_P}$ is a boundary. There exists $A \in E_p$ s.t. $\overline{\varphi_P}(\sigma) = (\sigma-1)A$ for $\sigma \in G_1^m$. Hence we have $(\sigma-1)Q = (\sigma-1)A$. Let $Q' = Q - A$. Since $\sigma Q' = \sigma(Q-A) = Q - A = Q'$ for any $\sigma \in G_1^m = \mathrm{Gal}(K_1^m/K^m)$. We have $Q' \in E(K^m)$. Therefore $P = pQ = p(Q'+A) = pQ' + pA = pQ' \in pE(K^m)$. Thus $\psi(P + pE(K^m)) = \varphi_P = 0$ implies $P \in pE(K^m)$. □

Let $P^{(1)}, P^{(2)}, \cdots, P^{(r_m)}$ be a system of $\mathbb{Z}$-free generators of $E(K^m)$. Let $Q^{(j)} \in E(L_1^m)$ s.t. $pQ^{(j)} = P^{(j)}$ for $j = 1, 2, \cdots, r_m$.

Definition. Let $\varphi_1 : \mathcal{H}_1^m \to E_p^{\oplus r_m}$ be a map defined by $\varphi_1 = \oplus_{j=1}^{r_m}\varphi_{P^{(j)}}$.

Lemma 3. *The map φ_1 is a G_1^m-isomorphism.*

Proof. As every $\varphi_{P^{(j)}}$ is a G_1^m-homomorphism, φ_1 is also a G_1^m-homomorphism.

1° φ_1 is injective.
Let $h \in \mathcal{H}_1^m$. If $\varphi_1(h) = \oplus\varphi_{P^{(j)}}(h) = \oplus(h-1)Q^{(j)} = 0$, then $(h-1)Q^{(j)} = 0$. Since $h \in \mathcal{H}_1^m = \mathrm{Gal}(L_1^m/K_1^m)$ and $L_1^m = K^m(Q^{(1)}, Q^{(2)}, \ldots, Q^{(r_m)})$. We have $h = 1$.

2° φ_1 is surjective.
Note that $\mathrm{GL}_2(\mathbb{F}_p) = \mathrm{Gal}(F_1/F) \supset \mathrm{Gal}(F_1/F_1 \cap K^m) = \mathrm{Gal}(K_1^m/K^m) = G_1^m \supset \mathrm{Gal}(F_1/K_n) = \mathrm{SL}(\mathbb{F}_p)$. The image $\mathrm{Im}\varphi_1$ is a G_1^m-submodule of $E_p^{\oplus r_m}$. Since every G_1^m-simple factor of $E_p^{\oplus r_m}$ is E_p and $E_p^{\oplus r_m}$ is a G_1^m-semi-simple module. We have $\mathrm{Im}\varphi_1 = E_p^k$ with a positive integer $k \le r_m$.

Claim: $k = r_m$.

Clearly this implies the surjetiveness of φ_1.

Proof of Claim. Using the fact that E_p is a simple G_1^m-module, we have $\mathrm{Hom}^{G_1^m}(E_p, E_p) \cong \mathbb{F}_p$. Since, by 1°, $\mathcal{H}_1^m \cong \mathrm{Im}\varphi_1 = E_p^k$. We have $\mathrm{Hom}^{G_1^m}(\mathcal{H}_1^m, E_p) \cong \mathrm{Hom}^{G_1^m}(E_p^k, E_p) \cong \mathbb{F}_p^k$. On the other hand, by Lemma 2, we have an injective homomorphism

$$\psi : E(K^m)/pE(K^m) \cong \mathbb{F}_p^{r_m} \to \mathrm{Hom}^{G_1^m}(\mathcal{H}_1^m, E_p) \cong \mathbb{F}_p^k.$$

Thus we have $r_m \leq k$. □

Using Lemma 3, we get the following

Theorem 4. *$\mathcal{H}_1^m \cong E_p^{\oplus r_m}$ as G_1^m-modules.*

Corollary 5. $H^1(G_1^m, \mathcal{H}_1^m) = 0$.

Proof. Since $H^1(G_1^m, E_p) = 0$ (see Lemma 9). We have

$$H^1(G_1^m, \mathcal{H}_1^m) \cong H^1(G_1^m, E_p^{\oplus r_m}) \cong H^1(G_1^m, E_p)^{\oplus r_m} = 0.$$ □

These theorem and corollary are contained in Theorem 8 and Corollary 9, which appear in the next section. However we use Theorem 4 to prove Theorem 8.

3. Theorems

For a positive integer n, let $Q_n^{(j)} \in E(L_n^m)$ s.t. $p^n Q_n^{(j)} = P^{(j)}$ and $pQ_{n+1}^{(j)} = Q_n^{(j)}$ for $j = 1, 2, \cdots, r_m$.

Definition. (i) Let $\varphi_{n,P} : \mathcal{H}_n^m \to E_{p^n}$ be a map defined by $\varphi_{n,P}(h) = (h-1)Q_n$ for $h \in \mathcal{H}_n^m$, where $Q_n \in E(L_n^m)$ s.t. $p^n Q = P$.
(ii) Let $\varphi_n : \mathcal{H}_n^m \to E_{p^n}^{\oplus r_m}$ be a map defined by $\varphi_n = \oplus_{j=1}^{r_m} \varphi_{n,P^{(j)}}$.

Lemma 6. (i) *The map $\varphi_{n,P}$ is a well-defined G_n^m-homomorphism.*
(ii) *The map φ_n is a injective G_n^m-homomorphism.*

The proof is similar to the proofs of Lemma 1 and 2. We omit this proof.

Lemma 7. (i) The following diagram commutes:

$$\begin{array}{ccc} \mathcal{H}_{n+1}^m & \xrightarrow{\varphi_{n+1}} & E_{p^{n+1}}^{\oplus r_m} \\ {\scriptstyle res}\downarrow & & {\scriptstyle \pi}\downarrow \\ \mathcal{H}_n^m & \xrightarrow{\varphi_n} & E_{p^n}^{\oplus r_m}, \end{array}$$

where π denotes the multiplication-by-p map and res denotes the restriction map.
(ii) *The map φ_n is a surjective homomorphism.*

Proof. (i) Using $pQ_{n+1}^{(j)} = Q_n^{(j)}$, for $h \in \mathcal{H}_{n+1}^m$, we have

$$\pi \circ \varphi_{n+1}(h) = p(h-1)Q_{n+1}^{(j)} = (h-1)Q_n^{(j)} = (res(h)-1)Q_n^{(j)} = \varphi_n \circ res(h).$$

(ii) By (i), we have the following commutative diagram:

$$\begin{array}{ccc} \mathcal{H}_n^m & \xrightarrow{\varphi_n} & E_{p^n}^{\oplus r_m} \\ {\scriptstyle res}\big\downarrow & & \big\downarrow{\scriptstyle \pi_{n-1}} \\ \mathcal{H}_1^m & \xrightarrow{\varphi_1} & E_p^{\oplus r_m}, \end{array}$$

where π_{n-1} denotes the multiplication-by-p^{n-1} map. Since φ_1 is an isomorphism and π_{n-1}, res are surjective. We have $\mathrm{Ker}\pi_{n-1}+\mathrm{Im}\varphi_n = E_{p^n}^{\oplus r_m}$. Hence $pE_{p^n}^{\oplus r_m}+\mathrm{Im}\varphi_n = E_{p^n}^{\oplus r_m}$. By Nakayama's Lemma, we have $\mathrm{Im}\varphi_n = E_{p^n}^{\oplus r_m}$. □

Summing up, we have the following

Theorem 8. (i) $\mathcal{H}_n^m \cong E_{p^n}^{\oplus r_m}$ *as* G_n^m*-modules.*
(ii) $\mathcal{H}_\infty^m \cong T_p(E)^{\oplus r_m}$ *as* G_∞^m*-modules.*

Proof. (i) Lemma 6 and 7 follow the assertion (i).
(ii) We use to prove the assertion (ii) the following

Claim. If $n' \geq n \geq m$, then $L_n^m \cap K_{n'}^m = K_n^m$.

Therefore we have $L_n^m \cap K_\infty^m = K_n^m$. Since $T_p(E) = \varprojlim E_{p^n}$. We have

$$\mathcal{H}_\infty^m = \mathrm{Gal}(L_\infty^m/K_\infty^m) = \varprojlim \mathrm{Gal}(L_n^m K_\infty^m/K_\infty^m) \cong \varprojlim \mathrm{Gal}(L_n^m/L_n^m \cap K_\infty^m)$$
$$= \varprojlim \mathrm{Gal}(L_n^m/K_n^m) = \varprojlim \mathcal{H}_n^m = \varprojlim E_{p^n}^{\oplus r_m} = (\varprojlim E_{p^n})^{\oplus r_m} = T_p(E)^{\oplus r_m}.$$

Proof of Claim. Since $F_n \cap K^m = K^{min\{n,m\}}$. We have

$$G_n^m = \mathrm{Gal}(K_n^m/K^m) = \mathrm{Gal}(F_n/F_n \cap K^m) \subset \mathrm{Gal}(F_n/F) = \mathrm{GL}_2(\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z}).$$

Let $Z^0 = \{\pm 1_2\} \subset \mathrm{SL}_2(\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z}) = \mathrm{Gal}(F_n/K^n)$. Then we have $Z^0 \subset \mathrm{Gal}(F_n/K^n) \subset \mathrm{Gal}(K_n^m/K^m) = G_n^m$. Hence Z^0 is a central normal subgroup of G_n^m.

By Theorem 8 (i), Z^0 acts *non-trivially* on $E_{p^n}^{\oplus r_m} \cong \mathcal{H}_n^m = \mathrm{Gal}(L_n^m/K_n^m)$. However Z^0 acts *trivially* by conjugation on

$$\mathrm{Gal}(K_{n'}^m/K_n^m) = \mathrm{Gal}(K^m F_{n'}/K^m F_n) = \mathrm{Gal}(F_{n'}/F_n) \cong \mathrm{Gal}(F_{n'}/F_1)/\mathrm{Gal}(F_n/F_1).$$

Hence we have $L_n^m \cap K_{n'}^m = K_n^m$. □

Lemma 9. (i) $H^i(G_n^m, E_{p^n}) = 0$ *for* $i = 1, 2$.
(ii) $H^i(G_\infty^m, E_{p^n}) = 0$ *for* $i = 1, 2$.

Proof. (i) Since Z^0 is a central normal subgroup of G_n^m. Using the exact sequence $1 \to Z^0 \to G_n^m \to G_n^m/Z^0 \to 1$ and the fact $H^2(Z^0, E_{p^n}) = 0$, we have the following exact sequence:

$$0 \to H^1(G_n^m/Z^0, E_{p^n}^{Z^0}) \to H^1(G_n^m, E_{p^n}) \to H^1(Z^0, E_{p^n})^{G_n^m/Z^0}$$
$$\to H^2(G_n^m/Z^0, E_{p^n}^{Z^0}) \to H^2(G_n^m, E_{p^n}) \to H^1(G_n^m/Z^0, H^1(Z^0, E_{p^n})).$$

As $E_{p^n}^{Z^0} = 0$ and $H^1(Z^0, E_{p^n}) = 0$, we have $H^1(G_n^m, E_{p^n}) = 0$ and $H^2(G_n^m, E_{p^n}) = 0$.

(ii) Since Z^0 is also a central normal subgroup of G^m_∞. By the same argument as (i), we get the assertion of (ii). $\square$

Corollary 10. (i) $H^1(G^m_n, \mathcal{H}^m_n) = 0$.
(ii) $H^1_{cts}(G^m_\infty, \mathcal{H}^m_\infty) = 0$.

The proof of (i) is similar to the proof of Corollary 5. We omit this proof.

Proof of (ii). To prove the assertion (ii), we use Lemma 9 (ii). Since $H^1_{cts}(G^m_\infty, T_p(E)) = \varprojlim H^1(G^m_\infty, E_{p^n}) = 0$. By Theorem 8, we have

$$H^1_{cts}(G^m_\infty, \mathcal{H}^m_\infty) = H^1_{cts}(G^m_\infty, T_p(E)^{\oplus r_m}) = H^1_{cts}(G^m_\infty, T_p(E))^{\oplus r_m} = 0. \qquad \square$$

Definition. Let $\psi_n : E(K^m)/p^n E(K^m) \to \mathrm{Hom}^{G^m_n}(\mathcal{H}^m_n, E_{p^n})$ be a map defined by $\psi_n(P + p^n E(K^m)) = \varphi_{n,P}$.

Lemma 11. *The map ψ_n is a well-defined isomorphism.*

Proof. By the same argument as in the proof of Lemma 2, ψ_n is a well-defined injective homomorphism. Using Theorem 8, we have

$$\psi_n : E(K^m)/p^n E(K^m) \cong (\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})^{r_m} \to \mathrm{Hom}^{G^m_n}(\mathcal{H}^m_n, E_{p^n}) \cong (\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})^{r_m}.$$

Hence ψ_n is an isomorphism. $\square$

Theorem 12. (i) $H^1(\mathcal{G}^m_n, E_{p^n}) \cong E(K^m) \otimes \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z} \cong (\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z})^{\oplus r_m}$,
(ii) *the discrete Galois cohomology group* $H^1(\mathcal{G}^m_\infty, E_{p^\infty}) \cong E(K^m) \otimes \mathbb{Q}_p/\mathbb{Z}_p \cong (\mathbb{Q}_p/\mathbb{Z}_p)^{\oplus r_m}$,
(iii) *the continuous Galois cohomology group* $H^1_{cts}(\mathcal{G}^m_\infty, T_p(E)) \cong E(K^m) \otimes \mathbb{Z}_p \cong \mathbb{Z}_p^{\oplus r_m}$.

Proof. (i) Since the action of $\mathcal{H}^m_n = \mathrm{Gal}(L^m_n/K^m_n)$ on E_{p^n} is trivial. The exact sequence $1 \to \mathcal{H}^m_n \to \mathcal{G}^m_n \to G^m_n \to 1$ gives the following exact sequence:

$$0 \to H^1(G^m_n, E_{p^n}) \to H^1(\mathcal{G}^m_n, E_{p^n}) \to H^1(\mathcal{H}^m_n, E_{p^n})^{G^m_n} \to H^2(G^m_n, E_{p^n}).$$

By Lemma 9 and 11, we have

$$H^1(\mathcal{G}^m_n, E_{p^n}) = H^1(\mathcal{H}^m_n, E_{p^n})^{G^m_n} \cong \mathrm{Hom}^{G^m_n}(\mathcal{H}^m_n, E_{p^n}) \cong E(K^m) \otimes \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z}.$$

(ii) Since $E_{p^\infty} = \varinjlim E_{p^n}$, $\mathcal{G}^m_\infty = \mathrm{Gal}(L^m_\infty/K^m) = \varprojlim \mathrm{Gal}(L^m_n/K^m) = \varprojlim \mathcal{G}^m_n$ and $\mathbb{Q}_p/\mathbb{Z}_p = \varinjlim \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z}$. Using (i), we have

$$\begin{aligned} H^1(\mathcal{G}^m_\infty, E_{p^\infty}) &= \varinjlim H^1(\mathcal{G}^m_n, E_{p^n}) \cong \varinjlim E(K^m) \otimes \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z} = E(K^m) \otimes (\varinjlim \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z}) \\ &= E(K^m) \otimes \mathbb{Q}_p/\mathbb{Z}_p \cong (\mathbb{Q}_p/\mathbb{Z}_p)^{\oplus r_m}. \end{aligned}$$

(iii) To prove the assertion (iii), we use the following

Claim. $H^1(\mathcal{G}^m_\infty, E_{p^n}) = H^1(\mathcal{G}^m_n, E_{p^n})$.

Since every $H^1(\mathcal{G}^m_\infty, E_{p^n})$ is a finite group for $n \geq 1$. Using (i), we have

$$\begin{aligned} H^1_{cts}(\mathcal{G}^m_\infty, \mathcal{H}^m_\infty) &= \varprojlim H^1(\mathcal{G}^m_\infty, E_{p^n}) = \varprojlim H^1(\mathcal{G}^m_n, E_{p^n}) \\ &\cong \varprojlim E(K^m) \otimes \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z} = E(K^m) \otimes \varprojlim \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z} = E(K^m) \otimes \mathbb{Z}_p \cong \mathbb{Z}_p^{\oplus r_m}. \end{aligned}$$

Proof of Claim. Since the action of $\mathcal{H}_\infty^m = \mathrm{Gal}(L_\infty^m/K_\infty^m)$ on E_{p^n} is trivial. The exact sequence $1 \to \mathcal{H}_\infty^m \to \mathcal{G}_\infty^m \to G_\infty^m \to 1$ gives the following exact sequence:

$$0 \to H^1(G_\infty^m, E_{p^n}) \to H^1(\mathcal{G}_\infty^m, E_{p^n}) \to H^1(\mathcal{H}_\infty^m, E_{p^n})^{G_\infty^m} \to H^2(G_\infty^m, E_{p^n}).$$

Therefore, using Theorem 8, we have

$$\begin{aligned} H^1(\mathcal{G}_\infty^m, E_{p^n}) &= H^1(\mathcal{H}_\infty^m, E_{p^n})^{G_\infty^m} = \mathrm{Hom}^{G_\infty^m}(\mathcal{H}_\infty^m, E_{p^n}) \\ &= \mathrm{Hom}^{G_\infty^m}(\mathcal{H}_n^m, E_{p^n}) = \mathrm{Hom}^{G_n^m}(\mathcal{H}_n^m, E_{p^n}) = H^1(\mathcal{G}_n^m, E_{p^n}). \end{aligned}$$ □

References

[1] M. I. Bashmakov: The cohomology of abelian varieties over a number field. Russian Math. Surveys, **27** no 6, 25–71 (1972)

[2] B. Mazur: Rational Points of abelian varieties with values in towers of Number Fields. Invent. Math., **18**, 183–266 (1972)

[3] J. P. Serre: Propriétés galoisiennes des points d'ordre fini des courbes elliptiquies. Invent. Math., **15**, 259–331 (1972).

[4] J. Neukirch, A. Schmidt, K. Wingberg: Cohomology of number fields. Springer, 1999

(Received Jan. 7,2008)

日豪学生交流の役割について
―アンケート調査から見えてくるもの―

竹田恒美*，佐藤義隆*，小中澤聖二*，黒田一寿*，一戸隆久**，吉本定伸***，John Gates*

Studying the role of Japan-Australia student exchange program by questionnaire survey

Tsunemi TAKEDA, Yoshitaka SATO, Seiji KONAKAZAWA, Kazutoshi KURODA,
Takahisa ICHINOHE, Sadanobu YOSHIMOTO, John GATES

This paper aims to report the result of the questionnaire survey conducted for the purpose of studying the role of Japan-Australia student exchange program, which has been carried out over the last twenty years. The result of the survey shows that this program is highly evaluated by those who have been to Australia as members of the delegation of Tokyo National College of Technology. Most of them say that the exchange program has positive influence on their course of carries.

(Keywords: Japan-Australia student exchage, intercultural communication, course of carrier)

1. はじめに

日豪学生交流は、産業・経済のグローバル化が加速する 21 世紀を見据えて、次世代を担う技術者達に国際的感覚を身に付けてもらいたいとの願いから 1984 年に始められた。学生交流の趣意書を添えて複数の国の教育機関に問い合わせの手紙を送ることから始められたこの交流は、文字通り手作りの学生交流と言える。20 年を超える交流の歴史の中で、交流相手校の組織形態は多少の変遷を経ているものの、基本的にはメルボルン郊外に拠点を持つモナシュ大学とその周辺に位置する TAFE（Technical & Further Education の略称。オーストラリア全土に展開される公立の職業訓練のための高等教育機関）をパートナーとした交流が続けられている。2000 年と 2005 年には、それぞれの側が責任のある主体として交流に関わることを確認するために交流覚書を取り交わした(1)。交流を開始して以来、派遣と受け入れをほぼ毎年交互に実施し、その回数は 2007 年現在で 22 回にのぼり、延べ 200 名を超える東京高専学生にオーストラリアの教育機関との学生文化交流に参加する機会を提供してきた。

本稿の目的はこれまでの日豪学生交流を振り返り、その特徴を洗い出し役割を問い直すことにある。こうした検証作業は、日豪学生交流以外にもその後日韓学生交流、ヘルシンキ学生交流など相次いで国際交流プログラムが立ち上がり、それぞれ特徴のある国際交流が行われている中で、改めて日豪学生交流の存在意義を考え、これからの日豪学生交流のあるべき方向性を探る上で、意味のあることと思われる。

本稿では、はじめに日豪学生交流の特徴を運営形態など外的な面からまとめる。次に昨年実施した渡豪経験者への意識調査を分析し、日豪学生交流がこれまで果たしてきた役割を浮き彫りにしたい。

2. 日豪学生交流の特徴

日豪学生交流は開始当初こそ東京高専で唯一の国際交流プログラムとしてその役割を担ってきたが、その後日韓学生交流、ヘルシンキ学生交流が相次いで立ち上がり、それぞれ特徴を持った内容で国際交流を展開している。（表１）

＊一般教科　＊＊電子工学科　＊＊＊情報工学科

2. 1　特徴その１　運営の基本的精神

日豪学生交流の特徴の一つは、日韓、ヘルシンキの国際交流プログラムにも共通して言えることだが、「互恵的で対等なパートナーシップの精神」を尊重しているということである。その意味するところは、こちらが渡航したら次回は先方による訪問を受け入れるというように、毎回交互にほぼ同等の日数、参加人数、プログラムを内容として双方向で行われる交流形態を指す。これまでの日豪学生交流の場合を挙げると表 2 のようになる。

表１　東京高専の国際交流プログラムの比較

	日豪	日韓	ヘルシンキ
交流相手校	TAFE* (Monash University)	釜山情報大学	Helsinki Polytechnic
交流内容	学生間の文化交流	教員・学生間の学術・文化交流	学生間の学術交流
交流開始年（協定締結年）	1984 年 (2000 年 2005 年)	1985 年 (1995 年)	2000 年 (2002 年)
交流形式	双方向 2 年 1 周期	双方向 2 年 1 周期	双方向 (派遣隔年 受入毎年)
派遣学生数	15～20 名程度	10 名程度	2 名程度

TAFE*：Technical And Further Education

表 2　1984 年～2007 年までの日豪学生交流実績集計

派遣		受入	
延べ派遣回数	11 回	延べ受入回数	11 回
平均交流日数	12.5 日	平均交流日数	11 日
平均参加学生数	19.3 人/1 回	平均参加学生数	12.2 人/1 回
(男子)	13.4 人/1 回	男子	6.2 人/1 回
(女子)	5.9 人/1 回	女子	6.1 人/1 回
平均引率教員数	2.2 人/1 回	平均引率教員数	2.7 人/1 回

こうした形態の国際交流は、他の高専では行われているだろうか。参考までに例を探してみると、調査対象はやや狭いが関東信越地区の高専で 07 年 12 月に行われたアンケート調査がある。文部科学省が全国に配置している国費留学生の受け入れ事業は別にして、学校独自の国際交流を実施している高専は、回答が得られた 8 校中 6 校である。またその 6 校中で東京高専のような双方向の国際交流が行われているのは、東京高専を含めて 3 高専のみである[2]。

2. 2　特徴その２　　経費

はじめに挙げた「互恵的で対等なパートナーシップの精神」から派生することであるが、経費の点でも日豪学生交流（及びこの場合は日韓学生交流にも当てはまる）には特徴がある。学生が派遣される場合、往復の航空運賃と交流前後の自校だけの単独行動は自己負担だが、交流期間中の現地での宿泊費、食費等の諸経費は、交流協定に基づき受入側が負担することになっている。東京高専が現地を訪問すれば、先方が滞在中の諸経費を負担することになり、東京高専が受入側になった場合は、逆にこちらが全て負担することになる。その場合、経費は後援会費又は運営費交付金から支出される。また日豪と日韓の派遣・受け入れを年度毎に交互に組み入れることによって、学校全体の支出を平均化するという工夫を行っている。このように高専生の家庭にとっては、個人負担が抑えられた参加費用で海外体験が出来る仕組みになっており、単に海外に出ていくだけのスタディ・ツアーと、双方向の交流との違いの一つがこうした参加者の経費負担の差となって表れていると言える。

2. 3　その他の特徴

「互恵的で対等なパートナーシップの精神」に基づいた国際交流では、派遣ばかりでなく受入でも充実した内容が求められる。受入事業に関連して日豪学生交流の特徴をまとめると次のようなことが挙げられる。

(1) 海外渡航には家庭の事情で参加できないが、自宅をホームステイ先として提供し、外国人学生を受け入れることよって国際交流を体験したいと希望する家庭には、日豪学生交流の受入プログラムはよいチャンスとなっている。

(2) 受入は学生会国際交流局が中心となって各種受入れ行事を企画・運営をしている。毎回延べ参加者数は 200 名は下らないと思われる。学生達にとっては国際交流というイベントを通して企画力・運営力を鍛えるよい機会になっているのではないかと考えられる。

(3) ここ数年のことであるが、地元 NGO からホームステイ先の提供や、交流行事に参加してもらうなどの協力がある。また 07 年度は八王子市長を表敬訪問するなど、東京高専が推進している産学の地域連携とは異なり、文化的な側面での地域連携に

貢献していると言えよう。
(4)受入れ事業だけに関連することではないが、次の点も指摘しておきたい。2005 年に締結した日豪学生交流の交流協定では、はじめから相手校を一校に限定せず、オーストラリアのメルボルン校外に位置する隣接した2つのTAFEをカウンターパートとして協定を結んでいる。その理由の一つは、大変に僭越な言い方になってしまうが、地理的には近いがそれまで特に学校間の連携がなかったと聞いているCentral Gippsland Institute of TAFE, 及びEast Gippsland Institute of TAFEが、本交流を始めることをきっかけとして彼ら同志の新たな協力関係が築かれてゆく、その触媒的な役割を日豪学生交流が担うことができるのではないかと期待していたからである。

3. 渡豪経験者の意識調査

これまで日豪学生交流の特徴をその枠組みに注目して見て来たが、実際に派遣プログラムに参加した学生達は日豪学生交流をどのように捉えているだろうか。国際交流の一つの成果は、派遣プログラムに実際に参加した学生がどのように交流の体験を自分の糧として受け止めているかという点に見ることができるのではないだろうか。このような問題意識の下に07年の秋に渡豪経験者を対象とした意識調査を実施した。本節ではその概要を報告したい。

3．1　実施概要

当初は初期の渡豪経験者から最近の渡豪経験者に至るまで各時期の経験者を万遍なくカバーしようとしたが、残念ながら渡豪経験者リストが十分に整備されておらず、それが困難であることが分かった。また一連の作業を時間的に限られた中で行わざるを得なかったこともあり、今回の意識調査は手元にある限られたメーリングリストだけを使って実施した。

【意識調査対象者】
日豪学生交流渡豪経験者のうちで、メールアドレスが確認されている2002年度経験者2名、2004年度経験者11名、2006年度経験者19名の計32名

【調査方法】
日豪学生交流実行委員長名で意識調査の趣意書を用意し、メールにアンケートファイルを添付して送付した。

【調査実施時期】
2007年11月18日送付
12月1日回答締め切り

【回答方法】
アンケートファイル内の質問にふさわしい回答を、5段階レベルの選択肢の中から選ぶ方式と自由記述方式を併用。回答ファイルはメールに添付して返送してもらう。

【回答数】
有効回答件数：　18件（回答率56%）
内訳：本科在校生　11名
　本科卒業の大学生（専攻科生含む）5名
　社会人　2名

【質問項目】
1. 在学中に経験した学校行事について、高く評価したいものを上位5つお書き下さい。（学校行事とは合宿オリエンテーション、運動会、文化祭、工場見学、国際学生交流、冬期学校、部活等々を指します。）（自由記述）
2. 前問でそのように選んだ理由・判断基準などありましたら、お書き下さい。（自由記述）
3. 次の意見について、あなたのお考えを選択肢の中から一つ選んでください。
意見：「日豪学生交流はよい経験だった。」
（1）　よく当てはまる。
（2）　どちらかと言えば当てはまる。
（3）　どちらとも言えない。
（4）　どちらかと言えば当てはまらない。
（5）　全く当てはまらない。
4. 次の意見について、あなたのお考えを選択肢の中から一つ選んでください。
意見：「日豪学生交流はその後の自分のキャリア形成・生き方・考え方に影響を与えた。」
（問3同様、5つの選択肢から選んで回答）
5. 前問の「その後の自分のキャリア形成・生き方・考え方」の部分で具体的な事例などあればお書き下さい。（自由記述）
6. 次の意見について、あなたのお考えを選択肢の中から一つ選んでください。
意見：「現在の自分の業務・研究を遂行する上で、英語力は必要である。」
（問3同様、5つの選択肢から選んで回答）
7. 次の意見について、あなたのお考えを選択肢の中から一つ選んでください。
意見：「現在の自分の業務・研究を遂行する上で、国際感覚は必要である。」
（問3同様、5つの選択肢から選んで回答）
8. 東京高専の国際交流を発展させるためにご意

見・ご提言などありましたら、自由にお書き下さい。（自由記述）

3．2　調査結果

【質問１】

本質問では回答された全ての学校行事の選択回数を数えて多い順に並べた（表３）。

表３　　　高く評価する学校行事

	行事名	選択回数
1位	国際交流	18
2位	文化祭	15
3位	冬期学校	8
	部活	8
5位	工場見学	7
	研修・研究旅行	7
7位	インターンシップ	5
	1年合宿研修	5
9位	チャレンジ・ウオーク	2
10位	ロボコン	1
	高専大会	1
	球技大会	1
	体育祭	1

【質問２】（抜粋）

ここでは国際交流を高く評価するその理由・判断基準を自由記述で回答してもらった。

やはり初めて英語圏へ海外渡航した日豪学生交流が一番印象に残り、貴重な体験だったと思うので上位にした。また文化祭は毎年実行委員会で活動していてそれもいい経験だったと思うのでそれを二位にした。残りはぱっと思い浮かべたときの印象順です。(No. 1)

何をしたのか（何を学んだのか），今でも簡単に思い出すことができる。自分の将来に影響を与えるような経験ができたと感じる。(No. 3)

国際学生交流でオーストラリアと韓国にホームステイしたことは自分の後の人生に大きな影響を与えました。(No. 6)

国際学生交流はホストファミリー、ホームステイという貴重な機会を頂けたことが理由です。チャレンジウォーク、文化祭は学年が違う多数の学生が交流できる、高専としては数少ない機会だと思います。(No. 8)

判断基準は、その経験が今後に生きるかどうかで選びました。(No. 14)

現在の学生生活・私の人生において、「大きな影響を受けた」、「役に立っている」、「楽しかった」と思う行事を選びました。(No. 16)

高専の学校行事は決して盛んではなく、大きな思い出として残っているものが少ないので、楽しかったものを記入した。やはり５年間、友達と熱くなった部活は思い出深い。(No. 17)

体験がどれほどいい思い出となっているか。その後の価値基準や進路に影響を与えるものとなっているかで選んだ。(No. 18)

【質問３】

表４　意見：「日豪学生交流はよい経験だった。」

(1) よく当てはまる。	18
(2) どちらかと言えば当てはまる。	0
(3) どちらとも言えない。	0
(4) どちらかと言えば当てはまらない。	0
(5) 全く当てはまらない。	0

【質問４】

表５　意見：「日豪学生交流はその後の自分のキャリア形成・生き方・考え方に影響を与えた。」

(1) よく当てはまる。	9
(2) どちらかと言えば当てはまる。	7
(3) どちらとも言えない。	2
(4) どちらかと言えば当てはまらない。	0
(5) 全く当てはまらない。	0

【質問５】（抜粋）

日豪学生交流が実際にどのようにその後の彼らのキャリア形成・生き方・考え方に影響を与えたと彼ら自身は認識しているのかについて自由記述で回答してもらった。

現地での生活をしていてもちろん英語能力もあったほうがいいが、それよりも意思疎通をはかりたいという意欲が一番大切だなと思い、帰ってきた後の生活（学校、寮など）に生かしたいとおもうようになったこと。(No. 1)

海外へ出向く際の恐怖感が少し和らぎました。腰が前よりは軽くなりました。自分は日本人で、日本に慣れきっていることがわかりました。(No. 2)

国外の文化などに関して，これまでよりもさらに興味・関心がもてるようになった。(No. 3)

今までは日本からの視点でしかわからなかったが、少しだけ海外からはものごとがどのように見えるのか考えるようになった。思い切って行動することの大切さ、コミュニケーションの大切さなども

学べた。自分の英語力がどれほど通用するのかわかった。まだまだだと感じたので、もっと会話できるように勉強しようと思った。(No. 4)

英語が全く通じなかったり、話している英語が全然理解できなかったわけではないが、もっと英語を勉強して、違った表現の仕方などを勉強してみたいと思った。(No. 5)

オーストラリアへ行って自分の無力さを痛感したことで、英語学習に対する意識を高めることが出来ました。また、将来は国際的な仕事をしてもっと世界中のいろんな国へ行ってみたいとも思うようになりました。そのために進学して、もっと自分の専門性を高めたいと思っています。(No. 6)

就職面接で渡豪経験をアピールできた。積極的にイベントへ参加する、英語もある程度できる、という好印象を与えることが出来たと思う。TOEICの点数が伸びた。英語に興味が出た。(No. 7)

具体的な事例は無いのですが、人生観に広がりは生まれました。英語を勉強することが義務ではなく、興味へ変わったと思います。(No. 8)

英語学習の動機付けになった。(No. 9)

日豪に参加したことで、英語を上達させたいという気持ちが高まり、TOEIC など英語学習に意欲的に取り組めました。就職する際にも渡豪経験は良い自己PRになったと思います。(No. 13)

接客の仕事の際に、外国のお客様に対しても落ちついて対応ができた。渡豪経験が自信になったと思う。(No. 14)

編入を志望する上で、研究したことを海外の学会で発表するために行きたいという目標をもてました。(No. 15)

・英語学習の重要性に気づかされた。
・世界観や視野が広がった。
・消極的な性格を見直すきっかけとなった。(No. 16)

人生観に広がりが生まれた。海外旅行が趣味になった。卒業後の進路を決めるうえで役に立った。(No. 18)

表 6 は以上の自由記述を分類・整理したものである。(複数回答あり)

表 6　具体的な事例

事例の内容	件数
・英語学習の動機付けが与えられた。	9
・人生観・世界観が豊かになった。	7
・異文化に対する関心が高まった。	4
・研究・仕事に対する意欲が向上した。	4
・就職活動で役に立った。	4
・対人コミュニケーションの意欲が高まった。	3
・性格形成上のよい影響があった。	3
・英語力が実際に向上した。	1

【質問 6】

表 7　意見：「現在の自分の業務・研究を遂行する上で、英語力は必要である。」

(1) よく当てはまる。	9
(2) どちらかと言えば当てはまる。	5
(3) どちらとも言えない。	4
(4) どちらかと言えば当てはまらない。	0
(5) 全く当てはまらない。	0

【質問 7】

表 8　意見：「現在の自分の業務・研究を遂行する上で、国際感覚は必要である。」

(1) よく当てはまる。	7
(2) どちらかと言えば当てはまる。	6
(3) どちらとも言えない。	5
(4) どちらかと言えば当てはまらない。	0
(5) 全く当てはまらない。	0

【質問 8】(抜粋)

できればオーストラリアに限らず他の国とも交流をつくっていってほしい。(No. 1)

オーストラリアや、ヘルシンキ、韓国の学生との交流も続けていただきたいです。(No. 2)

派遣学生募集の際にもう少し「日豪学生交流では何をするのか」ということが伝わるようにした方が良いのではないかと感じた。(No. 3)

より多くの学生に国際交流のことを知ってもらうためにもっと PR 活動を行うべきだと思う。(No. 5)

私が東京高専の国際交流で得たものはとても大きいです。いろいろ大変なことも多いと思いますが是非続けて欲しいと思っています。(No. 6)

私が日豪学生交流に参加することで学ぶことができた多くのことは、現在の私の人生においても大きな影響を与えています。一人でも多くの後輩たちに、私と同じ様な体験させてあげたいなと思います。これからも、活発な国際交流を続けてほし

いと思っています。(No.16)

東京高専の国際交流を発展させるために意見・提言を自由記述式に回答してもらったが、実施上の詳細について改善すべき点を含めて、様々な建設的な意見・提言が得られた。まとめると次のようになる。

(1)オーストラリア以外の国との国際交流も発展させること。
(2)交流期間が短すぎるので、もっと延ばすべき。
(3)ホームステイなどの受入プログラムの充実を図ること。
(4)交流の PR、広報を充実させること。
(5)学術交流の側面を取り入れる。
(6)事前準備・学習を充実させること。

3. 3　考察

【質問１】【質問２】

結果はある程度予想されたことだが、やはり国際交流は全ての回答者が高く評価している。回答者の全員が日豪学生交流で海外派遣を経験しているという属性を考慮すれば、また更に、これらの回答者は意識調査に積極的に協力してくれたという点も勘案すれば、当然と言えば当然の結果である。ここでは他の行事との比較ということは意味がなく、彼らが一様に国際交流を高く評価しているという点を確認するにとどめておきたい。

【質問３】

全員が「日豪学生交流はよい経験だった。」との意見に自分の考えが「よく当てはまる」と回答しているが、これは【質問１】の「在学中に経験した学校行事の中で高く評価したいもの」に全員が国際交流を挙げている結果と呼応している。

【質問４】【質問５】

【質問４】においては「日豪学生交流はその後の自分のキャリア形成・生き方・考え方に影響を与えた」かどうかを聞いている.【質問３】のような一律の回答でなく、「よく当てはまる」～「どちらかと言えば当てはまる」～「どちらとも言えない」までの範囲で多少のばらつきが見られる。【質問４】は渡豪の経験がその後の彼らの人生に何らかの影響を与えたかどうかを問うもので、本節の冒頭で触れたように国際交流の意義を問う核心的な問いかけと言える。その意味ではばらつきはあるものの、「よく当てはまる」～「どちらかと言えば当てはまる」を 18 人中 16 人が選択したことは十分に評価できるのではないかと考えられる。

【質問５】では日豪学生交流が実際にどのようにその後の彼らのキャリア形成・生き方・考え方に影響を与えたと彼ら自身は認識しているのかについて自由記述で回答してもらった。まとめの表 6 によると一番多いのが英語学習の動機付けが与えられたこと、次が人生観・世界観が豊かになったことが挙げられている。また、これら以外の事例も全て日豪学生交流が、産業・経済のグローバル化が加速する 21 世紀を見据えて、次世代を担う技術者達に国際的感覚を身に付けてもらいたいとの願いから誕生したという経緯に対応したものと評価できる。なお、英語学習の動機付けに果たす国際交流の役割については竹田（2007）に詳しい。

4. まとめ

本稿ではまず日豪学生交流の役割を再確認するために、これまでの歴史と特徴を整理した。日豪学生交流は他高専に先がけて始まった双方向の国際交流だが、最大の特徴は「互恵的で対等なパートナーシップの精神」に支えられたプログラム運営を行っているという点にある。この基本的精神から経費など様々な特徴が派生することを見てきた。

次に日豪学生交流の渡豪経験者を対象に行った意識調査の結果を検討した。調査件数は十分とは言えないが、渡豪経験者は一様に日豪学生交流を高く評価しており、英語学習の動機付けや人生観・世界観の広がりなど彼らのその後のキャリア形成に影響を与えていることが分かった。

注

（注 1）協定締結の相手校は 2000 年が Monash University, Gippsland Campus(MUGC)で, 2005 年が Central Gippsland Institute of TAFE, 及び East Gippsland Institute of TAFE である。MUGC は 2005 年の協定締結の相手校にはなっていないが、それまでの東京高専との深い関係に鑑み、今後も協力関係を維持してゆくことが両校の学長間で取り交わされた親書で述べられている。

（注 2）茨城高専と長岡高専がインターンシップを内容とする双方向の国際交流を実施している。

参考文献

〔1〕関東工学教育協会高専部会編. 2007.12「関東信越地区高専国際交流事例アンケート結果」
〔2〕竹田恒美. 平成 19 年度国立高専機構主催プロジェクト研究集会. 2007.8「国際交流による学習動機付け−−東京高専の場合」講演発表.

（平成 20 年 1 月 7 日　受理）

技術者倫理教育に関する全国高専アンケート結果の一考察
—自由記述欄回答から学べること—

川北晃司*，浅野敬一*，河村　豊*，木村　南**，庄司　良***

A Study on the Questionnaire's Results through All the Kosen-Teachers in Japan Concerning the Engineering Ethics Education
—What We Learn from Their Opinions—

Koji KAWAKITA, Keiichi ASANO, Yutaka KAWAMURA, Minami KIMURA, Ryo SHOJI

We set up a team of the engineering ethics education study in TNCT a few years ago and now we try to introduce and analyze some responses made in our recent nation-wide questionnaire. Although the number of the Kosen teachers who answered in the negative to the engineering ethics education was very small (1.5%), some questions they presented seem too important to be neglected. We hope our surveys and considerations contribute to the understanding and the teaching of engineering ethics.
(Keywords: Engineering Ethics, Business Ethics, BSE)

はじめに

著者たちは 2006 年度から，「工業高専および企業における人材育成と技術者倫理教育の現状と課題」との研究課題名で科研費補助金(基盤研究(C))交付を受け，全国の全高専教員アンケート（「技術者倫理教育実態調査アンケート」）を 2007 年 1 月〜3 月に実施した．その結果，2105 通の回答が得られ，回収率は約 46％であった．またアンケート末尾の自由記述欄では，593 名もの高専教員から何らかの意見表明を頂いた．この紙面を借りて，関係各位に厚く御礼申し上げたい．

大学教員を対象とした技術者倫理アンケートとしては，東工大教員によるものがすでにある．調麻佐志氏は 2003 年 11〜12 月に，国内の国公私立大学工学部の 177 学科（学科名に土木ないしは電子が含まれるすべての学科）を対象に，カリキュラム責任者ならびに授業担当者各 1 名に対してアンケートを配布し，カリキュラム責任者 57 名，授業担当者 33 名から回答を得ている (1)．

それに対して，われわれのアンケート調査は，全高専の全専任教員が対象であり，配布数にして 10 倍以上，回収数では 20 倍以上である点，そして自由記述の存在に特徴がある．

さて，その自由記述欄には，今回のアンケート実施に対する，以下のような疑問表明もあった．すなわち，多くの教員は技術者倫理を教えていないので，このアンケートは意味がないのではないか．アンケートの内容にしても，学校に対して行えば良いことがほとんどではないか．2名の方から以上のような指摘を受けている．

たしかに，アンケートでは各高専における技術者倫理科目の開講（または計画）概要，開講（計画）要因などについても細かに問うた．したがって，多くの回答者は「調べ学習」を強いられたことと思われる．その点，われわれとしては恐縮している．

しかし実のところ，それは今回のアンケート企画の一環でもあった．すなわち，一部の担当者ではなく全ての高専教員間に，各校内の技術者倫理教育，ひいては技術者倫理一般に関する理解を広める，という副次的目標もわれわれには存したのである．しかし，今回のアンケート結果をオーソラ

＊一般教科（人文社会）　＊＊機械工学科　＊＊＊物質工学科

イズの根拠として画一的な教育内容を押しつけられては迷惑である，との厳しい意見も賜った．

著者たちは，東京高専で専攻科 1 年次必修としての技術者倫理授業をオムニバス形式で実施しているが，画一的という点について言えば，じつは技術者倫理教育には今以上に「画一性」があるべきだと考えている．ただし，ミニマムな知識水準や体系性という意味での画一性，統一性である．教員個人の利害や人生観，政治観に左右されない，一定の教育水準が必要と考えるからである．そこでせめて，例えば技術士第一次試験でおもに技術者の倫理を問うている，「適性科目」試験問題をこなせる程度の学力を学生に身につけさせたい，と考えてきた．そして実際に，そのような演習を技術者倫理授業において取り入れてきたのである．

なるほど今回得られたデータとしては，「技術者倫理科目の必要性は感じられない」という選択肢を選んだ回答者は，計 32 名（回答者全体の 1.5%）という，驚くほど少数にとどまった．だがわれわれはこの「少数意見」を重く見ている．限られた資源の中で相当な時間と労力を投入することの意味を真摯に検討すべきだからである．

そうした検討を進めるために，以下に数個の問いを設定した．これらはすべて，アンケートの自由記述欄に記された諸意見から再構成した問いである．

第 1 節
人間としての倫理があれば技術者倫理科目は不要か

アンケート回答中には以下のような意見があった．「技術者は人間である．人間の倫理があればとくに技術者倫理という必要はない．要はウソをつかない人間であればよいことである」．「倫理はどのような活動をするときにも常に意識しなければならないことであり，例えば自分の授業では，倫理を折にふれて説いている．技術者倫理も，技術者養成の全ての場面で教員がその背中で範を示すべきであり，それを教える授業を特設するようなものではない」．「技術者の倫理より，普通の倫理教育が必要だ．実際，企業の事故などで問題があった場合，技術者倫理を学んでいなくてもほとんど普通の感覚で分かる」．

これらの意見に答えるために，まず「技術者倫理」を定義しよう．JABEE の認定基準では，「技術者倫理，すなわち，技術と自然や社会との係わり合いと技術者の社会的な責任の理解」とある．技術者倫理の教科書でも，同様の解釈が取られている．すなわち，技術者倫理教育の目標は，たんに技術者がズルをしたり不注意なことを行った結果，大事故や不祥事を起こして周辺に迷惑をかけたり会社がつぶれるのを避ける，ということにとどまるのものではない．また，グローバル化の進展の中で，国際的に通用する技術者を育てる，ということだけでもない．技術を社会の中に位置づけて考えることができ，見えにくい人たちに対する見えにくい影響までも考慮に入れることのできるような倫理的想像力を養うこと，そしてそれを通じて，科学技術の本来の目標を見失わずに人類の幸せな生存に貢献できる技術者を育てることである [2]．

こうして見ると，「技術者倫理」とはいわゆる「科学技術倫理」もしくは「工学倫理」の応用編と言っても過言ではないことがわかる．したがって，「技術者倫理」を単に，不正，改ざん，隠蔽を行わないモラルや道徳心を養う，という狭い意味にとるのは，誤解と言わざるをえない．「技術者倫理」という名称自体に欠点があるのだろう．

たとえば慶応大学では 2003 年春学期以来，技術者倫理を機械工学科 4 年次必修にしたが，正式科目名称としては「創造と倫理」が謳われている．技術者倫理問題においては，単純なモラル・道徳の問題から，設計ミスに関する問題，新たな技術に関わる問題，科学技術と様々な価値とのバランスに関する問題まで，幅広い問題がシームレスにつながっている．このように，複合的なシステムである世界の倫理構造を新たに構築することをも目指すのだという意気込みが，「創造と倫理」という科目名には込められているという．答えの定まらない問題に対して，幅広い視点からバランスのよい解を創造的にみつける力を養うことが，「創造と倫理」（すなわち技術者倫理）の目指すところであると言われている．[3]

われわれはここで，技術者倫理のもつ，「予防倫理」，「責任倫理」の側面を強調したい．C.ハリスの言うように，技術者倫理は「予防医学」(preventive medicine) に類比的である．[4] また，経験豊富な技術者であり高名な教育者でもある中村収三によれば，技術者を目指す学生たちに，「技術者は社会

に対し特別の責任を負う職業である」という専門家意識を持たせることが大切である．「特別の責任」とは，「技術は危険なものを安全に利用する智恵である」ということと，「技術が高度化すればするほど，一般大衆には理解し難くなる」ことからくる責任であるといわれる．技術の力を理解し，専門家としての誇りを感じるようになれば，倫理的な自覚も自ずと身についてくる，と中村は言うのである[5]．

そうした倫理的な自覚のもとで，専門技術者としての倫理的責任を果たすためには，それにふさわしい知識や能力が必要となる．専門家としての自己の作為ないし不作為の可能的社会的帰結を，前もって，かつ理性的に考え，何が倫理的か意思決定する必要がある．

しかるに，「ウソをつかない」，「各教員が自己流で範を示す」，「普通の感覚で問題に対処する」といった処方箋は，予防倫理ないし責任倫理としての技術者倫理にとっては十分な方法論とは見なしがたい．したがって「人間としての倫理があれば技術者倫理授業は不要か」との当初の問いには，われわれの直観的な倫理処理能力の高さに非懐疑的であってよい人だけが，「然り」と自信をもって答えられるだろう．しかし，良識に関する公衆の自負心を著書『方法序説』(1637年)の冒頭で指摘しつつ，健全な精神をもっているだけでは十分ではなく，良識を正しく導くために従うべき方法が大切だと強調した，あのデカルト（1596～1650）の考え方に今でもわれわれは学ぶことができるだろう．科学技術の進歩と人間理性の進歩は別問題だからである．

なお，「ウソをつかない」という準則は，とりわけ時宜に叶った倫理規範であることは間違いない．また，「技術者養成の全ての場面で教員がその背中で範を示す」こと自体は理想そのものである．日本における技術者倫理教育のメッカである金沢工業大学はすでに，基軸となる講義のほかに「マイクロ・インサージョン」(M.デイヴィス)を進め，可能な限り専門科目でも倫理的問題を扱いつつあることで知られている．

第2節

根本的なモラルや躾が不十分であれば技術者倫理教育は無駄か

その一方で，アンケート回答者からは次のような意見も寄せられた．「学生自身の根本的な価値観（道徳観）に問題があれば，模範解答のような話をいくらしたところで，意味はほとんどないと思う」．「小中学生にモラル教育をしっかり行うことがまず，最初にすべきことではないか．ここが不十分であれば，技術者倫理教育を行っても効果は期待できないと考える」．「ずっと小さい頃に善悪についてのしっかりとした躾がされていなければ（下地がなければ）その後，どのような倫理教育をしてもあまり効果は期待できないのかもしれない．結局のところ，是々非々についての躾に行き着くのではなかろうか」．

こうした，いわば「技術者倫理教育手遅れ論」に対しては，ある技術者倫理教科書がS.フローマン(Samuel Florman)の見解を援用して反論しているのが参考になるだろう．フローマンは『技術業の実存的快楽』（1976年）等の著作で知られる米国のシヴィル・エンジニアであるが，彼は，「道徳的人格は家庭，教会，地域社会が育むものであって，大学の教室やプロの集うシンポジウムではもはや修正不可能であるから，倫理教育は無駄」とする説に同意しない．というのも，大部分の悪事は，悪党(villains)というよりむしろ普通人(decent human beings)の手になるもので，普通人が，絶望や，金銭的弱みや，慢心や，無知などがもとで，悪事に手を染めてしまう例が多いからである．善くあろうとする決心は幼少時に形成される傾向があるにしても，何が善であるか，何が少なくとも受容可能であるかは，われわれが一生を通じて取り組む問題である[6]．

人格的修正が無理だから教育・学習は無駄，といって済ませられる問題ではない．普通の人向けのプラグマティックな教育を模索するしかないであろう．まさにその点で，世界中の教育者が苦労しており，イリノイ工科大学で長年，技術者倫理教育を担当してきたM.デイヴィスもその例外ではない．

彼によれば，道徳教育に関するこれまでの諸文献からは，よいニュースとよくないニュースの双方が学べるという．前者は，道徳的発達は子ども時代で終わりではないという事実である．われわれは大人になっても道徳的判断力が発達し続け得るし，有意な道徳的情報を拾いつづけていく．倫理はたしかに教えられ得るのである．そして後者

すなわち悪いニュースは，倫理をいかにして教えればよいかをわれわれはほとんど知らない，ということである．とりわけ，行為にいかにして影響及ぼすかについてわれわれは無知である．

しかし以下は，デイヴィスによるこれまでの教育経験からする貴重な助言例である．

- 学生の道徳判断力を改善するためには，諸ケースについて議論させ，対立意見を明らかにさせ，それぞれに評価を下すよう指導せよ．様々なケースメソッドは一般に，倫理の実際の文脈に関する学生のセンスを鍛えることができる．実践において良き倫理的意思決定とは，「物事がいかにあるべきか」だけでなく「われわれがここからそこに行き着けるか」どうかも，考慮するものである．学生は事例を通じて，教室内のクリーンな抽象と，教室外の生活の不規則な賑わいを，あわせて見ることが容易になる．
- 倫理的行為が可能だと知らせるサクセス・ストーリーも紹介せよ．シニシズムを減らせるし，いかにして倫理的にふるまい，しかも生き延びるか，参考になる．「倫理の技法」（“art of ethics”）に対する洞察にもなる．たとえば，あなたが倫理的意図を実現したいのなら，日ごろからのあなた自身の正確さ(accuracy)の評判を高めよ．あなたが反対すべきと考える提案に対する対案を持て．上司と対決する前に，仲間と語らい協力せよ，等々．これらはそうした技法の一部である．
- テクニカルな問題と倫理問題との類似性を強調せよ．どちらにおいても，われわれは問題を定義し，事実を収集し，選択肢を開発し，資源の目録を作り，コストを熟考し，等々せねばならない．(7)

当初の問い「根本的なモラルや躾が不十分であれば技術者倫理教育は無駄か」に答えよう．技術者倫理教育は無駄ではないと思いたいが，それは教育方法によるだろう．技術者倫理教育は悪人ではなく普通人をその対象に想定しており，倫理的には普通の人が，専門的技術者ゆえの特別な社会的責任を普通に果たしてもらえるよう教育できれば，無駄ではない．「根本的なモラルや躾が不十分」な人については，「持続可能」な技術者や従業員になりたいという目的意識がもし確かであれば，その手段として，(コンプライアンスやCSRなどが盛んに説かれているように）モラルや作法がますます必要視されるのが現代であり，未来なのだという説得方法がありうるだろう．

第3節
技術者倫理教育の効果の評価はどうあるべきか

それでは，技術者倫理教育の効果の評価はどうあるべきだろうか．アンケートでは3人の方からそれぞれ以下のような意見が寄せられた．「不祥事を起こした人が学生のときに技術者倫理教育を受けたか調査し，不祥事の数が今後減少しなければ，学校における技術者倫理教育は効果がないと見なせるので，廃止するのがよい」．「倫理教育を行うことで，削られる分野があると思うのでどの分野を削るのか，判断を待ちたい．何かを付け加えるだけのカリキュラムでは魅力がない」．「犯罪をおかすなという授業をやるという発想はナンセンスと思える．チャンと摘発するための方策を進めるべきで，犯罪を技術者倫理という別の言葉で研究するグループを作るべきとは思えない」．

なるほど，技術者倫理は教養教育をこえた職業教育であり，職場で効果がなければナンセンスと言われて仕方がないだろう．ただし，何らかの効果がありさえすればよいというのでもない．経済学で言うところの「機会費用」を忘れてはいけない．しかし，犯罪をおかさないのは，そもそも最低限の倫理でしかない．それを技術者倫理という言葉で研究したり教育したりしていてよいのか．そのような指摘を受けたものとして理解したい．

技術者倫理の定義と目標をもう一度，確認しておこう．技術が自然と社会に及ぼす影響を知り，技術者の社会的責任を理解し，人類の幸せな生存に貢献できる技術者を育てることが技術者倫理であった．したがって，犯罪をおかすなという消極的メッセージに終始するような授業は，われわれはしてこなかったし，又すべきでもない．M.デイヴィスの言うように，むしろ技術者倫理は学生に四つのベネフィットを与えたいのである．すなわち，1）倫理的感受性（すなわち倫理的問題を同定する能力）の向上，2）倫理的知識（たとえば倫理コードや倫理サービスや諸事例などに関する知識）の向上，3）倫理的判断力（善い選択を善い理

由で行う能力）の向上，そして 4）倫理的意思力（そうしたいと欲するときに倫理的に行為する能力）の向上である．(8)

そうした能力をいかに測定し，学習成果をどう評価すべきなのか．これについてもわれわれは手探り状態にあるが，ピッツバーグ大学 L. シューマンらの提言を参考にできるだろう．彼らは5つの項目ないし段階について，各々4 レベルでの評価を考えている．5 項目とその理想的なレベルは以下の如くである． 1）「ジレンマの認識」．鍵となるジレンマを同定し適切に表現できるのが理想的なレベル．2)「情報」．最低レベルでは，有意な情報を無視したり，偽の情報を利用したりする．最高レベルでは，自分自身の経験に基づく情報を適宜導入しながら，諸仮定を置き正当化する．3)「分析」．理想的には，十全な分析は類似の諸事例を枚挙し，各選択肢のリスク要素を勘案する．4）「パースペクティヴ(公正さ)」．理想的には，状況をグローバルに視野に入れる．焦点となる個人の他に，雇用者，職業団体，一般社会の視点も考慮できる．5)「解決策」．たとえ的外れであってもルールを解決策として引用するのがベースライン．理想的には，潜在的リスクと公共的安全を考慮するとともに，いわゆる創造的中道(a creative middle ground)すなわち「双方が利益を得る」状況（“win-win” situation)となる解決策を提案する．(9)

技術者倫理の受講前と受講後に，学生に然るべき試験を実施し，こうした項目ごとに定量評価して，最終的に総合評価を下すことで，教育効果の評価とする方法がこうして考えられている．そして先進的な教育諸事例において，そうした効果が実際報告されてきているわけであるが，卒業後に及ぼす効果までは，未だ不明といわざるを得ないだろう．

それでは，「不祥事を起こした人が学生のときに技術者倫理教育を受けたか調査し，不祥事の数が今後減少しなければ，学校における技術者倫理教育は効果がないと見なせる」だろうか．いや，たとえば，今後毎年同数の不祥事が起き続け，そのすべてが技術者倫理受講経験者によると仮定した場合でも，それだけでもし，技術者倫理教育が無効と結論づけるとしたら，それはじつは非論理的と言わざるをえない．倫理教育を受けたにもかかわらず不祥事を起こしたケースだけではなく，倫理教育を受けたゆえに不祥事から免れたケースも計上(調査は難しいだろうが)すべきだからである(論理的には，倫理教育を受けたゆえに不祥事を起こしたケースすら考えられる)．すでに見たように技術者倫理教育は，不祥事を起こさないだけでなく，それらを起こさせないこと，そして，社会や世界に貢献することを促すのであるから，その効果も想定すべきだろう．

しかしいずれにせよ，倫理教育に劇的な効果を期待するのは間違っているだろう．というのも，それは，家庭や周囲による感化力を過小評価することだからであり，また，学校の倫理授業担当教員は「更生プログラム」に関する専門的教育など受けていないからである．

そもそも「更生プログラム」自身，それが洗脳でない以上，その効果はてきめんとはいかないだろう．定評ある倫理学教科書の著者である J. レイチェルズによれば，更正のプログラムは，あらゆる努力が払われているにもかかわらず，あまりうまくいっているとは言えない．例えばカリフォルニアでは，他のどこより多くのことが犯罪者の「更正」のために行われてきた．だが，常習犯の比率は他のほとんどの州より高いのである．(10)

しかしここから推論可能な命題は，更生プログラムのひょっとして改善の必要性ではあったとしても，更生プログラム廃止の妥当性ではないだろう．それは技術者倫理教育についても同様のはずである．いや，そもそも，技術者倫理教育には一般に，必要な努力すら払われていないのではなかろうか．

じつのところ，大企業においても技術者倫理の認知度は一般には驚くほど低い．本校の浅野敬一が企業アンケートに向けて下調べを行った，それが感触である．企業倫理，経営者倫理がもっと充実しないと，技術者倫理も唱えづらいだろう．アンケート回答中にもそうした指摘がいくつかあった．本質を衝いた指摘である．専門技術者は自ら所属する学協会の倫理綱領に守られる形で，企業・経営者に倫理的に対峙できるし，必要に応じて対峙すべきであると技術者倫理は教えている．しかし日本において学協会や倫理コードは相対的

に非力だとすれば，これらの認知度を高める努力の大切さも指摘できよう．こうして次の問いが自然と浮かび上がってくるだろう．

第4節
技術者倫理よりも企業倫理のほうが問題ではないか

1.　問いの解釈

「技術者倫理よりも企業倫理のほうが問題ではないか」，「技術者倫理教育にはマイナスの効果もあるのではないか」との意見が見られた．この二つの問いに共通する要素は，技術者個人の倫理観や使命感と企業の論理が対立した場合あるいは対立している現状への危惧と考えられる．しかしながら，この種の危惧や懸念は，筆者を含め，技術者倫理教育に従事する全ての者が抱くもの，否むしろ抱くべきものであろう．また，状況に差はあるが，直面する倫理的ジレンマを現実的に乗り切ることは，技術者以外の専門職倫理においても常に生じる問題といえる．

本節は，東京高専の実践例を交えながら，技術者倫理教育の領域と倫理的ジレンマの現実的解決に向けた手法を考察した上で，われわれの考える教育機関としての次なる責務を提示し，読者の御批判を待ちたい．

2.　技術者倫理教育における企業倫理の扱い

技術者は，産業革命と以後の科学技術の本格的利用により生まれた専門職集団であり，特に，19世紀後半，米国で大量生産システムを備えた大企業が誕生すると，その活動領域を一気に拡大させた．経験のみに依拠する職人は大企業における生産・開発活動の管理に対応できず，科学的知識を基盤とする技術者が取って代わったのである．このように，技術者は，企業との密接な関係により確立した職業で，本来的に管理業務も担う者である．「理系」と「文系」，「技術屋」と「事務屋」という二項対立的な俗諺を排すれば，技術者倫理と企業倫理には重なり合う部分が多く，技術者倫理教育も企業倫理の問題を含むといえる．

東京高専でも，専攻科「技術者倫理」科目全15回のうち4回前後で企業倫理を取り上げるほか，経営系の他科目でも類似の内容を扱っている．これにより，技術者以外の者への説得力を強化するとともに，就職先となる企業に対する観察力を高めることが期待できる．また，技術者をはじめとする労働力が減少する中では，不祥事を繰り返す企業に対する人材供給面からの圧力にもなる．

3.　倫理的ジレンマに対する実務的解決法の重要性

技術者倫理は一個人としての倫理観ではなく，少なくとも平均的に善良な市民であることを前提とした専門職倫理である．技術者倫理の内容は，個人の行動を律するのみならず，実務の円滑で健全な遂行に寄与しなければ意味がない．一方で，他の市民や職業人と同じく，技術者も多くのジレンマに直面するが，本節の論旨に鑑みれば，それは一技術者と所属する企業との間で生じるものである．そこで，こうした倫理的ジレンマを実務的に解決する能力が重要であり，技術者倫理教育の対象の一つでもある．

東京高専の場合は，結論を伏せた状態で倫理的ジレンマを含む仮想事例を提供し，グループディスカッションを通じて問題解決を探る作業を複数回導入している．その際には，問題の解決やより妥当な状態に到達するために，関連科目で習得した戦略立案の基本的手法も用いた緻密な思考手順及び経営や雇用の問題にも配慮した説明が要求される．もちろん，内部告発等も否定はしないが，あくまでも最終手段と位置づけられる．

つまり，技術者倫理教育は，問題が発生しない組織や事業環境を構築する，問題発生時にも組織内で迅速かつ有効な手を尽くせる，問題を立場の異なる者にも説得力をもって説明できる，こうした能力育成の視点を欠いては成立し得ないのではないか．アンケートでも，「技術者倫理が守られる（守れる）環境づくりに力を発揮する技術者を育てる観点が必要」あるいは「社会的圧力，過大なノルマ，労務管理，低報酬，長時間労働等の社会的問題を社会人となって解決しながら倫理を貫いていける人材となれる教育」とのコメントを頂戴した．実現への途は容易ではないが，筆者も全く同意見である．

4.　教育機関としての発信の重要性

日本における技術者倫理教育の多くは，東京高専を含め，ある種の「外圧」で始まったことは否定できず，今回のアンケートでも，「技術者倫理」科目開講の要因として「JABEE 等基準達成」を挙げた教員は最多の72%であった．しかし，同時に，実に70%の教員が「社会の要請」を開講の要因と

した．最初は「外圧」だったが社会的必要性を認識した，あるいは既に必要性は認識しており「外圧」を契機に実行に移った，これらが実情といえよう．もはや,「外圧」を理由に技術者倫理教育を否定する時期ではない．

むしろ，教育機関としての次の責務は，企業や社会に向けて技術者倫理教育の意義を発信することではないか．われわれは技術者倫理教育に関する企業側の要求や期待を探る，さらなるアンケートを計画中だが，予備的なヒアリング調査では，技術者倫理そのものへの認識の薄さもうかがえる．種々の事故や不祥事から企業倫理への認識は高まりつつあるが，それらを技術者の立場から検証するには至っていないとも考えられる．

昨今の事故や不祥事をみれば，企業倫理こそが問題との論に首肯し得る．しかし，技術者と企業及び技術者倫理と企業倫理の関係を勘案すれば，このことは,技術者倫理教育を遅らせるではなく，推進すべき根拠である．そのうえで，教育機関の取組みを社会に発信し，技術者の地位向上や企業倫理確立への貢献を検討すべき段階といえる．

第5節
技術者倫理教育以前に，教育者の道徳心を問うべきではないか

次に，教育機関において「技術者倫理科目」を設置し，講義を実施する段階で発生する問題を取り上げてみよう．今回のアンケート集計から，科目名を問わず技術者倫理に関わる科目を自校で開講しているとの答えが，８割を越えていた．高専のきわめて多くの教員が，技術者倫理科目あるいはその関連科目が所属校において開講されていると認識していると考えて良いだろう．これを前提として，以下のような意見がアンケート自由記述に示されたことを検討してみたい．まず，「倫理教育以前に，教育者の倫理観，道徳心に疑問を感じる」，「倫理を語る人間にちゃんとした倫理観があるのか」，「学生に対する教育だけでなく，教職員の意識を変えるような活動も必要と思われる」，「学校にいる教員の社会人としての倫理観が最も重要と考えます．授業以外でも学生は教員の行動を常に注目しています」などである．

これらはつまり,教わる側の学生の問題以前に，教える側に立つ教職員の問題として技術者倫理教育を考えよ，との意見であると捉えることができる．教員側に技術者倫理を教えるだけの倫理観，道徳心があるのか，という厳しい意見でもある．ただし，この意見には，直接，講義を担当する教員の倫理観だけを問題とせず，「授業以外でも」学生は教職員の振る舞いを注目しているのだから，講義中に伝えた事が，教育機関（という小さな社会）の中で，日ごろからどう実践されているかも，無関係ではないとの重要な指摘が含まれている．

「技術者倫理教育以前に，教育者の道徳心を問うべき」との指摘は，直接的にはやはり，当該科目の講義を担当する教員個人の資質が問題とされているのだろうが，「理想的な倫理観をもっていないと，技術者倫理教育を行えない」とまで，もし言うとすれば，それはやや極端な主張である．すでに第１節においても論じたように，技術者倫理科目の目標は，多様な価値観の中から理想的な倫理観を切り出して，それを教える，ということには設定されていない．むしろ，専門職としての技術者が直面するだろう問題群の中で，解決するための方法，手法などを学ぶことである．したがって，そのような方法を伝授し得る教員としての資質が，本来は問われるべきだろう．その際には，学生に接している時にだけ，理想的な倫理観を持っているように振る舞ったり，にわか仕込みで正義感を主張したりすることは，むしろ逆効果であって，現状から出発する以外に選択肢はないと考える．

とはいえむろん，倫理的な価値判断に意味を見出そうとしない教員が技術者倫理科目を担当することを肯定するものではない．むしろ，現代社会において，技術者倫理に関わる問題群が存在していることを理解していること等が，担当教員にとって何より必要な「資質」だと，われわれとしては言いたいのである．

技術者倫理科目をさらに実効ある形で進めるための条件を考えてみると，本節で問題とした「教育者としての道徳心を問う」という課題は，当該科目の現状についての率直な不安感あるいは不信感の現れといえるのではないか．こうした不安感，不信感の解消こそが，技術者倫理科目を今後とも担当して行こうとする教員グループに科せられた

課題となる．これに向けての２つの提言を行うことで，この節のまとめとしたい．

第１は，カリキュラム内容のいっそうの体系化である．今回のアンケートには，「授業計画が立てにくい」，「シラバス作成困難」，「教材不足」，「今までの所，それにふさわしいだけの教育体系・内容が整っていないように思う」，「教育内容が体系化されていない」という複数人からの指摘があった．どのようなカリキュラムが求められているかについては，第３節において指摘したようないくつかの「能力」について，それを向上させるための工夫である．

第２は，実務経験を持つ教員に技術者倫理にもっと協力いただく，という提言である．アンケートでも「[現状では]非常に学問的かつ非実用的な教育しかなされない傾向がある」，「現場の経験を基礎に持つものが担当するのが本来」，「哲学等を専門とされている教員ではなく，社会で働いた教員の経験に基づく話の方がよい」などの意見がわれわれの目を引いた．「技術者倫理は一部の教員に押しつけられている状態である」，「本来ならあらゆる教員に知ってほしい内容がたくさんある」，「学生に教える前に教員に教える機会が必要ではないだろうか」，「全教員に共通した倫理教育に関する認識が必要と思います」，「全科目の全教員が「技術者倫理」を学生に教授すべき」という意見もあった．

ただでさえ多忙な状況にある教員全員に，技術者倫理の受講や担当を求める提案をすれば，厳しい拒絶にあうのは自明である．同じほどには自明ではないがしかし，この種の教育課程を実効あるものにするのは，担当する特定の教員の道徳心の高さよりも，間接的にでも学生から日々ウォッチされている，むしろ今は直接には科目を担当していない「多数教員の道徳心」の有りようの方だとは言えないだろうか．

ただし，教科担当者の資質として自他に問うべきは「高い道徳心」そのものではなく，「道徳心・倫理観を求め，議論しようとする姿勢」をもっているかどうか等である．さもないと，教科の引き受け手が誰もいなくなるかもしれない．その事態だけは是非避けたい．それがわれわれの判断である．

ところで，教員の道徳心・倫理観を動員しても（むしろそれゆえに）答えにくい問題もある．その一つは次のような問題である．

第６節
合法だが反倫理的な可能性のある技術についてどう教えるか

今回のアンケートの中に，「ここでのアンケートに例示されたものの以外に，人類への悪影響（兵器、自然破壊）を考慮した広い視野の倫理観も必要である」という指摘があった．

米国ではマシンガンロボットが開発され，実戦配備されているといわれている．ある種のロボット技術が耐テロ対策といえば合法化され，テロリストに利用されれば反倫理的な危険な技術と見なされる．技術の善悪について「技術者は単に技術を持っているからではなく，持っている技術を正しく使うことができる人のことを言うと思う．技術自身には善も悪もないと考える．技術を使う人によって悪にも善にも利用されるのだと考える．だからこそ，技術者が持つべき倫理を学習させることには大きな意義があると思います」というように技術には善も悪もないという立場に立って，技術を使う人の倫理が重要であるという考えもアンケートに見られた．

「マイナスイオン発生機能付きエアコン，送風機などの問題がなぜ起こり得たのか研究していただきたい．（中略）マイナスイオン問題に見られる家電メーカーの良識の欠如は『売れればなんでもよい』という資本原理思想の現れだと思います．同様の問題は“ニセ科学問題”として最近認知されるようになりました．（後略）」というように，当時は健康効果があるとされたマイナスイオンを発生させる家電は合法的であったが，健康効果が無いことがわかっていて宣伝していたならば反倫理的となる事例もある．

そしてあるアンケート回答者によれば，ナノカーボンに関する研究を行っているが「それが人体に与える影響について考慮している．この点については，研究者仲間，研究会，学会等でも取り上げられ，医学分野の研究者も交えて試験調査が行われている．今のところ問題なしとなっているが，今後もさらなる調査の必要性を考えて感じている．こうした状況については，学生にも話し，実験の際には万一の場合を考え，細心の注意を払っている」

とのことである．

しかし「例えばこうした問題にどう取り組むのか　→法的にＯＫ（合法）だが，技術的にはパクリ同然の技術．目下，注目されていない，凶悪な応用法が予想させる技術」これらについてどう教えるか，という質問があった．

じつは数年前の進路指導の際にこんなことがあった．ある学生から，「兵器の生産も行っている企業の就職試験のときに『兵器の開発をやれといわれたらどうしますか』という質問にはどう答えたらよいのでしょうか」との相談を受けた．

そのときは，「兵器は人や物を破壊することが目的だからそのようなものは開発したくない．侵略してくる敵や兵器から防ぐのは「防衛」だと思います」と，詭弁を弄する回答をした．もちろん学生には詭弁であることを説明した．

これは技術者倫理の問題をこえた，もっと大きな倫理の問題として考えねばならないだろう．さもないと，技術者倫理でも，どう教えてよいのかわからない．今のところ，そこを考え続けることと，そのことを学生に伝えることで，学生自身が考えるきっかけになればと願っている．実際，本校の４年生対象「工学倫理」授業では，通常技術が軍事技術に組み込まれていく問題を考えさせている．反応は一様ではないが，何か心に引っかかる問題であると理解してもらえれば，良いように考えている．教師が迷っている姿を示せるならば，それも大切だと思うからである．

それでは最後に，リスクのトレードオフ関係，およびわれわれのメディア・リテラシーを考えさせられる興味深い一例を紹介しよう．

第７節
BSE 問題と技術者倫理は関連があるか

「食品価格を押し下げる競争圧力が BSE 問題の一因」と考え，「BSE 問題と技術者倫理は関連があるのか」という質問がアンケート自由記述欄に寄せられた．

安い牛肉が追求される結果，狂牛病リスクの高い骨肉粉を飼料として用いる．さらに，全頭検査はコストーベネフィットとしてあわないからやめる．その結果，未検査で危険といわれる部位を含んだ牛肉がアメリカから日本に輸入され，それが一時期マスコミに取り上げられ，大問題に祭り上げられた事件が BSE 問題である．(12)

BSE 問題があれほど大きな騒ぎになったのは，「食品価格を押し下げる競争圧力」の他に，じつはマスコミに原因がある．マスコミは，時には「善意」からの「誤報」をして世間を惑わすことがある．2002 年北海道で起きた狂牛病騒ぎでは死者が 2 名でた．死者といっても，狂牛病に感染して死んだのではない．一人は釧路保健所の獣医師であった．彼女は狂牛病の牛を見逃して責任を感じて自殺した．もう一人は食品加工会社の社長で，狂牛病のあおりで経営難となり自殺した．本来，日本の酪農規模からして死者が出るはずもない狂牛病である．マスコミの力は絶大である．食品業界で技術者倫理が求められている理由の一つに，このマスコミの力があげられよう．(13)

BSE 問題に限らず，食品製造業では安全性をめぐる問題事例に事欠かない．不二家，赤福などの賞味期限詐称，産地偽造など枚挙に暇がない．しかし，技術者倫理がヒトに対するリスク軽減のために絶対必要となるような，例えば建物の耐震強度設計偽装の防止とか，自動車車軸の誤設計の隠蔽防止とかの例とは異なり，衛生管理がほぼ確立された本邦の食品製造業においては，技術者倫理がヒトの命を守るほど大げさなものではない場面が多い．多くの食品は，大幅に賞味期限が過ぎていない限り食中毒もなかろうし，少々賞味期限を過ぎたからといって捨てるのはもったいない，と考える人の方が普通の感覚かもしれない．(14)

しかし，特に食品に対しては，市民，特に主婦はひときわ神経質な傾向が指摘される．家族に「毒」を食べさせたくはない．主婦のこの感覚は，家庭で安全な食を提供する立場から来る真っ当なものである．そしてその彼女も，財布と相談で，多くがスーパーでお刺身の見切り品を品定めしてくれているはずである．

値段と信頼ないしは安心のトレードオフ，そしてさまざまなリスク間でのトレードオフの現状をしっかり教えるべき技術者倫理．そして市民も技術者も，ともにメディア・リテラシーとリスク・コミュニケーションの能力を高めるべきだと説くべき技術者倫理．食品の安全性問題，BSE 問題は，われわれに技術者倫理が何たるべきかを考えさせる格好の材料であるといえよう．

おわりに

以上，われわれ東京高専技術者倫理教育研究チ

ームのメンバーが分担して，アンケート意見を紹介しながら考察を行ってきた．われわれ自身が折にふれ感ずることもあった諸疑問点が，今回のアンケートから，他所でもやはり抱かれているという事実について，そしてそれゆえ，それらについて考察を深めることの必要性について，まずわれわれは学ぶことができた．そしてそれら疑問になんとか答えようとするなかで，われわれ自身の立場を見つめなおすことができた．アンケート関係各位にあらためて感謝申し上げたい．そしてわれわれの考察が読者諸賢の技術者倫理に関する理解に資することがあれば，まことにうれしい限りである．

注

(1) 東京工業大学大学院理工学研究科　調麻佐志「技術者倫理教育に関するアンケート調査報告」(平成 14/15 年度科学技術振興調整費調査研究報告書『科学技術倫理教育システムの調査研究』研究代表者：新田孝彦　中核機関：北海道大学　平成 16 年 3 月，pp. 256-258)

(2) 黒田光太郎・戸田山和久・伊勢田哲治編『誇り高い技術者になろう』名古屋大学出版会, 2004 年，V

(3) 前野隆司「慶應義塾大学機械工学科における技術者倫理教育への取り組み」(平成 19 年度　『工学・工業教育研究講演会　講演論文集』(社) 日本工学教育協会，2007，p. 202)

(4) C. E. Harris et al., *Engineering Ethics: Concepts and Cases*, 3rd ed., Thomson Wadsworth, 2005, pp. 16-18

(5) 大貫徹・坂下浩司・瀬口昌久編『工学倫理の条件』晃洋書房，2002 年 pp. 103-104

(6) C. E. Harris et al., *op. cit.*, p. 16

(7) Michael Davis, *Ethics and the university*, Routledge, 1999, pp. 129-130, 156, 174

(8) *Ibid.*, p. 130

(9) 「Ethics Crossroads の形成と科学技術倫理の構築」第１回国際ワークショップ，金沢工業大学科学技術応用倫理研究所，2005 年 3 月

(10) ジェームズ・レイチェルズ『現実をみつめる道徳哲学』古牧徳生．次田憲和訳，晃洋書房，2004 年, p. 138

(11) 本節の内容の多くは，次でより詳細に述べられている．浅野敬一「日本における技術者倫理教育の射程―技術者と組織の関係を中心に―」『岐路に立つ人文科学』(大阪大学 21 世紀 COE「インターフェイスの人文学」報告書) 2003 年, pp. 63-77

(12) 中西準子『環境リスク学　不安の海の羅針盤』日本評論社，2004 年，２部４章

(13) BSE の起源は謎のままであるが，英国で拡大の直接の原因は，(日本では牛についてはほとんどなかった)「動物の身体のリサイクル」である．BSE をはじめとするプリオン病は，あらゆる殺菌処理を免れる病原体で，潜伏期間も異常に長いと見られるだけに，不気味で安心できないのは事実である．しかし，1980 年代に BSE プリオンに汚染した牛肉に暴露された英国人の数は少なく見積もっても 500 万人は下らないと考えられるのに対して，2005 年までの BSE の伝播が原因とされる変異型クロイツフェルトーヤコブ病 (vCJD) 発症総数は 140 例にすぎず，最近は減少傾向である．それでもなお，英国，ヨーロッパなどで vCJD の発生および潜在的な患者の存在が，医療業務に多大な影響を及ぼしており，プリオンは前述のように不活性化が非常に困難な病原体であることから，vCJD の患者から健常人への医療行為を介した医原性の感染をいかに防ぐかに多くの労力が費やされているとのことである．(『科学』2006 年 11 月号，岩波書店，pp. 1125，1136)

(14) 食品の安全性問題に関して日本の技術者倫理教科書のいくつかは，「カネミ油症」事例を取り上げている．1968 年に西日本一帯で，汚染された米ぬか油を食べた約 14000 人が健康被害を訴えた．

北九州の製油会社，カネミ倉庫が引き起こしたカネミ油症事件である．同社が，工事ミスで生じた孔から多量のダイオキシン類などを米ぬか油に混入させ，同社がそれを販売したためである．その健康被害の深刻さは今なお，多くの被害者が全身疾患にさいなまれている実態や，ダイオキシンの生殖毒性のために親子ら子，子から孫へと皮膚障害のある赤ちゃんが生まれている現状を見ても明らかである．油症被害者たちが事件発生以来，40 年間にわたって病院で診断された病名は，全身の吹き出物，湿疹などの皮膚疾患，肝臓ガン，胃ガン，肝臓障害，くも膜下出血，胆のう炎，胆石，白血球の増加，高血圧症，低血圧症，糖尿病，自律神経失調症，子宮内膜症，リウマチ，心気症など 80 を超え，「病気のデパート」と言えるほど全身に及んでいる．カネミ油症事件は日本最大の食品公害事件である．カネミ倉庫の脱臭工程で PCB を熱媒体として扱う技術系社員は、PCB の毒性について，驚くほど認識がなかった．PCB が危険な化学物質であることは少なくとも製油工場で働く技術者たちが知らされていなければならないことであった．絶えず安全性に関する最新の知見を調べて，対策を取るのが化学物質を扱う企業の責任だからである．「福岡カネミ民事訴訟」控訴審判決（1984 年 3 月 16 日）は鐘淵化学工業の製造物責任について，要旨次のとおり述べている．「合成化学物質は場合によっては多数の人の生命身体に計り知れない作用を及ぼす危険性を持つものである．鐘化は他の企業に先立って PCB の生産を開始し，食品工業の熱媒体として企業化したものであるから，PCB の安全性と用途に応じた取扱方法を調査研究し，需要者に周知徹底すべき義務があった．／昭和 43 年(1968 年)当時，PCB の毒性について不十分ながら一応の警告も発せられていたことからしても，鐘化としては自らその安全性を確認し，その結果，知り得た PCB の特性や取扱方法を需要者に周知徹底すべきである．だが鐘化はこれをしなかった．／たとえ，カネミ倉庫がカネクロールの大量漏出を知りうべき状況にあるのに，これを放置したものであるとしても，油症事故の発端は鐘化が新規開発に当たって，その安全性を確認することなく，また販売に当たって十分な警告を尽くさなかったことにある．だから鐘化は油症事故の責任を免れることはできない」．これを受けて 3 月 29 日，鐘化は最高裁に上告した．鐘化の弁護団は「カネミ油症はカネミ倉庫の杜撰な管理が原因で起こった事件．当社には責任がない」としてカネミ倉庫の工事ミス説の立証に全力を挙げ，工場関係者に熱心に証言を依頼して，それを実現した．その結果，工場長らカネミ倉庫側が事件発生以来，11 年間も隠し通してきた工事ミスが次第に明らかになり，これにより，カネミ倉庫の責任が強まり，鐘化の責任は小さくなった．なお，現場社員の真相告白に至るまでの背景には，カネミ倉庫社長の実姉，加藤八千代の並々ならぬ努力もあった．彼女は旧理研鈴木梅太郎研究室副手ののち，朝永振一郎らとつくった「科学と人間の会」幹事，「日本婦人科学者の会」議長などを務め，創造工学に関する多くの著作を持つ．1962 年から工事ミス発生の翌年に当たる 1969 年まで，カネミ倉庫の非常勤取締役を務めていた．加藤八千代は実弟が経営するカネミ倉庫が多くの痛ましい油症被害者を出したことに苦しみ，たとえ弟とカネミ倉庫に不利なことであっても，知り得た事実を書き記さなければならないと決心し，一貫して事件の発生原因と社長・幹部の対応を客観的に調査・批判し，その結果を雑誌や本に書いていた．「ここに書いた生々しい記録が，やがて，第一に今後の食品メーカーの経営者・現場技

術者に，第二に一般消費者に，また食品公害を起こさないために，または不幸にして起きたさいには，ただちにいかなる手を打つべきかを，関連行政官，医師，科学者，技術者，裁判官，法律家，検察官，報道関係者らに，貴重な教訓を与えることに，役立つことを信じている．もし，このような信念と科学技術者としての社会的責任感が筆者になければ，これらの記録は永遠に発表されることはなかったであろう」と記している．環境ジャーナリストの川名英之によれば，彼女が真相を究明したいと考えた，もう一つの理由は，加藤一族が置かれた立場である．司法当局の押収したカネミ倉庫の書類を鐘化が入手して分析した結果，多くの重要事項がカネミ倉庫の手で改ざんされていることを発見，裁判で鐘化がこの事実を公表する準備を進めていることを彼女は知った．「このままでは，加藤一族がぐるになって，改ざんに手をかしたと疑われてもやむを得なくなる．もし，そんなことにでもなれば父上の名を汚すことになる」そう考えて苦悶していたのである．カネミ倉庫の設立は 1938 年 4 月．八千代の父，加藤平太郎が太平洋戦争前，朝鮮半島で精米業を興したのが始まりである．同社は，その後，米ぬかからビタミンＢ１を発見した鈴木梅太郎の指導で米ぬか油製造工業を日本で初めて興した．加藤一族は，この経験をもとに戦後，精米業と倉庫業を手がけ，平太郎はその発展に尽くし，息子に後を継がせたが，平太郎はカネミ油症事件の発生を知り，大きな衝撃を受け，1968 年 11 月 16 日，保養先の佐賀県古湯で苦しみのうちに他界した．この日は九州大学調査団がカネミ倉庫の工場に立ち入り調査を実施し，６号脱臭塔内を通っているステンレスパイプに三つの孔が開いていることを発見した日であった．しかし，PCB 漏れの真の原因は，1968 年 1 月 29 日に起こった１号脱臭棟での工事ミスであり，この事実は現場の判断による日誌の改ざんおよび破棄を通じて 11 年間，秘密でありつつけたが，結局，証言される日がやってきた（川名英之『検証・カネミ油症事件』緑風出版，2005 年）．このように，カネミ油症事件を取り上げることは，それはじつに痛ましい事件であるがそれだけに，製造物責任，工程管理，専門家の責任，データ保全，内部告発など，技術者倫理の主要テーマを学生に有効に学ばせることにつながると思われる．

（付記）本論文は平成 18 年度科学研究費補助金（基盤研究Ｃ、「工業高専および企業における人材育成と技術者倫理教育の現状と課題」川北晃司・河村豊・浅野敬一・木村南・庄司良）による研究成果の一部である。

（平成２０年１月７日　受理）

卒業生から見た東京高専の教育について

佐藤義隆*，加藤　格**

The Graduates' Evaluation of the Education of Tokyo National College of Technology

Yoshitaka SATO, Itaru KATO

Tokyo National College of Technology was established in 1965 and more than 5,400 students have already graduated from the college. The earlier graduates are retiring from their companies due to their age. They have been active as engineers in their respective fields, but few reports have been received about them. To improve the college's educational system, it is necessary for the college to know the graduates' activities and their opinions. So a questionnaire was sent to them. It was composed of three topics; their evaluation of the college education, their positions or carriers in the society and their advice or opinions regarding the college education. The graduates were divided into three groups;graduates from 1970 to 1972, from 1984 to 1987, from 1996 to 1998. In total the 148 replies were received from the graduates. This paper will show some results from the questionnaires.

(Keywords: graduates activities, questionnaire of the graduates)

1．はじめに

高等専門学校卒業生に対する社会的な評価についてはいくつかの調査が行われている。それらの報告によると、高専卒業生の評価は大変高く、高専は教育機関として高い評価を得ていると言える（[1]他)。東京高専（以下本校と記す）は創設されてから既に 43 年になり、五千四百人が卒業し、本校の卒業生も様々な分野で社会的に活躍していると考えられる。しかし本校卒業生に対するこれまでの調査は、創設以来一度も行われたことはない。近年、外部評価・外部審査等の関係で、教育力を測るための各種教育プログラムの提示が求められているが、教育機関にとって本来の教育力エビデンスとは、(1)社会で活躍する卒業生をどれだけ送り出しているか、(2)卒業生によって、自身の受けた教育プログラムがどのように評価されているか、であると考える。その意味においても、卒業生に対しこれらの調査を実施することは、学校としてのアイデンティティを確認・確立し、教育改善を検討する上で、大変重要であると考える。また、本校第１期卒業生が既に定年退職間近な年齢を迎えていることからも、調査の早急な実施が期待されていた。平成 17 年度企画室は卒業生に対する調査を発案し、重点配分経費を得て、本校同窓会の協力のもとに調査を実施した。限られた予算と労力の枠から、アンケート対象者を 1000 人程度とした。

調査項目は下記の４項目についてである。

[i] 東京高専における学生生活の印象と評価
（選択式および記述式)

[ii] 卒業生本人に関するもの
（選択式および記述式)

[iii] 高専卒生に対する一般的評価と印象
（選択式および記述式)

[iv] 本校教育に対する助言等
（選択式および記述式)

本報告書では調査結果のうち、「卒業生からの本校の教育に関する評価」を中心に報告する。

＊一般教科（数学）　　＊＊電子工学科

2．調査概要

調査の概要は以下の通りである。

1. 調査方法：郵送調査法
   （調査用紙を郵送し、記入後に返送）
2. 調査対象：下記の３グループに分け 1190 人を対象。

○第Ⅰグループ：　1970 年、1971 年、1972 年の卒業生全員［機械、電気、工業化学科の 1 期生、2 期生、3 期生］（工業化学科は後に物質工学科に改組。以下では物質工学科としてまとめる。）

○第Ⅱグループ：　1981 年、1982 年、1983 年の卒業生全員。［機械、電気、物質工学科の 15、16、17 期生、電子工学科 10、11、12 期生］

○第Ⅲグループ：　1996 年、1997 年、1998 年の卒業生全員。［機械、電気、物質工学科の 26、27、28 期生、電子工学科 22、23、24 期生、情報工学科 4、5、6 期生全員。］

3．調査期間：平成 18 年 2 月～3 月末

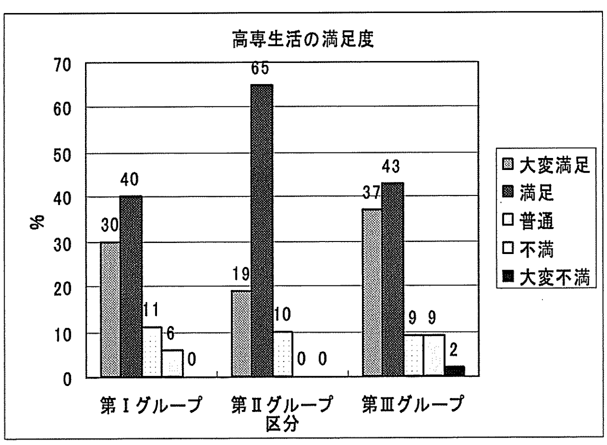
4．回収数：148、回収率 12.5%
　（機械 37、電気 42、物質 47、電子 13、情報 9 ）

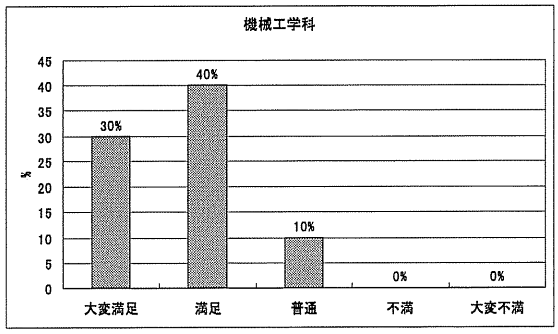
回答項目は選択、記述を含めて 167 項目という大きな調査用紙となったが、この種の調査としては比較的良い回収率を得ることができた。事前に予想されたように、第Ⅰグループからの回収率は他グループより高い。また全グループを通じて丁寧に記述された回答が少なくなかった。

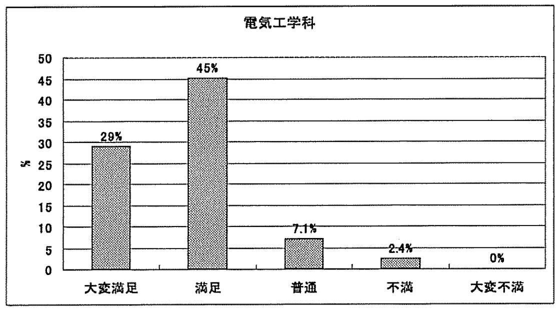
3．アンケート調査結果から

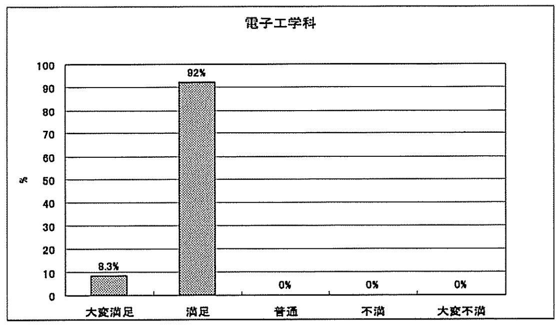
3.1　高専生活に対する印象と評価

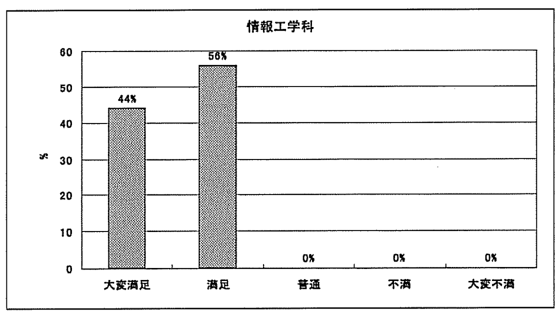
A)　高専生活の全体的な満足度については、第Ⅰグループから第Ⅲグループまで、「満足」（満足、またはやや満足）はそれぞれ、70%、84%、80% と非常に高い。

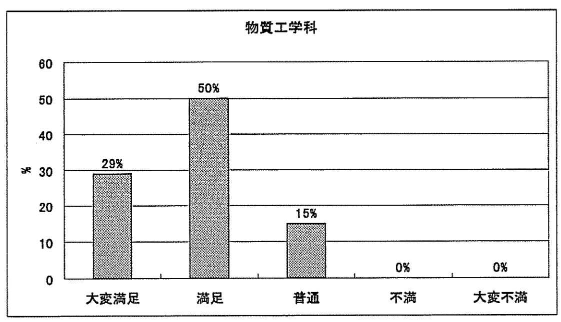




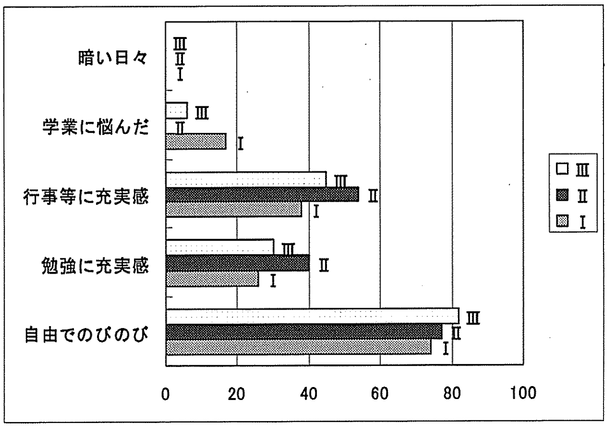








B)　学生生活のメンタル面では、「自由でのびのびした感じであった」がどのグループでも非常に高く、「行事、課外活動、趣味等で充実」も高い。学科別に見てもほぼ同様である。(回答は複数回答とし、回答度数÷(グループ人数)×100 とし、各群の回答度数を 100 に揃えた。)

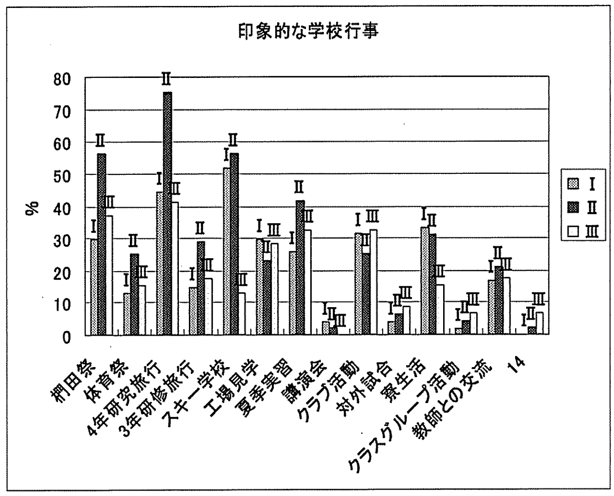


記述からは、「高専は学生の自主性に任せているという感じが良かった」が多く、「高専を家族、知人に薦めたいか」の問に対しては、本人の意志によるとしながらも、「専門的なことに興味があれば勧める」の回答が多かった。

3.2 学校行事

「特に良い印象的な学校行事」について、高い評価順に並べると
第Ⅰグループ：スキー学校、4 年研究旅行、学園祭
第Ⅱグループ：4 年研究旅行、スキー学校、学園祭、
3 年研修旅行
第Ⅲグループ：夏季実習、4 年研究旅行、工場見学
となっている。

どのグループからも「工場見学では先端の場所を見学できた」、「企業の考え方を学べた貴重な体験」、「もっと増やして良い」、「夏季実習は職業選択の上で大変役だった」などの記述が多い。また「体育祭、梠田祭は楽しい思い出になっている」、「スキー学校は特に思い出深い」の記述が第Ⅰ、第Ⅱグループに多い。他に少数ではあるが「日豪学生交流の参加はその後の自分の進路に大きな影響を与えてくれ感謝している」等である。しかし、第Ⅲグループからの行事への支持率は、他グループと比べるといずれも低くなっている。因みにスキー学校は 13%まで低下している。



3.3 授業についての満足度

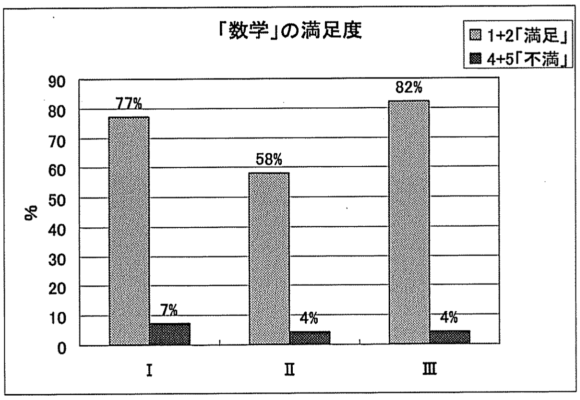
多数の記述回答の中でどの学科にも共通する特徴的なことは次の様である。教師の力量に差のあることを指摘しながらも、「教師の熱心さ、丁寧さ、個性的であること、人柄の良さ」、「難しい内容を分かりやすく教えてくれる授業・実習技術の高さ」が良さとしてあげられている。

授業科目として満足度の高いものは、実験・実習、専門科目全般および数学である。「元々これらを勉強したいから高専に入学した」、「社会に出て役に立つ基礎が身に付いた」、「微分積分を（早期から）十分勉強できたので新しい分野に入っても本を読むことができる」、「基礎の勉強をよくやれて良かった。個別の専門知識は会社に入ってから学べるし、案外簡単なもの」という趣旨の記述は全学科に共通している。しかし「自分にとっては進度が速すぎた」、「詰め込みすぎでついていけなかった」の声もある。

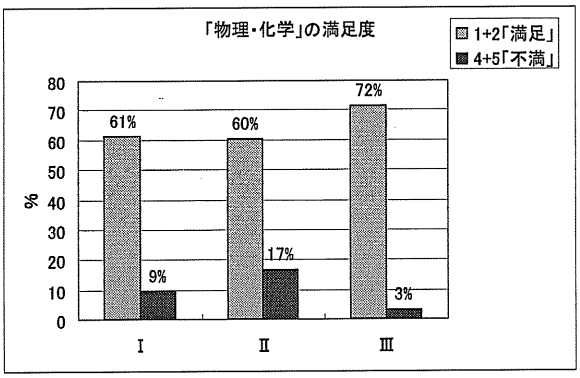
実験・実習についての満足度はどの学科も特に高い。「実習を体験できた」、「設計してものを具現化するよろこびを感じた」、「早くから専門の勉強ができて良かった」等が圧倒的に多く、「今の自分の基礎になっていることが確実に感じられる」、「エンジニアとしての基本が身に付いた」としている。

3.4　科目別授業満足度

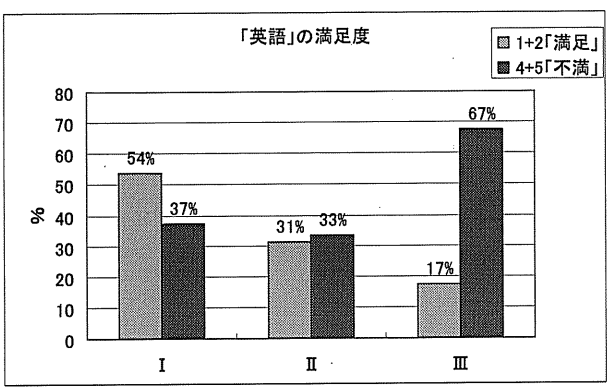
授業についての科目別満足度を、『「大変満足」又は「やや満足」(1+2)』を「**満足**」とし、『「やや不満」又は「大変不満」(4+5)』を「**不満**」としてまとめた数値を、第Ⅰグループから第Ⅲグループの順で以下に記す。
(1)数学：「満足」は 77%（第Ⅰ）、58%（第Ⅱ）、82%（第Ⅲ）と高い比率を占め、「不満」は 7%、4%、4%となっている。



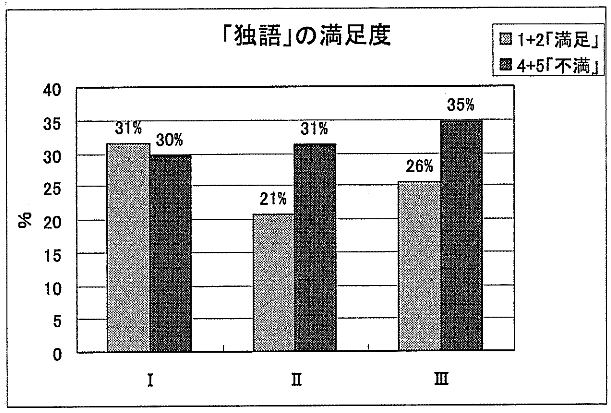
(2)物理・化学：「満足」は、61%、60%、72%「不満」は 9%、17%、3%となっている。「最後まで好きになれなかった」、「物理は導入でもっと具体的なことが必要」等の記述もあったが、記述からは化学に対する不満が少なくなく、物理と化学を分けて調査すべきであった。



(3)英語：「満足」は、54%、31%、17%と減少し、逆に「不満」は 37%、33%、67%と増加している。記述からは、「実際的でなかった」、「今でも話せない。」「LL は楽しかった」等であるが、今回の調査対象卒業生は、本校が英語教育改善に本格的に取り組み出した平成 15 年以前の学生であり、現在の状況はこの調査結果とほぼ逆の結果になっているのではないかと思われる。

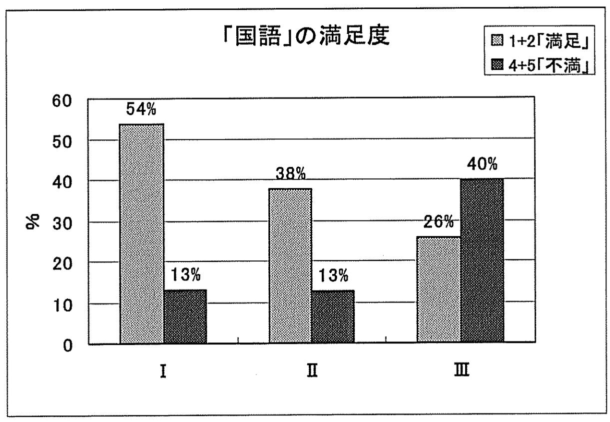


ドイツ語：　現在は既に授業が廃止されているが、「１年間だけだが面白かった」、「難しかった」等の記述がある。

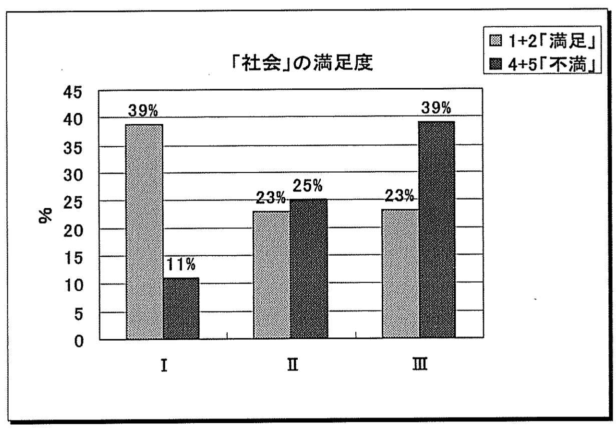


「第２外国語の学習」については賛否両論の記述があるが、「中国語をやるべき」の記述がやや多く見られる。

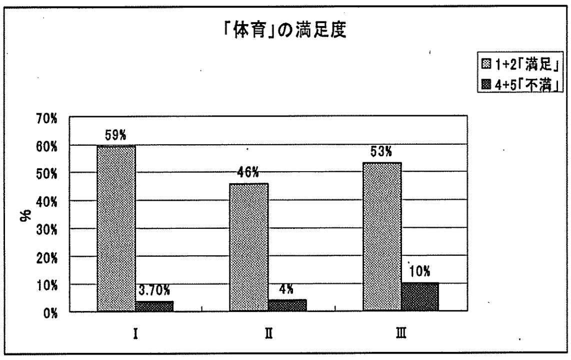
(1) 国語：「満足」は、54%、38%、26%、不満は 13%、13%、40%である。記述からは「教科書はそっちのけで人生の生き方を教えてくれた」(Ⅰ)、「小論文の講義は良かった（文章力はどこに行っても必要)」(Ⅲ) 等。本校初期の頃に、かなり個性的な若い教員がいたと聞いている。



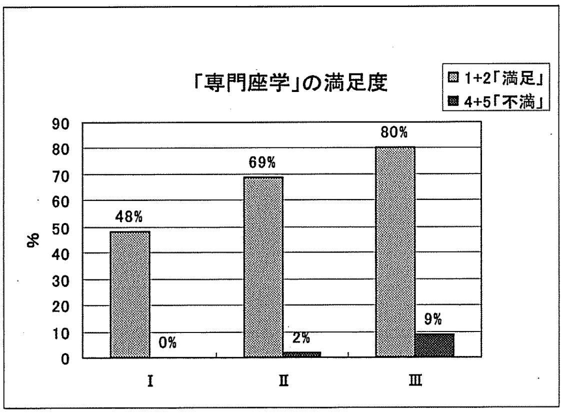
(4) 社会：「満足」は、39%、23%、23%、「不満」は 11%、25%、39%となっている。



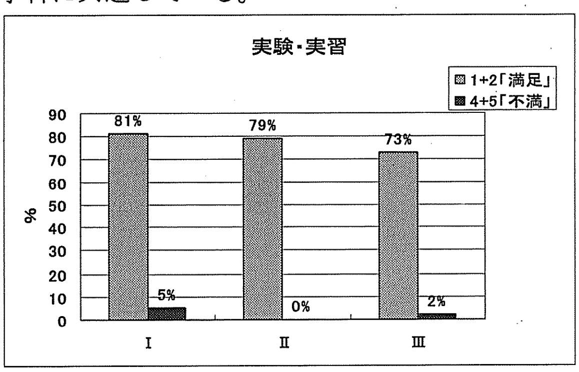
(5) 体育：「満足」は、59%、46%、53%と高く、「不満」は4%、4%、10%となっている。



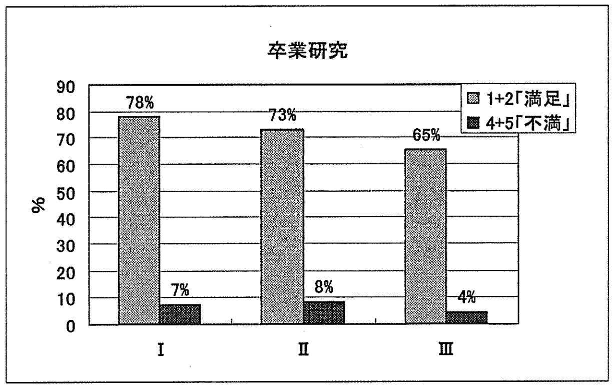
(7)専門座学：「満足」は、48%、69%、80%と増加している。「不満」の割合は極めて低いが、逆に0%、2%、9%と増加している。「基礎が身に付いて新しいことも苦にならない」､「内容が濃かった」､「早い内から専門があり良かった」の記述がどの学科にも共通している。



(8)実験・実習：「満足」は、81%、79%、73%と一様に高く、「不満」は5%、0%、2%である。「ものつくりの楽しさを知った。」、「期待通りの満足」、また「レポートを書く習慣が身に付いた」等の記述は全学科に共通している。

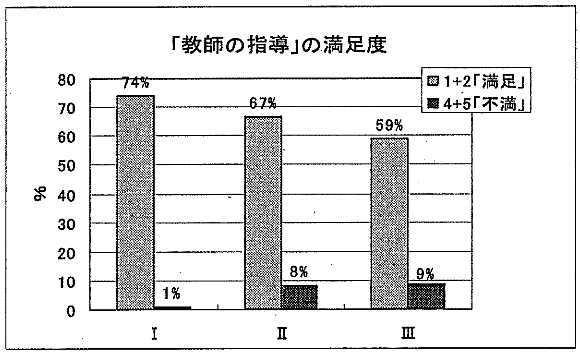


(9)卒業研究：「満足」は、78%、73%、65%、「不満」は7%、8%、4%となっている。学生にとって、卒研は高専の勉強の総仕上げという気持ちが強いようである。「楽しかった」､「仲間と良いコミュニケーションができた」､「卒研でお世話になった先生に大変感謝している」が多いが､「選ぶテーマが不足していた」の記述もある。

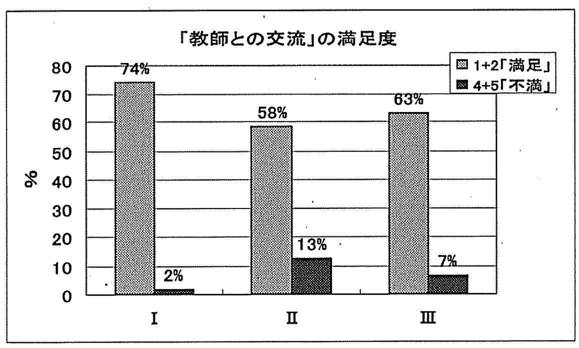


3.4 教師と学生の関係

(1) 教師の指導に「満足」は、74%（Ⅰ）、67%（Ⅱ）、59%（Ⅲ）と、満足度は高いがやや下降気味である。「不満」は1%、8%、9%となっている。「何人かは指導力の欠ける人もいたが素晴らしい先生が多かった」、「どの学年でも親身になってくれた」。「個性的な先生が多く面白かった」、「大学に行き高専教員の丁寧さを知った」、「学生を個人として尊重してくれた」、「教官室の存在は大きかった」など、教師と指導の丁寧さを高く評価している記述が殆どである。

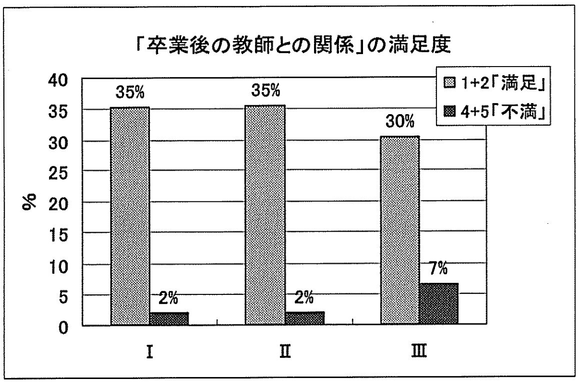


(2) 教師との交流・コミュニケーションに「満足」は、74%、58%、63%と高い。「不満」は2%、13%、7%である。



(3) 卒業後の教師との関係は、「満足」は 35%、35%、30%であるが、「普通」としたものが 57%、56%、63%であり、やや「普通」寄りとなっている。

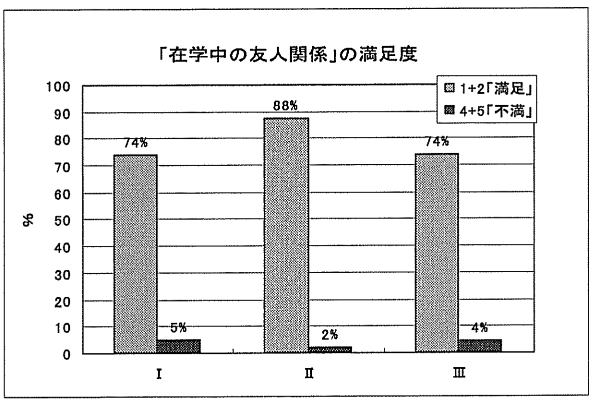
「在学中は大変お世話になったが、その後は忙しくて連絡をとっていない」、「忙しくてなかなか高専へ行けない」、「年賀状交わす程度につながっている」等の様である。



3.5 キャンパスライフ

(1) 高専での友人関係

在学中におけるクラス内の友人関係で「満足」は、74%、88%、74%と高い満足度を示している。記述から、「個性的で面白い連中が多かった」、「試験前の一体感が良かった」などである。



卒業後の関係は、「満足」が 62%、66%、71%と高く、「不満」は、上記いずれのグループにおいても 5%以下と低い。記述からは、「高専時代の友人関係には最も強いものがある」、「今でも交流がある。現在もクラス会が続いている」、「クラス会はやっていないが生涯の友人として今でも交流がある」等。

(2) 寮生活

① 人間関係について「満足」は、56%（I）、34%（II）、13.2%（III）と減少し、逆に「不満」は、率は低いが 1.9%、4.2%、8.3%と増加している。

② 寮生活全体の「満足」は、51%、34%、13%と減少し、逆に「不満」は、率は低いが 3.8%、8.4%、10.8%と増加している。記述からは、「寮生活は友人が多くできて良かった」、「思い出は寮生活のことが多い」、「上下関係はひどかったが社会に出てから役にたった」等。

(3) クラブ活動に関しては、

①時間や練習量についての「満足」は、51%、48%、44%であり、「不満」は 7.5%、2.1%、13.2%。

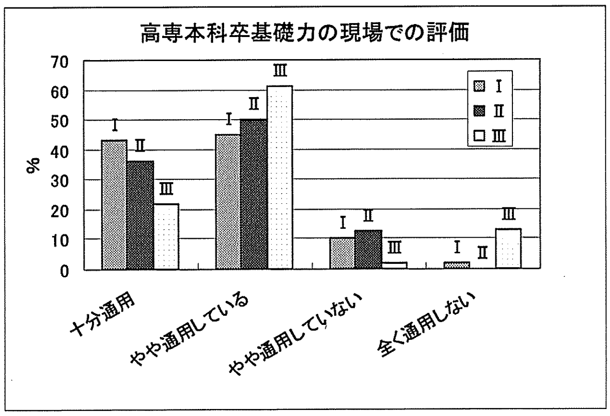
② 人間関係についての「満足」は、54%、46% 44%、「不満」は 5.7%、2.1%、15.2%となっている。

③技術・技能についての「満足」は、31.7%、29%、13.2%であり、「不満」は 16.9%、6.3%、17.5%

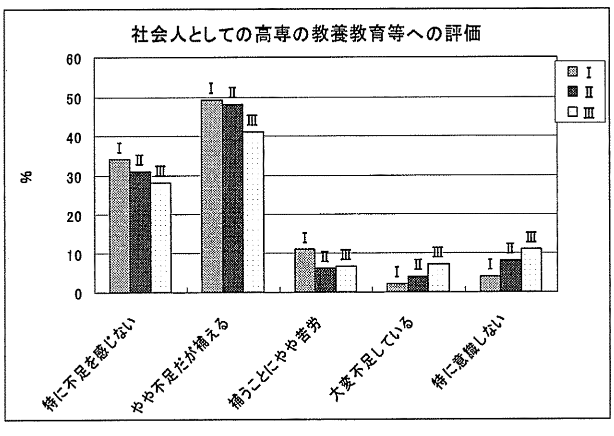
④対外試合や成績に関しての「満足度」は、31.7%、29%、13.2%、「不満」は 16.9%、6.3%、17.5%。

4．現場で必要な知識・技術と高専教育

(1) 本科卒の基礎力で「十分通用する又は通用している」としたものが、88%(I)、85%(II)、83%(III)であり、どのグループにおいても高い数値となっている。このうちで特に「十分通用している」は、43%、35%、22%である。グループによる違いが目立つのは如何なる原因によるものか。



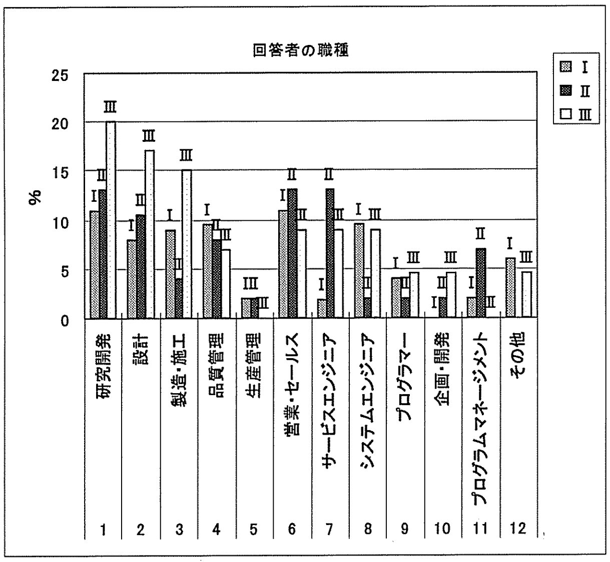
(2) 社会人としての教養・ものの見方等については、「特に不足は感じない、又は補っていける」としたものが、83%、79%、69%であるのに対し、「不足感を感じて苦労している」は、13%、10.5%、15.2% ある。この 2 極化は何が原因なのか。



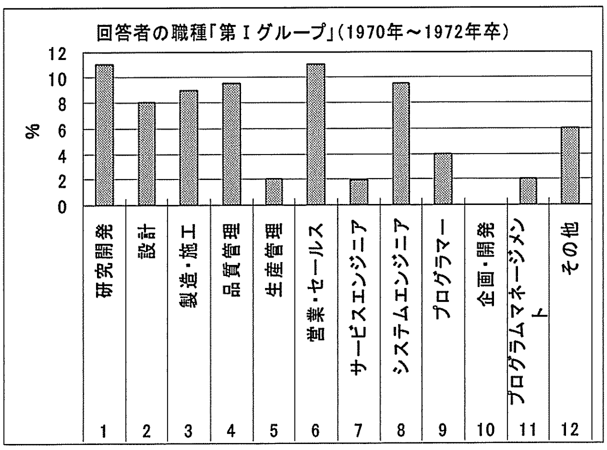
5．卒業生（回答者）自身のこと

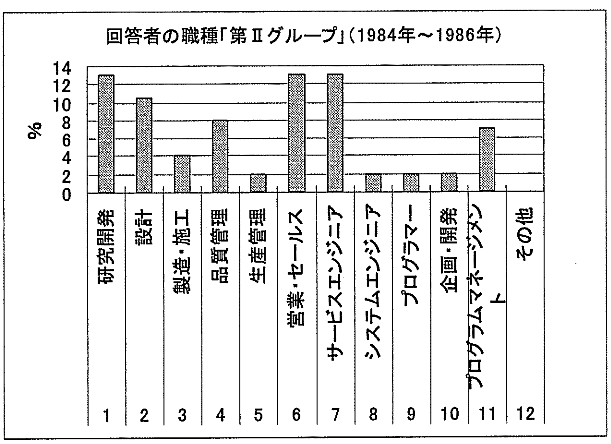
5.1　回答者の現在の職種

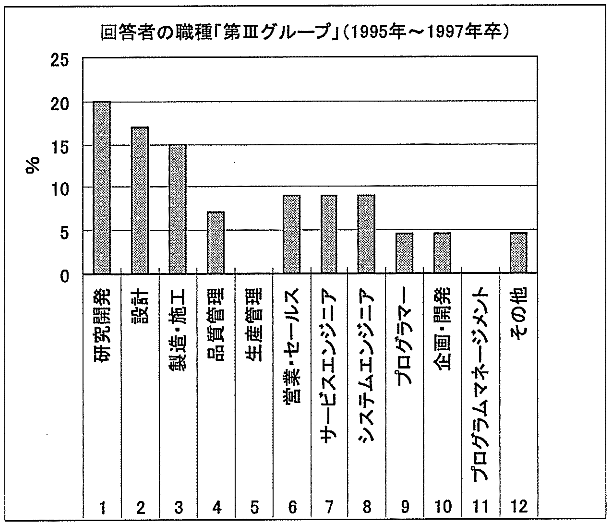
現在の職種は次の図のようであった。



グループ別に職種をみると、







5.2　自分に向いていると思われる職種

実際の経験とは別に、『大変意欲的になれると思う職種』について問うた。「研究開発」、「設計」、「製造・施工」、「営業・セールス」に多く回答している。

逆に『意欲的になれないと思う職種』は、「プログラムマネジメント」、「プログラマー」となっている。

学科別『大変意欲的になれると思う職種』は、

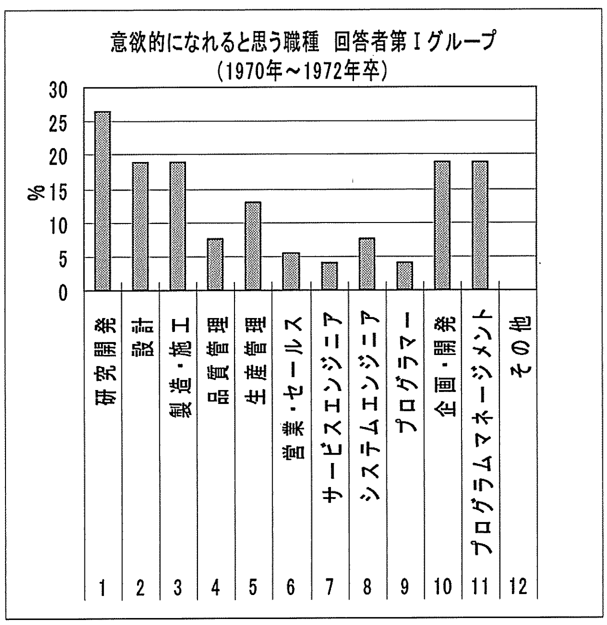
○機械科：研究開発、製造・施工、企画・開発、

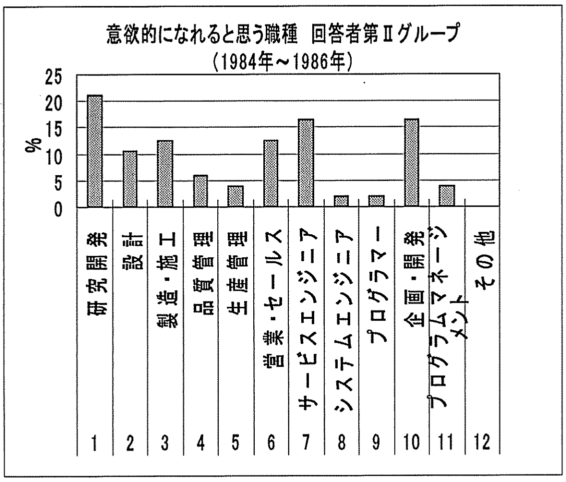
○電気科：設計、研究開発、企画開発、製造・施工、

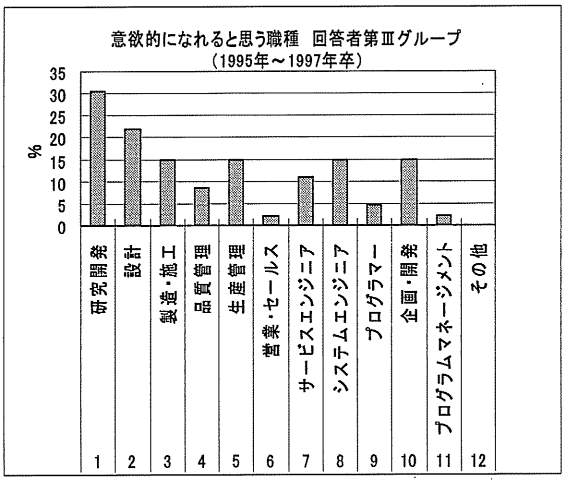
○物質科：研究開発、生産管理、製造・施工、

○電子科：設計、サービスエンジニアリング、企画・開発、

○情報科：企画・開発、設計、と回答されている。







5.3　現在の職位

第Ⅰグループ、第Ⅱグループでは監督者クラスが 57%, 40% を占める。第Ⅲグループでは、まだ監督者クラスは 13%であり、スタッフクラスが 57%を占めるのは、勤続年数によるものと思われる。

転職は、第１グループ 13%、第２グループ 6%、第Ⅲグループ 8.7%となっており、転職者の殆どは卒業後５年以内である。卒業後まだ年月の浅い第Ⅲグループの転職率がやや高いのは、若干気になるところではある。

回答者の卒業後の進路は、『高専卒業後企業へ就職』が、第Ⅰグループ 85%, 第Ⅱグループ 58%, 第Ⅲグループ 57%となっておりこの数値は、本校卒業生のそれら各期における就職率と比較的近い数値と思われる。このことは今回の調査は、標本は小さいが、比較的全体を表した抽出となっている、と言えないだろうか。なお、『高専卒業 → 大学学部 → 大学院 → 企業』の進路の回答者は、第１グループ 1.9%, 第２グループ 6.3%、第Ⅲグループ 26%である。

6．おわりに

今回の調査を実施するにあたって、どのようなアンケート形式が適当かを検討した。一般に、多数を対象とし的を絞った調査では客観選択式の回答形式をとるのが通例である。その方式は回答し易く、20%程度の回収率は見込まれ、集計も容易である。しかし卒業生に対し初めて実施されるアンケートとして、その方法では無機質過ぎる気がするばかりでなく、卒業生の実際の気持ちを把握し難いと思われ、多岐にわたる質問に自由記述欄を設けた。回答項目は多数 (167) になり、回収率の低下が懸念されたが、12.5%を得ることができた。

第Ⅰグループ（1970 年～1972 年卒）以外は全員筆者達と面識のある間柄である。そのせいか、記述回答は丁寧に書かれたものが多く、旧い友人からの手紙を見る感すらした。欄外の書き込みには、「お久しぶりです。学生時代、お世話になりました」、「夫婦で、なつかしいね、と言いながら高専時代を思い出して楽しく回答させて頂きました（夫婦共本校卒生）」、「私に協力できることがあれば言って下さい」などが目立ち、無記名可にも関わらず、ほぼ全員の回答者が記名し、３分の２がメールアドレスを記入してくれた。卒業生の母校を愛する気持ちが伝わってくる気がする。同窓会の活動に期待する声も少なくなかった。

卒業生へのアンケート調査には情報収集目的の他に、卒業生に母校を思い出し改めて母校に対する気持ちを深めるきっかけを作ってもらうこと、今後学校への協力を卒業生に依頼していくための準備的な役割も付随してあること等が改めて感じられた。

本調査結果について別な観点からの報告を他の機会に行いたいと考える。

今回のアンケートに貴重な時間を割いて回答下さった卒業生の方々に感謝します。実施にあたり、質問項目の検討に関わって下さった平成 17 年度企画室員；竹田恒美、浅野敬一、庄司良、大塚友彦、鈴木雅人の諸先生および同窓会関係として三谷知世先生にお世話になりました。また、データの入力に関して本校専攻科生高田才誠君、古儀史也君にご協力頂きました。この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

[1] 高等専門学校のあり方に関する調査、平成 18 年３月、独立法人国立高専機構、みずほ情報総研戦略コンサルタント部

(平成 20 年 1 月 7 日　受理)

XPortイーサネット・シリアル変換器を使用した広帯域電磁環境測定システム

山内峯生*，大貫繁雄**

Electromagnetic Environment Measurement System using XPort Ethernet Serial Converter

Mineo YAMAUCHI, Shigeo OHONUKI

In the previous paper, we have reported a remote controllable electromagnetic wave monitoring system using AOR SR2000 and PICNIC. The SR2000 is a FFT Frequency monitor for amateur radio and the PICNIC is a PIC microcontroller with a UDP LAN and an RS232C interfaces. The system, however, has two restrictions such that it requires a dedicated LAN and the RS232C speed is limited by 9600 bps. We have developed a new system using XPort in place of the PICNIC. The XPort is a device with TCP LAN and RS232C interfaces. This new system has solved the above two restrictions, however, raised two new problems. The one is TCP packet delaying and the other is SR2000 communication error. Those problems have been solved by using Windows API instead of Winsock control, setting Windows socket to TCP_NODELAY and non blocking mode, and sending commands redundantly.

(Keywords: XPort, PICNIC, SR2000, RS232C, TCP, UDP, Ethernet to Serial Converter)

1.　はじめに

先の東京高専研究報告[1]で、アマチュア無線用受信機SR2000とPICNICを使用したLAN経由で広帯域に電磁環境を測定するシステム（PICNIC版）について報告した。しかしこのシステムには、以下(P1)、(P2)の２つの制約が残っていた。(P1) PICNICはLAN通信にＵＤＰを使用しているため学内LAN混雑時にデータ損失が発生した。これを無くすためには専用ＬＡＮを必要とした。(Ｐ２) PICNICはRS232Cからのデータを一文字ずつUDPパケットに変換してLANに送っていたため処理時間がかかり、RS232C通信速度は9600bpsが上限であった。

今回上記制約を解決するためPICNICをXPortに替えたシステム（XPort版）を作成した。この結果について報告する。

２．使用機器

２．１．SR2000

SR2000はAOR社[2]から発売されているアマチュア無線用受信機で25MHzから3GHzまでの広帯域無線を受信する。ただし一度に測定できる帯域は10MHzしかない。このため中心周波数を10MHzずつずらしながら測定しその結果を合成する方法で広帯域に電磁波を測定した。

２．２．XPort

XPortは、LANTRONIX社[3]から発売されているLANとRS232Cインターフェース、汎用I/Oを備えたPICNICと同じ機能を持つ超小型コンピュータである。今回これをイーサネット・シリアル変換器として使用した。図１にXPortの外観を示す。

図１　XPortの外観[3]

PICNICとXPortはイーサネット・シリアル変換器として比較したとき以下の相違がある。

（１）RS232C通信：PICNICはRTS/CTS機能

*東京工業高等専門学校　**東京工業高等専門学校電気工学科

を持たないが XPort は RTS/CTS 機能を持つ。（2）LAN 通信：PICNIC は UDP を使用するが XPort は TCP を使用する。（3）RS232C からのデータ送信：PICNIC はデータを一文字ずつ UDP パケット化して送信するが XPort はまとまったデータとして TCP セグメント化して送信する。

3．XPort 版

図２に今回作成した XPort 版の構成図を示す。

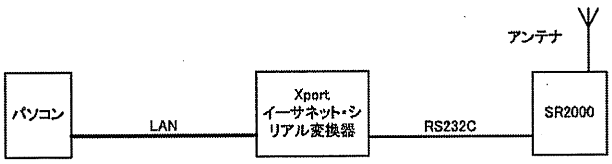


図２　XPort 版の構成図

パソコンと XPort を LAN 接続する。XPort と SR2000 は RS232C クロスケーブルで接続し、通信速度は 115kbps、フロー制御は RTS/CTS と設定する。

XPort 版は PICNIC 版の上記（P1）、（P2）の２つの制約を解決した。すなわち、XPort は TCP を使用するため通信でのデータ損失が無い。学内 LAN でデータ損失なく動作し専用 LAN は不要になった。また、XPort は RS232C からのデータをまとまりのあるデータとして送信するため変換時間が短い。また RS232C では RTS/CTS 制御で通信するため通信エラーが無い。この結果 SR2000 の最高速度である 115kbps で通信可能となった。

一方、XPort 版では新たに、以下に述べる（X1）、（X2）の２つの問題が発生した。（X1）TCP での制御の問題：SR2000 は CF（中心周波数設定）コマンド受信からこの設定完了までに 0.4 秒かかる（実測結果）。このため、①CF コマンド送信から 0.5 秒後に、②GD（グラフダウンロード）コマンドを送信する必要がある。VB6.0 で標準使用されている Winsock コントロールを使用し TCP で上記のようにコマンドを送信した。しかし、①のタイミングでは CF コマンドは送信されず、②のタイミングで CF コマンドと GD コマンドが同じ TCP セグメントデータで送信されていた。この結果正常なデータが得られなかった。（X2）SR2000 通信エラーの問題：SR2000 は数千回に一回位の頻度でコマンド受信に失敗することがある、ということが分かった。先の（X1）の問題解決のため Windows API のソケット関数 recv()を使用して応答を待っていたら応答が来ないためハングアップした。

以下のようにこれらの問題を解決した。(X1)：Winsock コントロールにはリアルタイムに TCP データを送信する機能が無く制御目的での使用には適さないことが分かった。このため Winsock コントロールの使用を止め、替わりに Windows API を使用しソケットに対して TCP_NODELAY オプションを設定した。この結果 CF コマンドが直ちにネットワークに送信されるようになり正常なデータを取得できるようになった。(X2)：受信ソケットを FIONBIO オプションで非ブロッキングモードに変更し応答が来るまで待たないようにした。また SR2000 側でのより確実な CF コマンド受信のため CF コマンドを２回送信するようにした。GD コマンドは SR2000 に対して負荷が大きいコマンドであるため２回送信しないでデータがダウンロードされないときは受信側では空白データとして扱った。ハングアンプすることは無くなった。

4．まとめ

PICNIC に替えて XPort を使用した LAN 経由で遠隔操作できる広帯域電磁環境測定システム（XPort 版）を作成した。これは前回報告の PICNIC 版の２つの制約、専用 LAN が必要であること、RS232C 通信速度の上限が 9600bps であること、を解決した。

一方、XPort を使用することで新たに TCP での制御問題と SR2000 での通信エラー問題の２つの問題が発生した。前者は Winsock コントロールの使用を止め、Windows API を使用しソケットに TCP_NODELAY オプションを設定することで解決した。後者は FIONBIO オプションを使ってソケットを非ブロッキングモードに設定すること、コマンドを冗長に送信することで解決した。

参考文献

[1] 鈴木渉，山内峯生，大貫繁雄，PICNIC イーサネット・シリアル変換器を使用した広帯域電磁環境測定システム，東京高専研究報告，39 号(1)，pp57-60，2007.
[2] AOR 社，http://www.aorja.com/
[3] 日本 LANTRONIX 社，http://www.lantronix.jp/

（平成 19 年 12 月 21 日　受理）

東京高専における安全なメール環境の構築

舘　泉　雄　治*

Construction of Safe Email Environment in the Tokyo National College of Technology

Yuji TATEIZUMI

In July 2007, we updated the email environment of the Tokyo National College of Technology. The structure of the email system was changed to the ASP type by this update. The reason of this change was administration of the email system which changed into very important infrastructure became difficult with the model to set up a server in a college. The email system has been updated by a period of about 5 years. I inspected the historic change of this email system. To think about an important element and the future change of the email system.

(Keywords: email environment, ASP, administration)

1．はじめに

東京高専がインターネットに常時接続されたのは1993年頃である。当時は外部回線の通信速度が9600bpsと今では考えられないほど低速であり、現在のインターネットとはだいぶ感覚は違っていたが、これで本格的に電子メールを利用できるようになったと喜んだ事を記憶している。それから15年でメールの果たす役割も増大し、教育研究・業務に不可欠な、最も重要なインフラの一つとなっている。インフラとしての重要性で考えれば、FAXは完全に追い抜き、人によっては電話よりも重要度が高いと感じているのではないだろうか。

2007年7月に東京高専のメール環境の更新を実施した。この更新ではメールサーバなどの機器を学内に設置するのではなく、ASPサービスによる方式とした。メールシステムを構築する場合いくつかの方式が考えられるが、現在の東京高専のメール環境としては、このASPサービスを利用する方法が最も適していると判断したからである。ここでは、メールシステム更新の歴史的な経緯をまとめ、より安全で質の高いメールシステムを構築する方法などについて考察する。

2．メールシステムの構成

一般的に、メールシステムを構築する場合、以下の4つのシステム構成が考えられる。

(1) 汎用サーバ+標準のメールサーバソフト
(2) 汎用サーバ+専用のメールサーバソフト
(3) 専用のアプライアンスサーバ
(4) ASPサービスの利用

これはちょうど東京高専のメールシステムの更新の歴史と重なっており、約5年毎に推移してきた。東京高専のメールシステムの歴史を追いながら、そのシステムの概要、特徴と、次の段階に進まなければならなかった問題点などについてまとめる事にする。

3．東京高専のメールシステムの歴史的変遷

3．1　第1世代

(汎用サーバ+標準のメールサーバソフト)

東京高専に最初に導入されたメールシステムは、教育用電算機として導入されたヒューレットパッカード社製UNIXベースワークステーション（図1）であった。この汎用のサーバとOSに最初からインストールされていたsendmail、popといったメール関係のソフトウェアを使用してメールシステムが構築された。もともと教育用電算機として導入されたので、学生が授業で使用するサーバを流用しての運用であった。

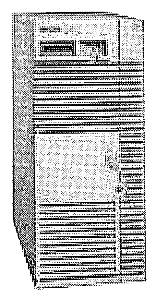


図1　第1世代サーバ（HP9000 D370）

*電気工学科

サーバと言っても、現在の安価なパソコンよりも遅いCPU（クロックが160MHz程度）で、メモリやハードディスクの容量も今では考えられないくらい少ない容量であった。しかし、この1台で授業でのプログラミング教育や教員の研究用のプログラム開発、Webサーバ、DNSサーバ、ニュースサーバ、ftpサーバ、そして学生を含む全ユーザのメールサーバなど全てを約5年間も運用していたのであるから、今考えると逆にすごい事であったと感じる。

このサーバをメールシステムとしてみた場合、以下のような問題点があった。

(1) ユーザ登録・削除などの管理が煩雑
(2) 利用者にUNIXの知識が必要
(3) ハードウェアが貧弱
(4) 多数のサービスが同居
(5) セキュリティレベルが低い

まず、ユーザ登録や削除を行う際は、UNIXのシステムに手作業で一人ずつ作業を行う必要があり、また、各ユーザが自分のパスワードを変更する場合には、UNIX（HP-UX）のシステムにログインし、UNIXのコマンドを操作する必要があった。また、メールの転送設定を行う場合にも、各ユーザのホームディレクトリに設定ファイルを作成する必要があり、利用者にUNIXの知識が要求された。このため、多くのユーザはパスワードの変更もできず、初期パスワードをずっと使い続けるユーザも多かった。

また、徐々にメールにファイルを添付するような利用も増えてきていたのであるが、ハードディスクの容量が非常に少なく、添付ファイルの容量制限も厳しかった。

更に、メールだけではなく全てのインターネットサービスや学生のプログラミング演習などを1台のサーバで運用していたため、動作はとても緩慢であり、また、セキュリティレベルも低かった。このシステムの運用開始当初は、インターネットもいわゆる古き良き時代であり、セキュリティなどに関して殆ど何も考えなくても問題が発生しない時代であった。しかし運用開始数年後には、外部からの悪意を持った攻撃も行われるようになり、ついには外部から侵入され、全ユーザ（当時は約500名）のパスワードが盗まれてしまうという事件も発生してしまった。

このようなインターネット環境の変化に伴い、システムの維持管理の負担も増加してきた。このシステムではsendmail などのオープンソースのソフトを利用していた訳であるが、この頃から頻繁にセキュリティ上の問題が見つかり、その対策を適用した新しい版が頻繁に公開されるようになった。古い版のままの運用は非常に危険であるため、月に1度程度は更新作業を行わなければならなかった。実際に運用されているシステムをテスト環境での確認なしにいきなり更新しなければならなかったため、この作業は非常にストレスのかかる作業であった。また、利用者の多い時間帯に作業を行う事ができないため、インストール作業は深夜に実施していた。

教育や研究・業務でのメール使用も増えてきて、メールシステムの重要性が高まってきた事もあり、もはやこのシステムは限界に達していた。

3．2 第2世代

（汎用サーバ＋専用のメールサーバソフト）

第1世代からの更新に際して、運用上問題となっていた以下の点を考慮してシステムの構築を行った。

(1) ユーザ登録・削除などが容易
(2) 各ユーザが自らパスワード変更が可能
(3) ソフトウェアのセキュリティ更新が容易
(4) メール専用のシステムである
(5) 十分な容量で安全性の高いディスクを持つ
(6) 全教職員、全学生が利用できる処理能力を持つ

これらの条件を満たすシステムとして、サンマイクロシステムズ社のUNIXベースのサーバ（図2）に、SIMS(Sun Internet Mail Server)という商用のメールソフトを組み合わせて構築した。このソフトでは、ユーザ認証部分にLDAPサーバを使用しており、ユーザ登録や各ユーザのパスワード変更がWebベースのGUI環境で行う事ができた。また、商用ソフトであるためセキュリティ上の問題が発生した場合には直ぐにパッチソフトが公開され、比較的簡単にアップデートする事ができた。なお、セキュリティ強化と性能向上のためメール専用のサーバとし、また、メールスプールで使用するハードディスクにRAID5のディスクを使い安全性を高めた。

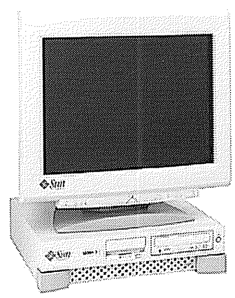


図2 第2世代サーバ（Sun Ultra 5）

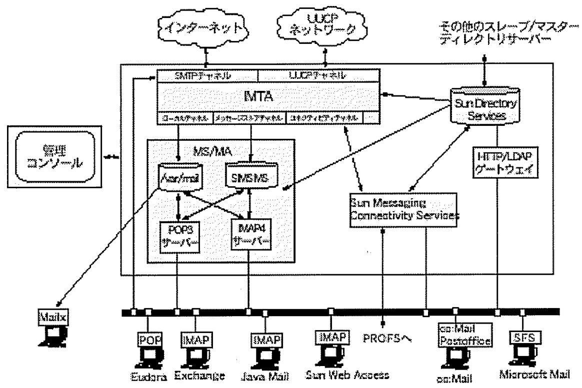


図３　SIMSの構成図

このシステムは非常に優れたシステムであった。利用者の使い勝手、処理能力、管理者の使い勝手など、全ての面で不満なく利用する事ができた。ユーザ登録に関しても、事前にユーザ情報のファイルを用意しておいて一括での登録や削除が可能であった。これは、年度当初の学生の登録作業の手間を劇的に簡素化する事ができた。また、OSが日頃から慣れ親しんでいた Solarisであったということもあり、パッチの適用など、日頃のメンテナンス作業の手間も軽減された。

しかし、徐々に不満や問題も出てきた。第１世代のシステムでの問題と比較すれば、それほど大きな問題ではないのであるが、メールの利用形態の変化などに伴い、以下のような更なる要求が生まれてきたのである。

(1) 同胞メールの利用拡大
(2) 学外からの利用
(3) 添付ファイルの容量規制緩和
(4) Webメールの利用
(5) アップデート管理の更なる簡素化

新たな要求としては、各ユーザを階層化した幾つかのグループで分類し、そのグループ宛の同胞メールを簡単に送る事ができるようにしたいとか、自宅でインターネット接続を行ったので自宅からも安全にメールの読み書きを行いたい、低学年の学生は学内では演習室のパソコンしか利用できないので使いやすいWebメール環境が欲しいなどである。

また、添付ファイルの容量制限の緩和を求める声も多かった。ちょうど Windows98/Me/2000 が普及した時期であったため、ワードや一太郎などのワープロソフトで作成した文書をメール添付で送るという利用方法が盛んに行われるようになってきた。これらのワープロソフトでは画像などを容易に貼付ける事ができたため、作成された文書ファイルの大容量化が急激に進み、添付ファイルの容量制限にかかってしまうケースが多くなったからである。しかし、全ユーザ（約1300名）への同胞メールにファイルを添付する場合もあり、この最悪のケースをもとに添付容量の制限値を決める必要があったため、安易に容量制限の緩和を行う事はできなかった。例えば、１０MBのファイルを1300ユーザに配布したとすると、総容量13GBのファイルの配信を一気に始める事になり、システムをダウンさせてしまう事になる。送る相手の人数によって制限容量を変える事ができなかったため、１ユーザの無知や過失によってシステムをダウンさせてしまうような設定はできなかった訳である。

管理上の問題としては、汎用のサーバ機上でシステムの構築を行っていたため、どうしても頻繁にOSのセキュリティパッチなどを適用する必要があることであった。メーカ側で管理されたパッチの適用であるため、第１世代で実施していたソフトの更新時のようなストレスはなかったが、頻繁に深夜のアップデート作業を行う事はやはりしんどいものである。

また、それほど頻度は高くなかったが、何度かメールソフト（SIMS）の大掛かりなバージョンアップを行う必要があった。費用的な問題などから、このアップデート作業を業者に委託する事はできず、こちらで実施する必要があったのであるが、慣れない作業をテストなしに実運用環境で実施しなければならないストレスはかなり高いものであった。数日前からドキュメント類を熟読し、万一に備えたバックアップや作業の手順を計画しX-Dayに臨んだのであるが、毎回バンジージャンプで飛び降りる瞬間のような意を決した作業が必要であった。

３．３　第３世代

（専用のアプライアンスサーバ）

第３世代への更新に際して、第２世代での要求項目に加えて、以下の点を考慮してシステムの構築を行った。

(1) 大容量の添付ファイルへの対応
(2) 階層化した同胞メールの対応
(3) 暗号化に対応した使いやすいWebメール
(4) 自宅や出張先など学外からの安全な利用
(5) ウィルス対策の強化
(6) OSやソフトのバージョンアップが容易

これらの条件を満たすシステムとして、ミラポイント社のアプライアンス型メールサーバを選定した。（以下ミラポイントとする）選定当時、これらの条件を全て満たす製品はこのミラポイントが唯一であった。ミラポイントはFreeBSDをベースとし、メールに最適化したOS（MOS）上で動作するメールに特化したアプライアンス型サーバであり、求める全ての項目を高いレベルで満たし非常に優れた製品ではあったが、少々価格が高いのが難点であった。

図４　第３世代サーバ（mirapoint M300）

まず添付ファイルの容量であるが、一つの目安として32MBを考えた。もちろん、最悪のケースとして、全ユーザ（1300名）への同胞メールに32MBのファイルを添付した場合を想定している。一般的なメールサーバの場合には、この条件を満たすためにはかなり大掛かりなハードウェアを用意する必要があるのだが、ミラポイントではとてもスマートな方法で対処している。ミラポイントでは、たとえ送り先が何名であろうとも、１つの添付ファイルは１つとして内部処理されるようになっている。すなわち、1300名に送っても1名に送ったのと同じ負荷しかかからないのである。

次に、階層化した同胞メールということであるが、これは例えば、5nenというアドレスでは全学科の５年生全員に、ee-studentというアドレスでは電気工学科の学生全員に、5eというアドレスでは電気工学科５年の学生に送る事ができるようなメールグループ設定を行いたいという事である。教職員は人数がそれほど多くなく、また、移動も少ないため、このグループ設定もそれほど問題にならないが、学生の場合には人数が多く、また、毎年の学年進行に伴いクラスが変わってしまうため、その管理には非常に手間がかかる。ミラポイントでは図５のような階層的なグループ設定を行う事でスマートに対処している。

各ユーザはまず「m-h10」のような学科と入学年度を表すグループに登録する。5mのような各クラスのグループには、そのメンバとして最下層の「m-h10」のようなグループ１つを登録する。直接クラスのグループに学生を登録しないでワンクッション置くのは、学年進行でクラスが変わった場合の変更作業を容易にするための工夫である。その上位のグループとして、「5nen」は5mから5cまでの５つの下位グループを登録し、また、「mm-student」は5mから1mまでの５つの下位グループを登録している。最後に、「all-student」に5nenから1nenまでの５つの下位グループを登録している。

```
all-student ── 5nen ─  5m ── m-h10
            |         |- 5e ── e-h10
            |         |- 5d ── d-h10
            |         |- 5j ── j-h10
            |         |- 5c ── c-h10
            |
            |- 4nen ── 4m ── m-h11
            |         |- 4e ── e-h11
                          :        :

mm-student ── 5m
           |- 4m
           |- 3m
           |- 2m
           |- 1m

ee-student ── 5e
           |- 4e
           |- 3e
           |- 2e
           |- 1e
```

図５　階層的メールグループ構築の例

次にWebメールの対応であるが、低学年の学生は演習室など共用のパソコンを使用するため、Webメールが必須となる。ミラポイントでは、SSLによって暗号化されたWebメールの環境を学内外に公開する事により、学生のみならず、教職員も自宅や出先からの利用ができるようにした。また、添付ファイルの容量制限を緩和した事により、自分宛にファイルを送り、異なるパソコン間でのファイルの移動にも利用できるようになった。

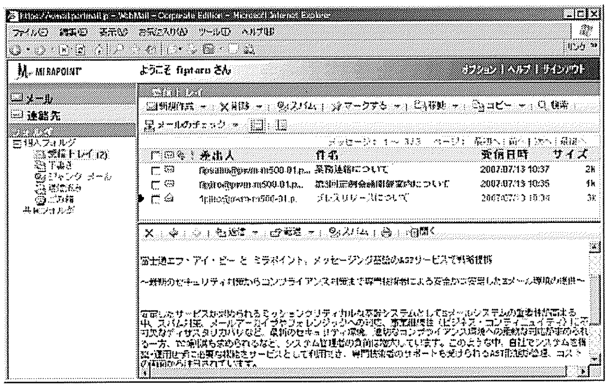


図6　ミラポイントのWebメール画面

次にウィルスメール対策であるが、第2世代のシステムまではアンチウィルスの処理はクライアント側だけで行っていた。シマンテック社とアンチウィルスソフトのサイトライセンス契約を結び、台数無制限で利用できるようにしていた。学内LANに接続するパソコンにはアンチウィルスソフトのインストールを義務づけていたが、ウィルスの急激な増加に伴い、クライアント側だけでの対策では不十分となってきた。そこで、ミラポイントの上位にアンチウィルスゲートウェイを設置し、2重の対策を実施する事にした。このゲートウェイ製品は意図的にメーカを変え、トレンドマイクロ社製の製品を導入した。

最後に、OSやメールソフトのバージョンアップを含めた更新作業であるが、メール専用のアプライアンス製品であるため非常に簡単であり、Webベースの管理画面から更新のURLを入力して更新ボタンを押すだけであった。また、サポート契約期間中は常にリモート監視が行われており、構内の停電に伴うサーバの停止を行った場合でも直ぐに電話での確認が入るなど、安心感は高かった。

3．4　第3．5世代
（個人情報保護対応）

運用開始当初は完璧だと思われたシステムも、世の中の情勢や利用者の利用形態の変化に伴い、徐々に以下のような問題が発生してきた。

(1) 個人情報保護の問題
(2) 障害発生時の対応問題
(3) 電源や空調など設置環境の問題
(4) スパム（迷惑）メールの問題

ミラポイントのファイル添付処理が優れていたことから、東京高専内では何でもメール添付で送るということが習慣化していた。しかし、個人情報保護法の施行や、相次ぐ個人情報漏洩事件を考えると、ファイル添付という非常に便利な機能が実は非常に危険な行為であったということに気付かされた。例えば個人情報を含むファイルをメール添付で送る場合、以下のようなことで簡単に個人情報漏洩事件が発生してしまうのである。

(1) メールアドレスを間違えて送信する
(2) アドレス帳機能が誤ってアドレスを補完する
(3) 受信者の転送設定ミスで他人に転送される

いずれの場合も第三者のパソコンに個人情報の含まれるファイルが転送・保存されてしまう。例えその人に悪意がなかったとしても、その人がWinyなどのファイル共有ソフトを使用し、漏洩事件に発展するという可能性がある。

そこで、個人情報保護の対策として、高性能なファイルサーバであるザイトス（Xythos）を導入した。ここではこのシステムの詳細は触れないが、ファイル添付を止めザイトス経由でのファイル転送を行うことで漏洩事件発生のリスクはかなり軽減できる。残念ながら、一度染み付いてしまった悪しき習慣はなかなか変えられないのではあるが。

個人情報保護に対応するため、メールシステム利用方法を変える必要があった。メールシステムであるミラポイントなどは全く変わっていないのであるが、ザイトスなどを加えた新しい利用環境を第3．5世代と考えることにする。

メールがインフラとしての重要性が高まれば高まるほど、システムの管理運営に求められる要求も高くなってくる。もはやメールシステムは常に正常に稼働していなければならず、止まることが許されないレベルまでに達していると感じられる。止まることが許されないという事なら、他のシステムも同様であると思われるかも知れないが、メールシステムに要求される信頼性は、他のシステムよりも非常に高くなっている。例えば、東京高専のホームページを公開しているWebサーバも非常に重要なシステムではあるが、何らかの障害で1日程度停止しても、それ程大きな問題にはならず、多くの人はその障害に気付きもしないであろう。しかし、メールシステムが1時間停止したら、たぶん、問い合わせや苦情の電話が鳴り続けることになるであろう。信頼性の高いシステムで、たとえ稼働率を99.99%という高い水準に維持したとしても、システムの年間停止時間は約53分である。どんなに頑張ったとしてもこの程度のシステム停止はさける事ができず、しかも、その対応は夜間だろうが休日であろうが、授業中であろうが常に待っ

たなしなのである。この信頼性への要求の変化も第３．５世代の変化の１つである。

ミラポイントの信頼性は非常に高かったが、設置場所の環境はあまり良くなかった。電源電圧が不安定で平日の昼間には90Vを下回ってしまう事もあった。ミラポイントにはUPS機能が内蔵されているのであるが、長時間の電圧低下は不安材料である。米国での100V系の電源電圧は120Vであり、日本よりも高くなっている。入力電圧の許容範囲はある程度広いので100Vでも問題な使用できるが、さすがに90Vを下回るようだと安心して運用できない。

また、空調機の二重化も行っていなかったため、夏場に空調機が故障し、30℃を超えた状態で数日間運用せざるを得なかった事もあった。このような状況で安定した運用は不可能であるが、設置環境問題の根本解決を行うためにはデータセンタ並みの環境整備が必要であり現実的ではない。

また、スパム（迷惑）メールの急増にも対応ができなくなってきた。当初は無視するしかないと考えていたスパムメールであるが、あまりに多くのスパムメールが届くようになり業務に支障をきたすようになってしまった。たぶん、私のメールアドレス宛に送られてくるスパムメールが最も多かったと思われるが（学生を含む全ユーザへの案内メールなどを頻繁に送っていたことが原因であると考える）、対策を実施する直前には、日に200−300通のスパムが届くようになり、本来のメールがスパムに埋もれて見落としてしまうこともあった。とりあえずの対策として、ウィルスゲートウェイ製品のオプション契約で簡易的なアンチスパムフィルタを導入した。これは、スパムメールを送っているサーバのIPアドレスが逐次メーカ側でブラックリストに登録され、そこから送られてくるメールを全てブロックするという仕掛けであるが、東京高専全体で日に１万−２万コネクション（１コネクションで複数のユーザにスパムが送られる）をブロックしかなりの効果を上げた。しかし、更なるスパムの増加により、すり抜けるスパムも多くなり、また、高専機構本部の利用しているサーバのアドレスがブラックリストに登録されてしまいメールが届かなくなるなど、不具合が生じる事もあった。より本格的なアンチスパムフィルタの導入が必要であったが、本格的なアンチスパムのシステムはアンチウィルスのシステムなどと比べて非常に高価であり、予算的に導入は難しかった。

３．５　第４世代
(ASPサービスの利用)

既にメールシステムとしての機能は十分満足できるレベルに達していたが、安定性、安全性、管理運営面などから以下のような項目が求められるようになった。

(1) 24h、365日安定して稼働
(2) スパムメール検出率の向上
(3) 管理運営負担の低減

これらの諸問題はある程度潤沢な予算さえ確保できれば解決可能な問題ではあるが、潤沢な予算を確保するということは最も難しいことでもある。全ての要求を満たす事はもはや不可能であるため、単にシステムの拡大を行うのではなく、実態に合わせた優先項目の精査を行い、必要性の低い項目については切り捨てる事も必要となってきた。

メールシステムとして同じ環境を提供していても、教職員と学生ではその利用方法などはかなり異なっている。表１はいくつかの項目について、教職員と学生を比較した表であるが、教職員が非常に重要度の高いインフラとして利用しているのに対して、大部分の学生は利用頻度が低く、学校側からの連絡を受けるためだけに使用しているという実態がある。

	教職員	学生
重要度	大	小
利用頻度	高	低
主副の別	主メールアドレスの場合が多い	主メールアドレスでない場合が多い
メールソフトの利用	メールソフトを利用する場合が多い	Webメールを利用する場合が多い

表１　メール利用に関する現状分析

最も利用しているのは、全ユーザ数から考えると少数派の教職員であるが、システムの導入コストやサポート契約費用やアンチウィルス・アンチスパムなどの費用、維持管理のコストの大部分は利用頻度の低い学生のために使われている事になる。予算には限りがあるため、利用頻度の低い学生のメールアドレスを維持するために利用頻度の高い教職員へのサービスを十分に行う事ができないというのが現状であり、問題点となっている。

教職員と学生へのメールサービスをどのようにするのかという問題に対する選択肢として、以下の項目が考えられる。

(1) 十分な予算で全ユーザに理想的なメール環境提供
(2) 限られた予算で全ユーザに均等なサービス提供
(3) 教職員により高いサービスを提供し、学生には最低限のサービスを提供
(4) 教職員のみにサービスを提供し、学生は外部のアドレスを利用

(1)の十分な予算を確保する事は非常に難しいと考えられるので、結局は学生までサービスを広げる代わりに教職員へのサービスを低く抑えるのか、学生に対するサービスを低く抑えるか、もしくは止める代わりに教職員へのサービスを向上させるかという究極の選択となる。

費用的に一番コストのかかるのはアンチウィルスやアンチスパムなどのセキュリティ維持費である。これらはユーザ数に応じて毎年継続して費用が発生してしまう。学生のメールサービスを最低限のレベルに抑えるためには、アンチスパムなどのフィルタリングサービスを行わないということが一番効果的であるが、このような無責任なサービスの提供は問題が大きいと思われる。スパムメールの中には非常に悪質な詐欺的なサイトに誘導するものもあるが、このような悪質なスパムメールによって学生が被害にあうことも考えられる。このような危険を承知の上でサービスの提供を行うことはできないと考えるのである。

学生へのサービスを止めてしまった場合の影響についてであるが、一般的な学生の主な利用目的としては、以下の２点に絞られると考える。

(1) 教職員からの連絡受信用
(2) 就職や進学での先方との連絡用

(1) の教職員からの連絡用としては、ミラポイントで設定した配信先リスト(同胞メール)により、クラスや学科、学年単位での連絡が非常に容易に行えるようになっている。しかし、便利であると感じるのは送信側であり、受信する学生にとっては必ずしも便利だとは感じていないと思われる。多くの学生にとってのメールは携帯メールであり、例え学校側からメールアドレスを与えられていたとしても、それを活用している学生はかなり少ないと思われる。特に低学年の学生は、演習室などの共用パソコンしか利用できず、Webメールのシステムにログインしない限りメールの到着を知ることもできないのである。

東京高専では、モバイルキャンパスという学生の携帯メール宛にメールの配信を行うことのできるシステムも利用している。携帯メールでは送ることのできる文字数に限りがあり、また、送る側の使い勝手もまだ改善の余地があるように思えるが、学生への連絡用にはこちらの方が適しているであろう。

就職や進学の際に、先方との連絡用にフリーのメールアドレスでは失礼にあたり、学校のアドレスが必要であるという意見もある。昨年度に進路指導関係で多くの企業の人事担当の方と面談させていただく機会があったので、この点を確認してみた。200社以上の会社に確認をしたが、学校のメールアドレスが必要だという会社は皆無であった。もともと、高専の学生数は多くないため人事担当の方が連絡を行うのは大学生が多い訳であるが、今の大学生は就職関係での連絡用にフリーのメールアドレスを利用することは珍しくないようである。

以上のことから、学生へのメールサービスを完全に止めてしまってもそれほど大きな悪影響は出ないと考える。もちろん、あくまでも予算削減のための苦渋の選択であり、予算面での問題が解決できるのであれば、学生へのサービスはあったほうが望ましいと考える。

総合的に判断して、最も理想に近く、最も現実的な選択は、教職員のみに限定して質の高いアウトソーシングのメールサービスを提供することであると考えた。アウトソーシングにも、ハウジング、ホスティング、ASPサービスといくつかの種類があるわけだが、管理運営の付加を低減するためにはASPサービスの利用が望ましいと考える。

４．新メールシステムの概要

2007年7月に更新した東京高専のメールシステムは、富士通fip社の提供するASPサービスを利用している。費用的な問題からサービスを提供しているのは教職員と専攻科の学生のみであり、残念ながら本科の学生は対象外となってしまった。

ASPサービスであるから、メールサーバなど一切の機器類は学内になく、データセンタ内に設置されたサーバ機器とインターネットを通じて接続し、メールのサービス提供を受けているだけである。ここで使用しているメールサーバなどの機器類は、東京高専の第３世代で使用したミラポイント社のアプライアンス型サーバそのものであり、これに高度なスパムメールフィルタリングを行うアンチウィ

ルス・アンチスパムゲートウェイ製品を組み合わせて構成されている。

現在、ASP型のメールサービスを提供している所は数多くあるが、東京高専で利用していたミラポイントが非常に高性能で使い勝手が良かっただけに、満足できるサービスを見つけることが難しかった。長期間にわたってミラポイントに慣れ親しんだユーザにとって、利用環境が変わるというのは余程の機能改善がない限りうれしくないものであり、機能が低下したり使い勝手が悪くなるなどは論外であろう。

今回利用させていただいた富士通fip社のサービスは東京高専がその顧客の第一号となった。サービスインのかなり前から綿密な打ち合わせを行っていただき、東京高専側の要求を満足できるよういろいろな調整を行っていただくことができた。この打ち合わせと調整は非常に重要であり、両者の考える理想的なメールシステム像がほぼ同じであったということもあるが、ほぼ理想的なシステムをオーダーメイドで構築していただいたようなものであった。

サービス内容は、基本的には第3世代のサービスに準拠しているが、以下のような幾つかの点で改善がなされている。

(1) 全ての通信でsslでの暗号化に対応
(2) 送信（SMTP）でサブミッションポートを採用
(3) 自宅など学外からもpopによるアクセスが可能
(4) 強力なアンチスパムフィルタで迷惑メール防止
(5) Webポータルによる各自設定項目の集約化
(6) 個人単位のスパム設定が可能
(7) ジャンクメールマネージャによる隔離処理に対応

これらの変更点は殆どがセキュリティ強化のための改善であり、より安全に利用できるようになっている。これらの変更に伴って、現在利用しているメールソフトの設定を一部変更しなければならないが、これは一度きりの作業であり、それ以外の操作方法、使い勝手などはこれまでと殆ど変わっていない。学内にサーバを設置しての運用からASP型で学外のデータセンタのサーバを利用する方式に大きく変化したのであるが、初期設定さえ済めば旧システムとの違いがわからないくらいである。

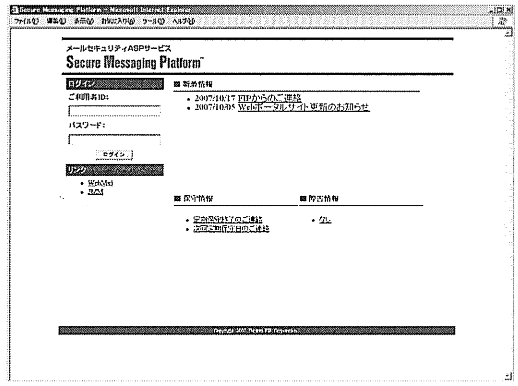


図7　Webポータルの画面

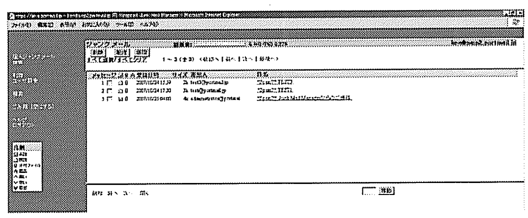


図8　ジャンクメールマネージャの画面

5．新メールシステムにおけるメールの流れ

新しいメールシステムは、ASPサービスを利用していることから、どこにある、どのサーバと、どのような通信を行ってメールが送られるかということがわかりにくくなっている。そこで、新しいメールシステムでメールの送受信を行った場合、どのような流れでメールが送られているのか、送信と受信のそれぞれについてメールの流れを示す。

ここで登場するのは以下のパソコンとサーバである。

PC1：あなたのパソコン
（メールソフトがインストールされている）
PC2：メールの相手のパソコン
（メールソフトがインストールされている）
SMTPサーバ1：東京高専の送信用メールサーバ
（富士通fip者のデータセンタに設置されている）
POPサーバ1：東京高専の受信用メールサーバ
（富士通fip者のデータセンタに設置されている）
DNSサーバ1：東京高専のDNS（ネーム）サーバ
（東京高専内に設置されている）
SMTPサーバ2：メール相手の使用している送信用サーバ
POPサーバ2： メール相手の使用している受信用サーバ
DNSサーバ2：メール相手ののDNS（ネーム）サーバ

5．1　メールの送信（メールソフトの場合）

あなたがPC1にインストールしたメールソフトでメール相手にメールの送信を行った場合を考える。新しいメールサーバでは、学内からでも自宅などの学外からでも全く同じようにメールソフトを利用したメールの送受信が行えるため、PC1の設置場所は問わない。

実際には以下のようなステップでメールが送られることになる。

(1) PC1のメールソフトで新規メールを作成し、送信ボタンを押す
(2) メールソフトがSMTPサーバ１に接続し、ユーザID、パスワードでの認証を行う
(3) 認証が済むと、メールがSMTPサーバ1に転送される
(4) SMTPサーバ1はメール相手（送り先）のメールアドレスからドメイン（@以下）を抜き出す
(5) SMTPサーバ1はDNSサーバ2に接続し、SMTPサーバ2のIPアドレスを調べる（MXレコード）
(6) SMTPサーバ1はSMTPサーバ2に接続しメールを転送する
(7) SMTPサーバ2はメール相手のメールアドレスが登録されている正しいユーザかどうか判断する
(8) もし、正規に登録されていた場合には、メール相手のメールボックスに保存する
(9) POPサーバ2は、メール相手がメールの確認をしたら新規メールの到着を知らせ配信を行う
(10) メール相手はメールソフトでメールを読むことができる

5．2　メールの受信（メールソフトの場合）

あなたがPC1にインストールされたメールソフトでメール相手からのメールを受信した場合には、以下のようなステップで受け取ることになる。

(1) メール相手がPC2でメールを作成し、送信ボタンを押す
(2) PC2のメールソフトがSMTPサーバ2に接続し、作成したメールが渡される
(3) SMTPサーバ2はあなたのメールアドレスから東京高専のドメイン（@以下）を抜き出す
(4) SMTPサーバ2はDNSサーバ1に接続し、SMTPサーバ1のIPアドレスを調べる（MXレコード）
(5) DNSサーバ1は、SMTPサーバ1のIPアドレスを教える
(6) SMTPサーバ2はSMTPサーバ1に接続し、メールを転送する
(7) SMTPサーバ1はあなたのアドレスが登録されている正規のユーザかどうか判断する
(8) もし、正規に登録されていた場合には、サーバ内のあなたのメールボックスに保存する
(9) あなたがメールソフトでメールの到着を確認すると、POPサーバ1に問い合わせを行い取得する
(10) あなたはメールソフトでメールを読むことができる

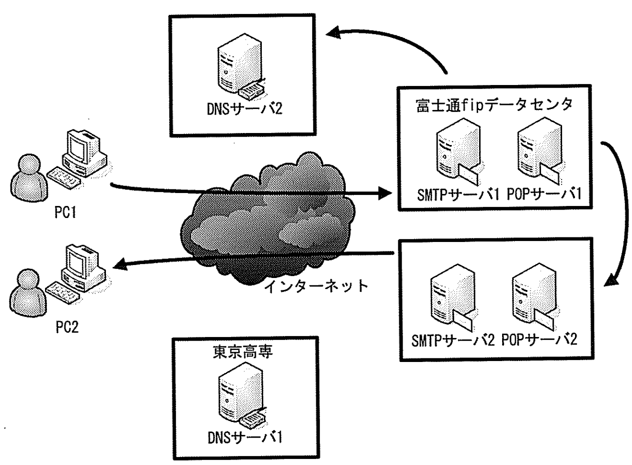


図９　メールの送信

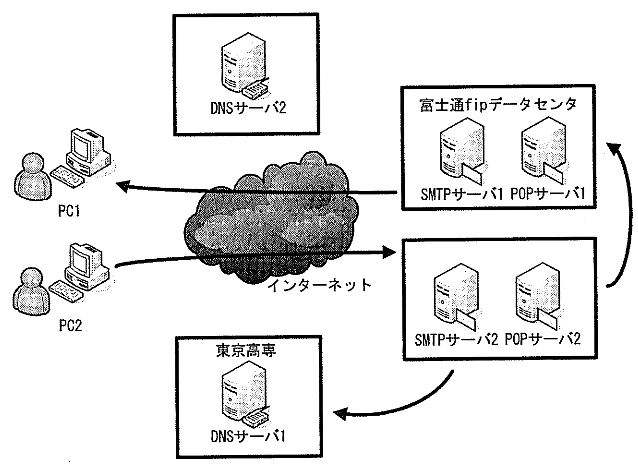


図10　メールの受信

6．まとめ

約15年に渡る東京高専の歴代メールシステムの概要と、当時の背景、問題点とその解決方法の推移などについてまとめてみた。ITの世界は非常に移り変わりが激しいため、五年一昔か三年一昔といったタイムスケールでメールシステムの更新も実施してきたわけであるが、世の情勢の先読みはまったくできず、常に問題への対応に追われた15年だったような気がしている。今後どのような進化・変化が起こるのか全く予想もできないが、きっと予想もしなかったような展開が起こるのであろう。

メールシステムの変遷は、技術的な進歩というより、周囲の環境の変化や利用者の意識の変化によって変わるところが大きかったように思える。現状の問題点を考えてみると、急激に増大し続けているスパムメールなどによって、もはや電子メールの仕組み自体を変えなければ対処できないような段階まで来ているのでないかと思われる。スパムメールの検出は、ウィルスの検出などよりも格段に難しくなっている。それは、同じメールでもある人にとっては有益なメールであり、別の人にとっては迷惑なメールであるというように、スパムの判断が非常に難しいからである。現段階では、十分満足できるスパムフィルタはどこにも存在せず、多額の費用をかけて複数段のフィルタリング処理を行ったとしても、すり抜けてくるスパムメールを完全に防ぐことはできない。もっとも、スパムメールを送るほうも必死であり、日夜いかにスパムフィルタをすり抜けるかという課題に取り組んでいるわけで、永遠に終わらないイタチゴッコになっているわけであるが。

最近、メールが届かなかったという不具合をよく耳にする。私自身も何度か経験していることであるが、不十分なスパムフィルタによって削除されてしまった可能性が高いと思われる。以前、高専機構本部の利用しているメールサーバのIPアドレスがスパムの発信元としてブラックリストに登録されてしまい、機構からのメールが一切届かなくなるという不具合も発生した。このブラックリストを管理しているところでも急激に増大しているスパムメール対策に苦慮していたのであろう。どうやら本当に悪さをしている１台だけをブラックリストに登録するのではなく、所属しているブロック（256台分）全部をブラックリストに登録してしまったようである。悪さをしているコンピュータのIPアドレスは次々と変更していくため、ブロックごと登録しないと効果が期待できなかったのであろうが、随分と乱暴な話である。やはり、メールを含むインターネット環境は100%確実で信頼できるようなものではない、ということを再認識しておく必要があると思われる。少なくとも、メールは送れば必ず届くというものではなく、確認作業が必要となるであろう。

そうは言っても、メールは非常に重要なインフラであり、また、非常に便利な道具だと感じるのも事実である。しかし、最近どうも四六時中メールに振り回されているように感じるのは私だけではないであろう。あまりにもメールという道具に依存してしまうと道具に使われてしまうことになるわけである。そのことを反省し、「ノーEメールフライデー」という運動を導入している企業が出始めている。社員の負荷軽減のため金曜日や週末のメール利用を禁止するという運動であるが、東京高専でも月に１度くらいは導入してみても良いのではないだろうか。

7．参考文献

SMP_メールクライアント設定変更手順書_v1.1.doc：
http://xythos.tokyo-ct.ac.jp/xythoswfs/webui/_xy-819462_1-t_Ny9rw92X

Portal_ご利用者様向けマニュアル_v1.0.pdf：
http://xythos.tokyo-ct.ac.jp/xythoswfs/webui/_xy-819461_1-t_L2bZOxBn

JMM_ご利用者様向けマニュアル_v1.0.pdf：
http://xythos.tokyo-ct.ac.jp/xythoswfs/webui/_xy-823996_1-t_m68Rdq4U

メールセキュリティASPの事例（東京高専）：
http://www.mirapoint.co.jp/case_studies/mp_tokyo_kousen.pdf

Xythosの事例（東京高専）：
http://www.xythos.jp/_media/pdf/Tokyo_TNCT_CaseStudy.pdf

（平成20年1月7日　受理）

表面テクスチャ画像の回転角と拡大縮小倍率の高精度計測

青木宏之*，三木　明*

High Accuracy Measurement of Rotation Angle and Scale Factor for Surface Texture Images

Hiroyuki AOKI, Akira MIKI

This paper reports a method for high accuracy measurement of the rotation angle and the scale factor for surface texture images using phase-only correlation (POC) techniques. After the images have been transformed by a two-dimensional discrete Fourier Transform (2D-DFT), POC uses only the phase information to calculate the correlation and yields a clearer correlation peak to estimate the displacement between images. In this paper, the test images were taken from daily life objects such as the surfaces of furniture, which may seem not to have any significant features. Simulations demonstrate that the technique of applying POC can estimate 1/100 degree accuracy in rotation angle for the five test images and 1/2000 scale accuracy in scale factor for four out of the five test images.

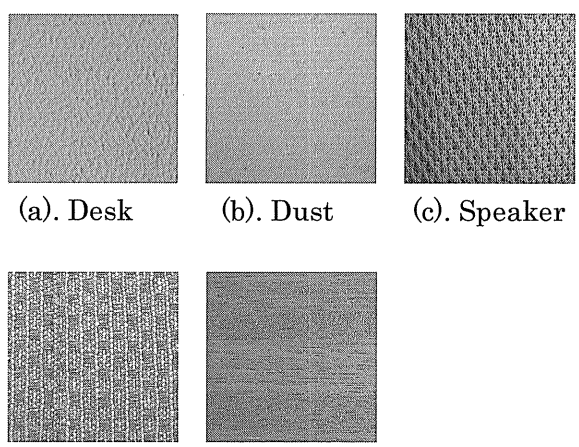
(Keywords: phase only correlation, rotation angle, scale factor, texture image)

1．はじめに

近年の携帯電話やデジタルカメラ，パソコンの普及，並びにそれら製品の高性能化・低価格化により画像データの取り扱いは益々容易になり，さまざまな目的や用途に応じて画像処理を行う機会が爆発的に増えてきた．例えば，顔や指紋，静脈等の画像認識はもとより，ロボットや自動車における画像認識，莫大な画像データベースの中から目的の画像を探し出す画像検索，工業用途の分野では画像による製品欠陥検査・品質チェック，あるいは部品実装のための位置合わせ制御等，様々な応用がなされている．

そうした目的や用途に応じてこれまで様々な画像処理技術が開発されてきているが，その中で近年，位相限定相関（Phase-Only Correlation; POC）を用いた画像照合技術がその性能の高さと応用範囲の広さから注目を集めている[1],[2],[3]．POC とは，画像を 2 次元離散フーリエ変換（2-Dimensional Discrete Fourier Transform；2-D DFT）して得られる振幅成分と位相成分のうち位相成分のみを用いて相関演算を行う手法である．POC は 2 枚の画像の一致判別を行うと同時に，同一画像の場合は両者の画像の位置ずれ量も検出可能である．更にこの POC の手法にいくつかの前処理を追加することにより，画像の回転角や拡大縮小倍率の計測も可能となる．

そこで本報告では，POC の手法を活用した回転角と拡大縮小倍率の計測がどの程度の高精度で行えるかの検証を行う．更に本報告では計測の対象とする画像には，図 1 に示すように研究室内の身近に存在する主に家具類の表面テクスチャ画像 5 種類を用いた．これら画像は人の目からみると無地あるいは単なる繰り返し模様に映る画像であり，特徴が捉えにくい画像である．図 1 で(a)は学習机の表面，(b) はファイルロッカーの屋根（埃がたまっている），(c)は卓上スピーカの表面，(d)はソファの表面，(e)は木の柱の木目表面である．これら画像サイズはいずれも 1000×1000 pixel である．



(a). Desk　(b). Dust　(c). Speaker
(d). Sofa　(e).Wood

図 1　本報告で使用する検証画像(元画像)

*電子工学科

2．位相限定相関（POC）

以下に，POC の具体的な計算手法を示す．画像サイズ $N_1 \times N_2$ の画像 $f(n_1,n_2), g(n_1,n_2)$ に対して，その 2D-DFT を $F(k_1,k_2)$, $G(k_1,k_2)$ とする．

$$\begin{aligned} F(k_1,k_2) &= \sum_{l_1,l_2} f(n_1,n_2) e^{-i\frac{2\pi}{N_1}k_1 n_1} e^{-i\frac{2\pi}{N_2}k_2 n_2} \\ &= A_F(k_1,k_2) e^{i\theta_F(k_1,k_2)} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} G(k_1,k_2) &= \sum_{l_1,l_2} g(n_1,n_2) e^{-i\frac{2\pi}{N_1}k_1 n_1} e^{-i\frac{2\pi}{N_2}k_2 n_2} \\ &= A_G(k_1,k_2) e^{i\theta_G(k_1,k_2)} \end{aligned} \tag{2}$$

$$k_1 = 0,\cdots,N_1-1, k_2 = 0,\cdots,N_2-1$$

ここで，$\sum_{l_1,l_2}$ は，$\sum_{l_2=0}^{N_2-1}\sum_{l_1=0}^{N_1-1}$ の意味であり，また $A_F(k_1,k_2), A_G(k_1,k_2)$ が各振幅成分，$e^{i\theta_F(k_1,k_2)}, e^{i\theta_G(k_1,k_2)}$ が各位相成分である．

相互パワースペクトルは次式で与えられる．

$$\begin{aligned} R(k_1,k_2) &= F(k_1,k_2)\overline{G(k_1,k_2)} \\ &= A_F(k_1,k_2)A_G(k_1,k_2)e^{i\{\theta_F(k_1,k_2)-\theta_G(k_1,k_2)\}} \end{aligned} \tag{3}$$

ここで，$\overline{G(k_1,k_2)}$ は $G(k_1,k_2)$ の複素共役を表す．また，位相成分のみの相互パワースペクトル $\hat{R}(k_1,k_2)$ は次のように表現される．

$$\begin{aligned} \hat{R}(k_1,k_2) &= \frac{F(k_1,k_2)\overline{G(k_1,k_2)}}{\left|F(k_1,k_2)\overline{G(k_1,k_2)}\right|} \\ &= e^{i\{\theta_F(k_1,k_2)-\theta_G(k_1,k_2)\}} \end{aligned} \tag{4}$$

位相限定相関関数 $\hat{r}(n_1,n_2)$ は，この $\hat{R}(k_1,k_2)$ を 2 次元逆離散フーリエ変換(2-D IDFT)を行うことにより次式で与えられる．

$$\hat{r}(n_1,n_2) = \frac{1}{N_1 N_2}\sum_{n_1,n_2}\hat{R}(k_1,k_2) e^{i\frac{2\pi}{N_1}k_1 n_1} e^{i\frac{2\pi}{N_2}k_2 n_2} \tag{5}$$

3．POC による回転角と拡大縮小倍率計測

POC は 2 枚の画像の一致判別ならびに画像位置ズレ量の計測に優れた性能を有するが，以下のような前処理との組み合わせにより，回転や拡大縮小倍率の計測も行うことが可能である．その処理概要を以下に示す．

[Step1]

2-D DFT のエイリアシングの影響を除去するため窓関数をかける．

$$f_w(n_1,n_2) = f(n_1,n_2) \times W(n_1,n_2) \tag{11}$$

ここで，$W(n_1,n_2)$ は窓関数を表している．

[Step2]

$f_w(n_1,n_2)$ を 2D-DFT し，$|F_w(k_1,k_2)|$ を抽出する．

$$f_w(n_1,n_2) \xrightarrow{\text{抽出}} |F_w(k_1,k_2)| \tag{12}$$

[Step3]

$|F(k_1,k_2)|$ における各々の成分に対し次式のように log を取る．

$$F'(k_1,k_2) = \log\left(|F_w(k_1,k_2)|+1\right) \tag{13}$$

[Step4]

$F'(k_1,k_2)$ に対し，極座標変換と対数化展開(log-polar 展開)を行う．

$$F'(k_1,k_2) \xrightarrow{\text{log-polar}} F_{log-polar}(r_{log},\theta) \tag{14}$$

[ステップ 4]における極座標変換により，元画像における回転は X 方向(横軸)の位置ズレ量に，対数化展開することによって画像の倍率変化は Y 方向(縦軸)の位置ズレ量に変換される[4]．図 2 に回転と拡大縮小倍率を計測するための処理ブロック図を示す．

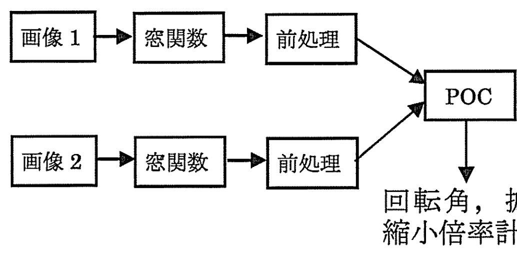


図 2 回転角と拡大縮小倍率計測のための処理ブロック図

4．シミュレーション

図 1 に示した 5 種類の画像それぞれに対して，図 3 に示すようにある中心位置を定め，(1) 回転 è＝- 90～+ 90 (1 度刻み)を施して切り出した画像，(2) 倍率 R= 0.5～+ 2.0 (0.01 倍刻み)で拡大縮小処理を施し切り出した画像，また，(3)，(4) X-Y

方向それぞれに l = - 115~ + 115 (1pixel 刻み) で位置ずれ操作を行った画像をテスト画像として生成する．切り出す画像のサイズは 256×256pixel とする．これらテスト画像と元画像との間で図 2 に示す処理を行い，回転角，拡大縮小倍率，X 方向・Y 方向の位置ずれ量の計測を行う．なお，画像の回転や拡大縮小処理には MATLAB の組み込み関数を使用し，データの補完は双キュービック補完を用いている．

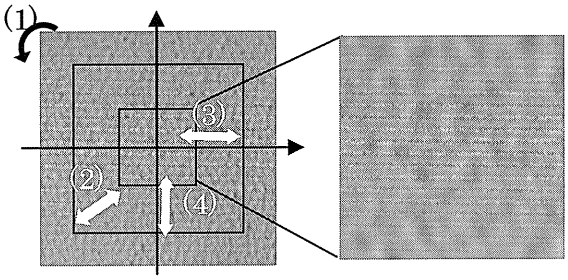


図 3　テスト画像の生成
((1)回転，(2)拡大縮小，(3) X 方向移動，(4) Y 方向移動)

本シミュレーションにおける評価は，(1) 回転角計測，(2) 倍率計測，(3) X 方向位置ずれ量計測、(4) Y 方向位置ずれ量計測で，それぞれ以下の式(15)~(18)で評価している．

(1) $\varepsilon_\theta = \Theta - \theta$　(15)

(Θ:既知の回転角, θ:検出した回転角)

(2) $\varepsilon_r = \dfrac{1}{R} - \dfrac{1}{r}$　(16)

(R:既知倍率, r:検出した倍率)

(3) $\varepsilon_x = \delta_x - x$　(17)

(δ_x:既知のX方向ズレ量, x:検出したX方向ズレ量)

(4) $\varepsilon_y = \delta_y - y$　(18)

(δ_y:既知のY方向ズレ量, y:検出したY方向ズレ量)

以下にシミュレーション結果を示す．図 4 は画像 Dust に対して角度 1 度毎の計測誤差を，図 5 は同じく画像 Dust に対して倍率 0.01 倍毎の計測誤差を示す．回転角の計測誤差は 0.02 度以下に，倍率のそれは縮小のときにやや誤差は大きくなるもののほぼ 0.001 以下であり，非常に高い精度で計測が行われていると言える．Dust 以外の画像についても結果を表 1，表 2 にまとめる．ここで RMS 誤差とは例えば回転角の場合，データ数を N として

$$E_\theta = \frac{1}{N}\sqrt{\sum_i \left(\Theta_i - \theta_i\right)^2} \tag{19}$$

で計算される誤差量である．

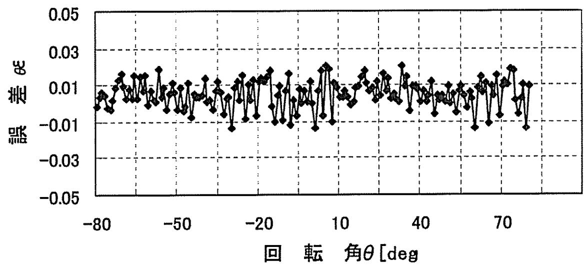


図 4　画像 Dust における回転角検出誤差

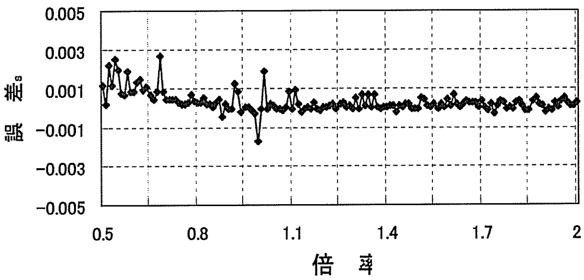


図 5　画像 Dust における倍率検出誤差

表 1　回転角計測誤差結果[単位: degree]

画像	最大誤差	RMS 誤差
Desk	0.0321	0.0076
Dust	0.0205	0.0077
Speaker	0.0262	0.0076
Sofa	0.0214	0.0068
Wood	0.0236	0.0080

表 2　倍率計測誤差結果

画像	最大誤差	RMS 誤差
Desk	0.0023	0.0003
Dust	0.0027	0.0004
Speaker	0.0025	0.0004
Sofa	0.0029	0.0002
Wood	0.2012	0.0930

回転角の計測についてはいずれの画像も RMS 誤差は0.01度以下であり，高精度な計測が行われていると言える．一方，倍率変化については画像 Wood に大きな誤差が見られるが，それでも RMS 誤差は0.1以下であり，他の４種類の画像については 0.0005 以下と極めて高精度な計測が行われている．

次に，図6，図7に画像 Dust に対する 1 Pixel 毎の X 方向，Y 方向の位置ズレ量の計測誤差を示す．X 方向に-60 Pixel 程度から ＋60 Pixel 程度の範囲のずれ量に対してはほぼ誤差0で計測でき，極めて高精度である．Y 方向についてもほぼ同様の結果である．他の画像についての X 方向，Y 方向のずれ量計測誤差を表3，表4にまとめる．画像 Wood を除いてほぼ 0.02 Pixel 以下の誤差で計測されている．画像 Wood には正確な周期性をもつパターンが含まれているようであり，高精度計測を行ううえでのひとつの課題を示唆している．

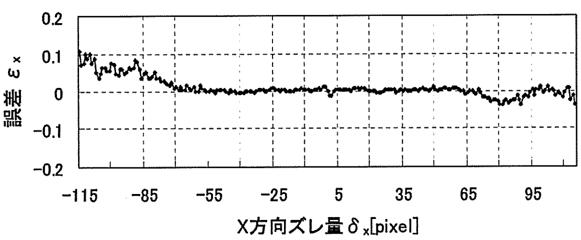


図6　画像 Dust における X 方向ズレ量誤差

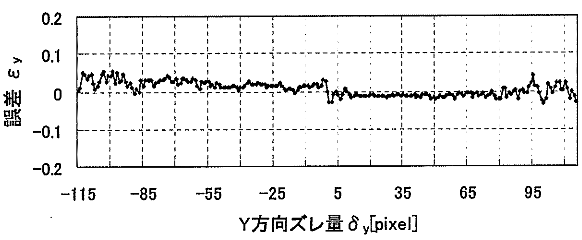


図7　画像 Dust における Y 方向ズレ量誤差

表3　X 方向位置ズレ検出精度[単位:Pixel]

画像	最大誤差	RMS 誤差
Desk	0.2168	0.0188
Dust	0.1065	0.0159
Speaker	0.0814	0.0150
Sofa	0.1010	0.0188
Wood	11.7540	5.7740

表4　Y 方向位置ズレ検出精度[単位:Pixel]

画像	最大誤差	RMS 誤差
Desk	0.1277	0.0229
Dust	0.0548	0.0170
Speaker	0.0756	0.0153
Sofa	0.0861	0.0200
Wood	11.5200	5.7444

5．まとめ

室内の身近に存在する主に家具類の表面テクスチャ画像を用いて，回転角や拡大縮小倍率がどの程度の精度で計測できるかを検証した．これらテスト画像は人の目から見ると無地あるいは単なる繰り返し模様である．しかし，図5，図6あるいは表1，表2で示したように，POC を活用した手法は極めて高精度な回転角や拡大縮小倍率の計測が可能である．画像の回転角については 1/100 度の精度で，倍率については５種のテスト画像のうち４種の画像で 1/2000（残り１種の画像では 1/10）の精度である．POC は任意のデータ列同士のマッチング検出には極めて優れた性能を持つが，正確な周期を刻むパターンを含む画像の高精度 X,Y 方向位置ずれ検出には課題が残されている．

参考文献

[1] K. Takita, T. Aoki, Y. Sasaki, T. Higuchi, K. Kobayashi, “High-Accuracy Subpixel Image Registration Based on Phase-Only Correlation”, IEICE Trans, Fundamentals, Vol.E86-A, No.8,pp.1925-1934, Aug. 2003.

[2] K. Takita, MA. Muquit, T. Aoki and T. Higuchi, “A Sub-Pixel Correspondence Search Technique for Computer Vision Applications”, IEICE Trans, Fundamentals, Vol.E87-A, No.8, pp.1913-1923, Aug. 2004.

[3] K.Ito, H. Nakajima, K. Kobayashi, T. Aoki, T. Higuchi, "A Finger Matching Algorithm Using Phase-Only Correlation," IEICE Trans, Fundamentals, Vol.E87-A, No.3, pp.682-691, March 2004.

[4] Gerhard X. Ritter, Joseph N. Wilson, “Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra,” Second Edition, CRC PRESS 2001.

（平成20年1月7日　受理）

1，2年生HRにおけるキャリア開発の試み

吉本定伸*，竹田恒美**，相澤俊行**，鈴木雅人*，小嶋徹也*

Homeroom Activities to Foster the Students' Sense of Career-development

Sadanobu YOSHIMOTO, Tsunemi TAKEDA, Toshiyuki AIZAWA, Masato SUZUKI and Tetsuya KOJIMA

Although the importance of homeroom activities has been repeatedly mentioned, few effective and practical managing methods have been utilized in the national college education system. The purpose of this paper is to explain how the students' sense of career-development has been fostered in the past two years. Some initial trials for the homeroom activities of the first and second year students are reported in this paper.

(Keywords: homeroom activities, career-development, allotment of student's major)

1　はじめに

HR活動は学生の成長を助ける意味でも重要な特別活動である．このHR活動は高等学校のみならず，高専においても重要視されており[1]，本校（東京高専）でもHRプロジェクト会議が立ち上がったことで，より体系だてた方針が検討されている．

一方，平成17年度より1年生は混合学級のシステムが導入された．授業では幅広い分野の学習という目的で，ものづくり基礎工学が実施されるようになり，各学科の一面を体験することができるようになった[2]．混合学級という形式になったことで，学生はものづくり基礎工学や年2回実施される学科ガイダンスなどを参考にしながら，次年度の配属先学科を選択できるようになった．混合学級形式となった最初の年，我々教員は当然のこととして，学生が自主的に興味のある学科を調べ学科選択に生かすということを期待していた．もちろん1年生向けのガイダンスでは，学科選択に関係する質問などがあれば，学科長を訪ねるようにとアナウンスがなされた．結果，確かに学生自身にとって距離の近い教員や先輩などと話す機会はあったようであるが，担任に詳細を聞いてくる学生はほとんどおらず，ましてや実際に学科長にまで聞きに行くといった報告例は耳に届いてこない．

他方，2年生では各学科に配属されることになる．工場見学はあるものの，自分の身近な問題として学科における特有の就職先など，自らの将来の進路についてじっくりと考える機会が登場するのは，インターンシップが実施される4年生頃からである．むろんそれまでに，将来はこうなりたいという考えを持った学生はいるとしても，低学年から具体的に企業や職種について調べるといった行動をとることはほとんど無いと思われる．

1年生は他学年に比べ学科配属という山を越える必要があるため，全般的に授業や勉強に集中できていると思われるが，学科配属された後の2年生からの専門科目への興味や，授業・勉強に対する意欲やがんばり，そして年齢からみても少々難しいかと考えられる職業意識といった面などを総合的に見て，この時期に自分はどのような学科に進み，また所属する学科で学んでいけば，どのような職業に就くのかを調べるという経験を積むのは一つの良い方法であると考えられる．

本報告では，1，2年生という低学年におけるキャリア開発という観点に主眼を置き，混合学級～学科選択～学科配属という一連の流れの中で，どのようなHRを行うべきかという問題に対し，試行的に実施した例を挙げ，状況と今後の改善すべき点などについてまとめた内容を報告する．ただし，実際には学科全体として，例えばＯＢや先輩による講演など，関連した活動を独自に行っていることもあると思われるが，ここでは担任独自の

＊情報工学科　＊＊一般教科（英語）

ＨＲ活動として行える範囲の内容に焦点をあてている．

2　１年生のHR活動

2．1　概要

先に触れたように，混合学級初年度は学科選択のために自ら行動し，情報を収集するという状況を期待していたが，そのような活動を行っていた学生の姿はほとんど見られなかった．

学生に聞くと，配属学科については大部分の学生が入学時に決めており，ものづくり基礎工学の印象や，友人関係を考慮してという話も挙がっていた．このようなことは想定される範囲ではあるが，せっかくの混合学級が学科選択に生かされていない気がしてならない．たとえ入学当初から決めていたとしても，2年生に進級した後，自分がその学科を選んで良かったのか，後々迷うことのないように，自ら調べおくべきではないかと考え企画した．

一方，学生とは言いつつも高校１年生と同等の年齢であることを考慮すると，若干の手助けが無いと，なかなか自分から行動に移すと言うことは難しいのかもしれない．この点でHRはよい後押しの場とすることができる．

2．2　方法と活動状況

「学科調べ」活動は表１のような流れで行った．

表１　実施方法（一部抜粋）

- 10班編成．5学科を「授業内容班」「卒研・就職進学班」に分割．
- 各班は最大６人まで（円滑な調べ活動を意識して自由決定）．
- 報告書は班としてA4で４枚以上．
- まとめたことを４分程度で発表．
- 発表では説明用に資料を用いても良い．

ここで，今回の活動に要したＨＲの利用回数は大きく分けると

１回目：趣旨説明，班決め，班担当内容決め

２回目：グループ作業（予定などの計画）

３回目：発表

となる．1，２回目は連続であるが，３回目の発表は２回目から約１ヶ月ほど空け，その間に学科ガイダンス，第２回の学科調査が行われる形となった．実質の調査時間の確保は行わなかったが，学生にはＨＲが連絡事項主体となりそうな日は，予め各班で相談し，活動時間として利用するようにと伝えておいた．

2．3　学生の活動状況

学生の調べ方としては，まず学科HPから調べることになると予想されるが，HPだけではすべてはわからない．条件として，必ず関係者へ質問に行くこと（なるべく学科長に）とした．実際，アポをとるなどして，積極的に学科長へ質問に行く班もあった．

各自，自分の班が担当した内容については，多かれ少なかれ調べたことにより，学科の状況が分かったようである．発表については，あまり経験もないことから準備不足の感があった．図１にその様子を示す．

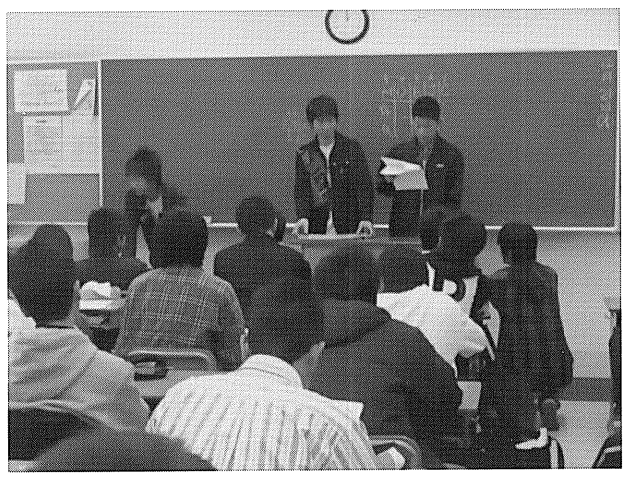


図１　１年生発表の様子

あらかじめ発表用の資料を用意しておいてもよいと言うことにしていたが，自分たちの原稿以外の用意はほとんど無かったため，調べたことを相手にわかりやすくという点では，今後方法等を考慮する必要がある．

2．4　まとめ

今回は，学科最終希望調査が行われる前の冬休みで，再度考える時間を確保したいと考え，12月末に発表という形をとった．しかし実際はいろい

ろなイベントも重なり，あまり余裕がなく，実施時期が少し遅いと感じられた．このことから，後期の第1回学科調査の時期までにこの調査を終え，たとえば調査の内容を元に学科ガイダンス等で学科長に質問ができるというスタイルがよいと思われる．また，1年生ということも考え，少しスパンを長くし，進捗状況なども合わせて活動を行うとよいと考えられる．

発表については調べた内容をクラスメイトに分かるようにする工夫が必要である．実際パワーポイント等のツールが利用できれば改善される部分も多いと思われるが，そのためには事前に別途利用法の講習が必要となる．このことから発表前に，一度発表資料作成のため時間を取り，模造紙等を利用し，資料を作成するのも一案だと考えられる．

3　2年生の HR 活動

3．1　概要

1年生では学科配属が関係するため，勉強面やその他活動など全般的に，とにかくがんばるという傾向が見られた．一方2年生になり，いろいろな意味で自由に活動できる場面が多くなる．その分，自分の好きなことに取り組むことができるが，逆の見方をすれば，例えば目的意識が薄れてしまうと，中たるみのような状況も発生しやすい環境にあると言える．また，授業に関連しても2年生では専門科目の量自体も多くなく，内容も基礎的であるため，専門で勉強を始めたという実感があまり感じられない部分もあると思われる．

他方，将来についてのクラスアンケートをみると，漠然とではあるが，（情報工学科では）SE やプログラマになりたいという希望を持った学生も多くみられる．進学希望もいるが，その先には就職が待ちかまえている．

このような中，2年生でもある程度具体的に，この先自分はどのような職業に就くのだろうといった進路について触れておくのは，今後の学生生活を考えれば，モチベーションの向上や，少し先は長いが，夏期実習への準備などとしてプラスの面が多いと考えた．ただし，学生にとって実感を湧きやすくする目的で，なるべく現実的な企業をピックアップし，調べる内容も，実際に募集されている職種，求められる人材などについて触れてもらう必要があると思われる．

3．2方法と活動状況

まず準備として5年担任（進路指導担当教員）から，最新の情報（訪問企業，郵送企業一覧など）を入手し，ある程度まとめたものを資料として配付した．また，進捗状況などを確認するため，班別調査シート（図2）を作成し，班員，調べる担当企業，簡単な予定を書き込めるようにしたものを班長に手渡した．「企業調査」活動は表2にように行った．

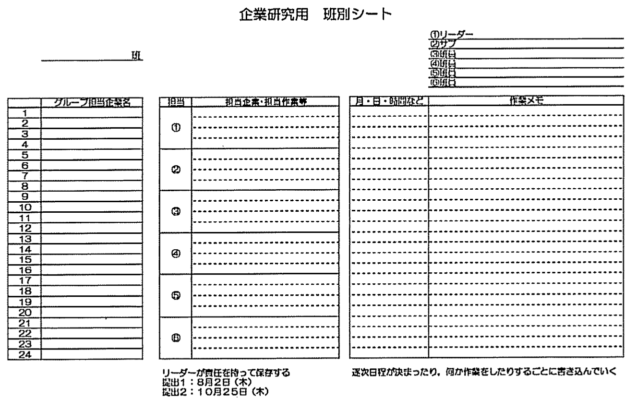


図2　班別調査シート

表2　実施方法（一部抜粋）

- グループ作業で学科訪問企業を中心に，特に職種を中心として調べる．1人2社．（資料に無いところでも可）
- 「どのようなことをやっている会社」，
  「どのような仕事に就く」，
  「どのような人材を希望している，スキルが必要か（身につくか）」など調べる．
- 報告書は1社当たり A4 用紙で 1～2 枚程度．
- 発表は PPT で5分程度．

ＨＲ時間の設定としては，

1回目：班の決定，企業調査企業の選定

2回目：発表

となる．1回目は7月下旬に実施した．企業の選定などに時間が取られる様子で，時間内に終了しない班もあったため，途中で作業を終了させ，班別調査シートは後日提出するようにした．また，実際の調査は班で連絡を取り合いながら，夏休みを利用するように伝えた．

2回目の発表は10月下旬に行った．全校集会などでＨＲの時間がなかなか取れなかったため，資料作成時間は設けず，各班独自に進める形とした．

３．３　学生の活動状況

班により進め方に大きな違いが出た．実際に夏休み中に，就職資料を見せてほしいと来た学生もいた．班別シートで班の予定を確認すると，夏休み中に何らかの作業を行っている班もあったが，発表やレポートなどトータル的にみると，多くの学生は，夏休み明けの作業が大部分ではないかと推測される．

発表については，企業の概要のみを話したものから，調べた企業の全体的な傾向を発表したものまで様々である．全般的に資料を片手に持つことはあっても，それを読みながらの発表はほとんど無かった．発表資料の出来や発表の上手い下手は別として，パワーポイントを利用したことにより，調べたことがらは，1年生の例よりも格段に伝わるようになったと感じられた（図3）．

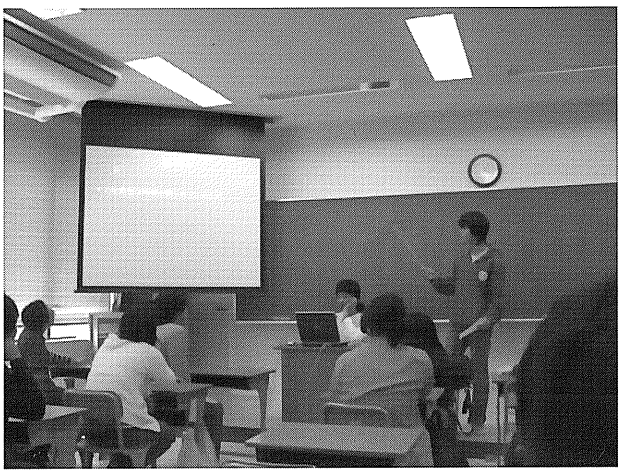


図３　２年生発表の様子

３．４　まとめ

幾つかの班からは，表現は異なるが発表において，企業ではコンピュータに関する知識や英語も必要．しかし取り組む意欲やコミュニケーション力といった人間力に関することがかなり重要視されているようだと言うことを述べており，クラス全体としてもある程度共通の認識があったと思われる．

今回の活動は，夏休み中も班員と協力して活動することが出来ると考え，夏休みの前後に企画した．休みを有効に利用した学生もいるが，全体的に見て休みを挟む必要性は少なく，時期としてはもう少し早めに設定してもよいと思われる．また，ＨＲ活動としては2回しか確保しなかったが，班別の中間的作業を追加，もしくは進捗状況の確認をした方が，全体的な作業効率（最終的な完成度）が向上すると思われる．

発表会ではプレゼンテーションツールなどの威力が再認識出来たが，前もってＰＰＴの利用法や発表についてのマナーなどの講習を行っておく必要がある．この点を考慮すると，一般的には2年生においても1年生と同様に模造紙などを利用する方法が良いと思われる．

４　さいごに

本報告では，1年生および2年生におけるＨＲ活動の試行例を報告した．

低学年でのキャリア開発という観点も考慮し，1年生では学科配属に関連づけ，授業概要，卒業研究，進路，就職先を調査．2年生ではもう少し踏み込み，学科における具体的な就職先や職種，必要とされる人材などの観点から調査するという体系で進めた．

2年生では発表用に資料（PPT）を用いたため，発表においては1年生時の発表よりも活気があり，全体的によい結果であったと思われる．

今回は初めての試みであり，担任の試行レベルの感がぬぐえないが，今後のＨＲ実施における一つのたたき台としてなればよいと考えている．一方で，担任が企画・実施をするために，このような内容を実現するためには，それなりに負担が大きくなる．このため，今後効率化についても考えていく必要がある．

参考文献

[1]基本プランに基づく高専におけるホームルーム活動の実践：渕田邦彦，村田秀明，湯治準一郎，工学教育（J.of JSEE ）,pp.16170, 55-3, 2007.

[2]「ものづくり基礎工学」における体験重視型専門導入教育～東京高専１年生への試み～：大塚友彦ほか，東京工業高等専門学校研究報告書第３８（２）号，pp.71-76，March 2007.

（平成20年1月7日　受理）

e ラーニングの導入と授業での試行

横山繁盛*，福井繁雄**，関根紳太郎***

Introduction and Trial of e-Learning

Shigemori YOKOYAMA, Shigeo FUKUI, Shintaro SEKINE

With the rapid growth of Information and Communication Technology [ICT], the use of ICT is becoming more common in education. This paper shows how e-learning, as a part of the ICT, has been implemented at Tokyo National College of Technology. A working group was established to develop a framework for the e-learning, and then an e-learning trial was conducted by the working group.

(Keyword: e-Learning, LMS)

1. はじめに

近年, 情報コミュニケーション技術(ICT)の発展はめざましく，社会のあらゆる分野で普及が進んでいる．また教育の分野においても，ICT を活用した教育の基盤となる技術や情報インフラ整備の進展により，e ラーニング等の ICT を活用した効果的・効率的な教育の必要性が高まっている．

このような状況の中で，東京高専においても,平成 17 年度に e ラーニングワーキンググループ(WG)が結成され，e ラーニング導入の検討がおこなわれた．平成 18 年度には，予算の認可を受け，e ラーニング試行システムの構築をおこなうことになった．WG では，(1)試行用 e ラーニングプラットホーム構築，(2)英語向け e ラーニングプラットホーム構築の 2 本のプロジェクトで進めることになった．(2)は，コンテンツ作成，授業等での利用，システム構築・運用のノウハウの蓄積，マニュアル整備を目標に掲げている．本稿では，(1) 試行用 e ラーニングプラットホーム構築とその試行について報告する．

2. e ラーニングのプラットフォームの導入

2.1 WG での議論

WG では，e ラーニングのプラットフォームの導入前に，確実に有効活用されるという見込みが得られることが必要であると考え，まずどのような用途があるが議論した．授業 1 単位に相当するフルコンテンツを教員自身で作るのは無理であり，また高専での教育が対面授業を基本とすることから必ずしも必要ではなく，授業の補完用及び授業外の学生指導用等で次のような用途があると考えた．

(1)自学自習用(45 時間換算単位用)
(2)補助教材
(3)小テスト用
(4)再試験の補講用
(5)学生指導用コンテンツ
(6)担任業務コンテンツ
(7)情報リテラシー教育

特に(1)の 45 時間換算単位用のための自学自習用ではアクセスのエビデンスが得られるということで e ラーニングの利用が有効である．

本格的な e ラーニングのプラットフォームの導入前に，試行用の e ラーニングシステムを導入し試行をしてみることにした．この候補としてオープンソースのムードル(Moodle)を使用することを検討したが，システム構築はできてもその後のユーザーサポートや保守の面で e ラーニング WG のメンバー内での担当するのは無理との結論になった．このためユーザーサポートが外部で得られる商用システムを探すことにした．海外まで考えるとブラックボード(Blackboard)とウェブ CT(WebCT)のシステムが世界で過半数以上使用されていると言われているが，初期導入費用とその後の保守費用がかなりかかることがわかり，他の候補を探すこととした．試行用に小規模構成にすれば，初期導入費用が比較的低廉でその後の保守費用もそれほどかからない，国産の中では比較的実績のある富士通製の e ラーニングシス

*情報工学科　**技術室第二技術班　***一般教科（英語）

テムを導入することとした．

2.2　e ラーニングシステムの導入

導入した e ラーニングシステムは富士通製の Internet Navigware V8.0(inavi)で，オンデマンド型の次の製品で構成される．

(a) Internet Navigware Server Enterprise Edition V8.0

(b) Internet Navigware 教材作成キット V8.0

(c) Internet Navigware 成績管理サービス V8.0

(a)は，サーバにインストールされるサーバのソフトウェアで，教材の登録，コースの設定，ユーザー登録，受講管理等の e ラーニングシステムの基本的機能を提供する．同時使用のクライアント数が管理され，5 ユーザーライセンスが本体ソフトウェアに同梱されており，追加で 20 ライセンス分購入した．

(b)はクライアントにインストールされるソフトウェアで，教材作成をおこなうためのものである．教材は，サーバとは別にクライアント PC 上で，オフラインで作成し，教材が完成した時点でサーバに接続して教材の登録をおこなう。このソフトウェアは，使用するクライアント数分の本数が必要であり，5 本導入した．

(c)は，クライアント PC にインストールされるソフトウェアで，サーバと接続して使用し，成績関係の情報を参照するためのものである．このソフトウェアも，使用するクライアント数分の本数が必要であり，5 本導入した．

3. 教材作成とコース登録の概要

inavi を使用した教材作成とコース登録の概要を次に述べる．

3.1 教材の作成

教材の作成は，クライアント PC にインストールされる教材作成キットのソフトウェアでおこなう．教材形式には，学習教材，テスト教材，レポート教材，アンケート教材がある．

学習教材は図 1 のように構成され，この中で説明ページと問題ページが実際のコンテンツを構成する．使用可能なファイル形式は HTML と PDF である．“論理回路入門”という教材名で実際に教材を作成し，その学習教材部の構成図を図 2 に示す．図において第 1 章と第 2 章の部分が代表学習項目，1.1, 1.2, 2.1 の部分が学習項目，1.1.1 と 2.1.1 の部分がフレームを構成する．フレームの下にある HTML ファイルが実質のコンテンツである。テスト教材部の構成図を図 3 に示す．レポート教材部とアンケート教材部はテスト教材部と同様の構成となる．

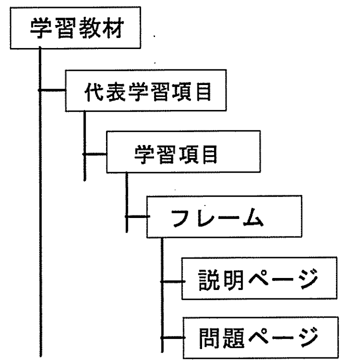


図 1.　学習教材の構成

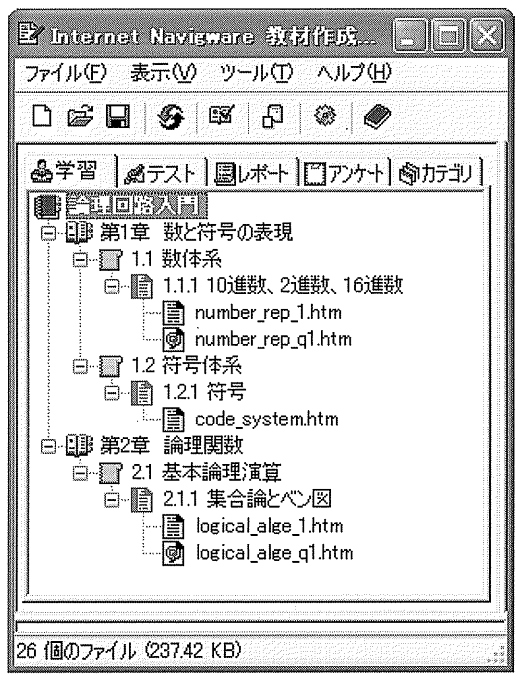


図 2.　学習教材部の構成図

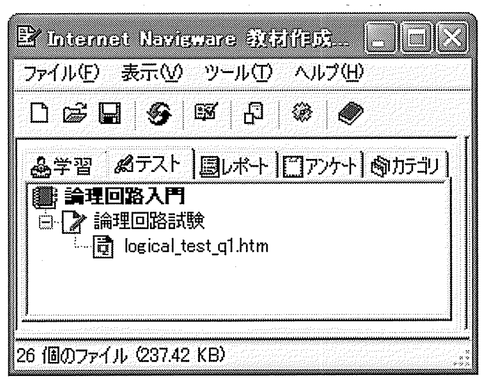


図 3. テスト教材部の構成図

3.2 教材の登録とコースの設定

教材を作成すると次はサーバ上での作業となる．サーバに管理者権限でログインし，管理ツール画面を使用して，図 4 に示す手順で教材の登録とコース設定をおこなう．①の教材の登録は，図 5 で“論理回路入門”という教材名で教材を登録する画面を示す．②のコースの設定は，図 6 で“論理回路入門”というコース名でコースを登録し，“論理回路入門”の教材を指定する画面を示す．

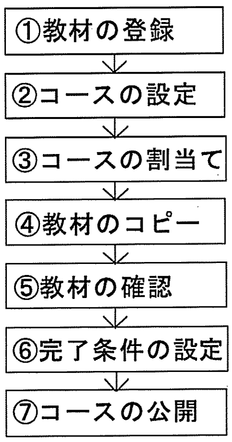


図 4. 教材の登録とコース設定の手順

③のコースの割当ては，②で設定したコースに対して，どの所属またはクラスの受講者を割当てるのかを設定するもので，図 7 に，“論理回路入門”のコースに“本科 4 年 J”のクラスを割当てる画面を示す．④の教材のコピーは，クライアント PC で教材作成キットを用いて作成した教材をサーバにコピーする作業で，クライアント PC 側の教材作成キットのソフトウェア上でコピー作業をおこなう．⑤の教材の確認は，サーバにコピーした教材が，意図どおりに正しく作成されているかの確認をおこなうなうためのものである．

⑥の完了条件の設定は，コースの完了条件を設定するためのもので，図 8 に実際の設定画面の例を示す．この例では，学習は 100%，テストは 80%以上，レポートはすべて提出，アンケート提出が完了条件である．学習の 100%は，学習教材をすべて閲覧することを示す．⑦のコースの公開は，教材の状態を確定，コースの状態を公開，受講管理を公開に設定することによりおこなわれる．

図 5. 教材の登録

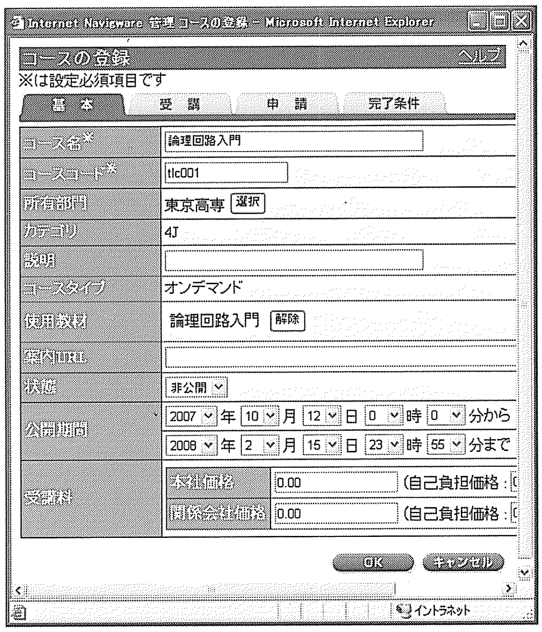


図 6. コースの登録

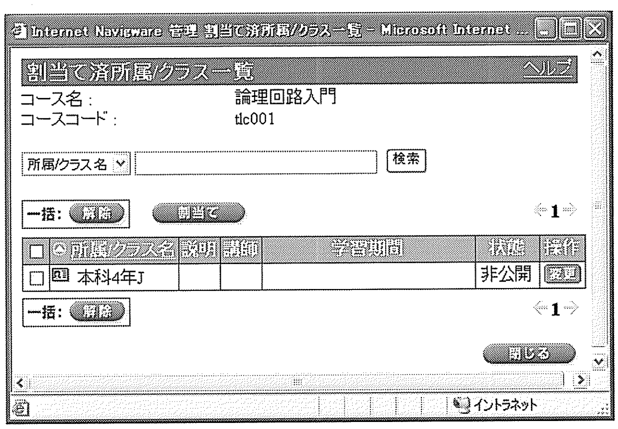


図 7. コースの登録

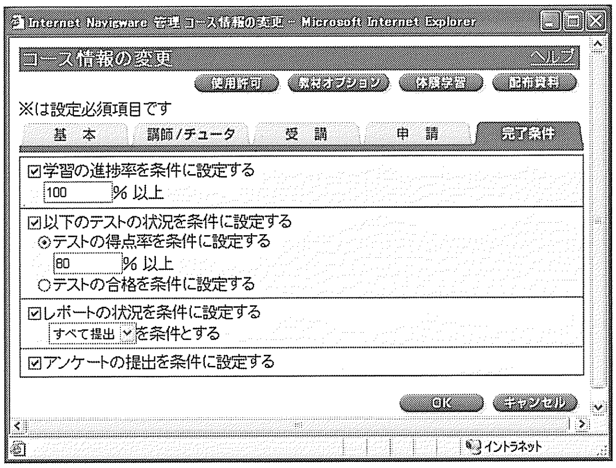


図 8. コースの完了条件の設定

3.3 コースの受講

受講者は与えられた ID とパスワードを使用して inavi にログインすることによりコースを受講することができる．図 9 は，ログイン後の受講画面の例で，受講可能なコースの一覧が示されている．この例では，“論理回路入門” のコースが受講可能なことを示し，状態はまだ未受講であることを示す．コース名の先頭にあるボタンをクリックすることにより，図 10 のコースのメニューが表示される．さらにこの中の左側の学習ボタンをクリックすることにより，図 11 の学習教材の目次が表示される．この中の項目をクリックすることにより実際のコンテンツである学習のページが表示される．

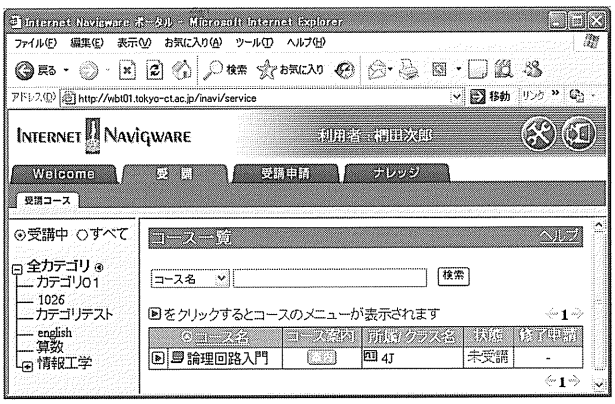


図 9. 受講画面の例

学習のページには説明ページと問題ページがあり，問題ページには回答を記入して採点ボタンをクリックすることにより採点がおこなわれる．

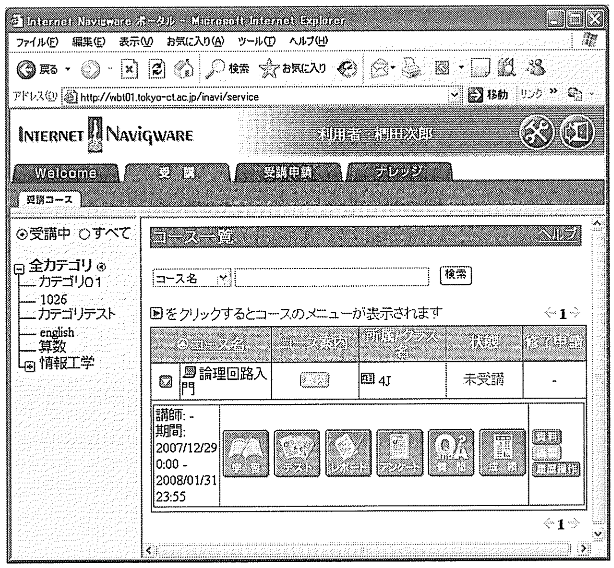


図 10. コースのメニュー

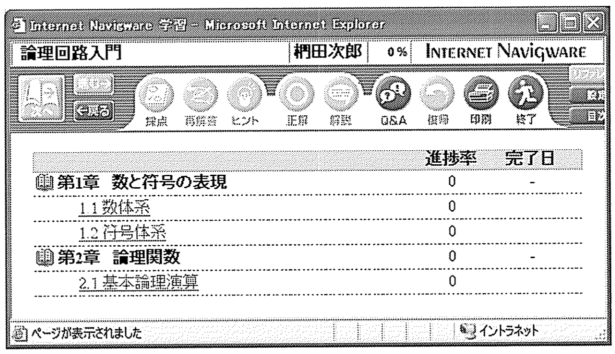


図 11. 学習教材の目次画面

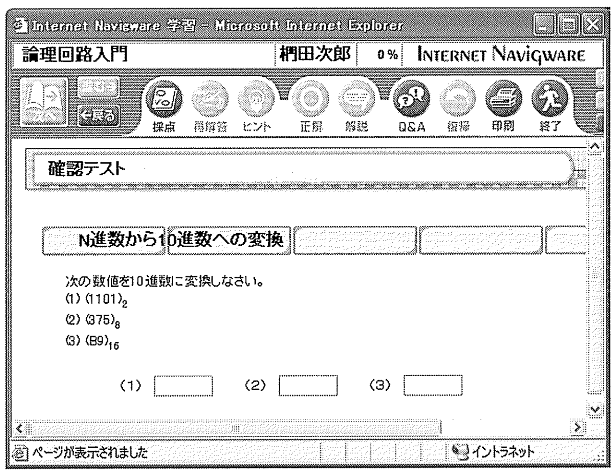


図 12. 問題ページの例

図 12 は問題ページの例である．学習ページをすべて閲覧し，問題ページのテストをすべて終了して，

学習がすべて終了すると，学習教材の目次画面には，図 13 に示すように進捗率と完了日が表示される．図に示すように，進捗率は代表学習項目とその下の学習項目の単位で管理され，完了日は代表学習項目の単位で管理される．

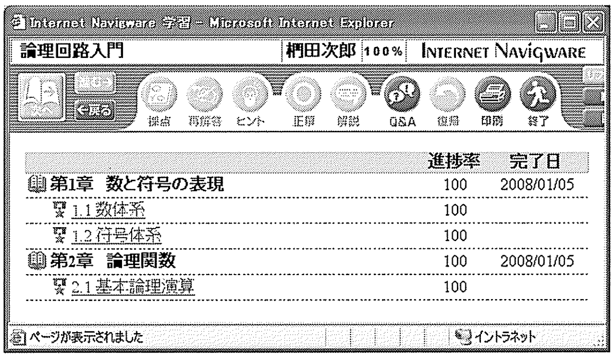


図 13. 学習が完了した学習教材の目次画面

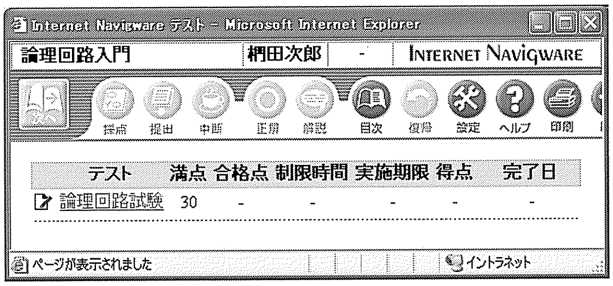


図 14. テスト教材の目次画面

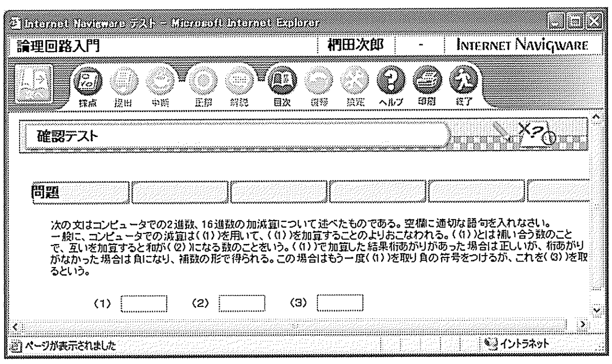


図 15. テストページの画面

次に図 10 のコースのメニューの，テストのボタンをクリックすることにより，図 14 のテスト教材の目次画面が示され，その中のテスト名をクリックすると図 15 のテストページの画面が表示される．

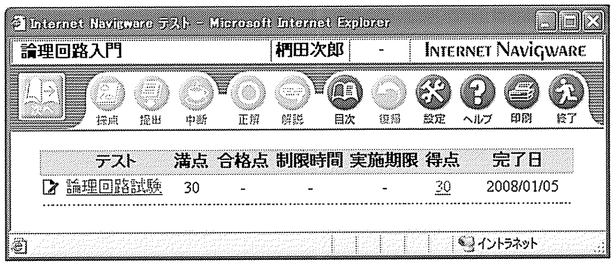


図 16. テスト終了後のテスト教材の目次画面

テストページに回答を記入し，採点ボタンをクリックすることにより採点がおこなわれる．図 16 のテスト教材の目次画面に戻ると得点と完了日が示される．

次にコースのメニューのレポートのボタンをクリックすることにより，図 17 のレポート教材の目次画面が表示され，この中のレポート名をクリックすると，図 18 のレポートの課題の提示と提出用のレポートページの画面が表示される．レポートをファイル形式で作成しこの画面から提出することにより，図 19 のレポートを受け付けたことを示す画面が表示される．

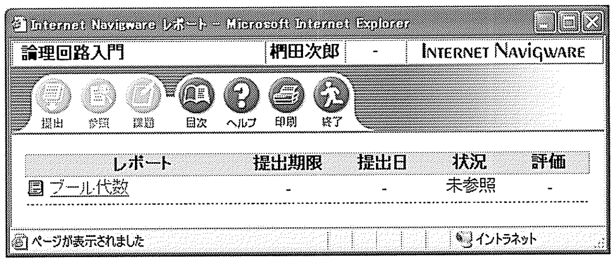


図 17. レポート教材の目次画面

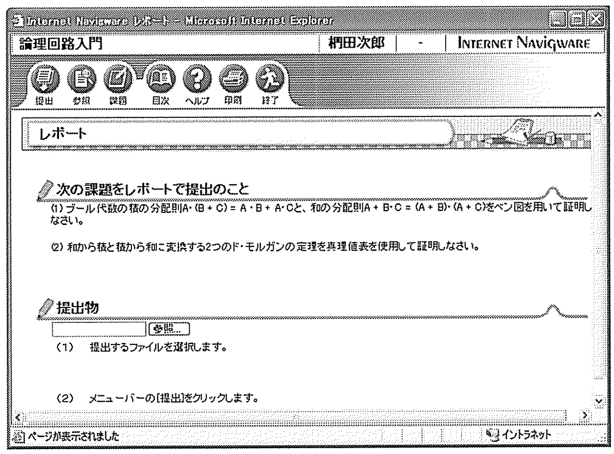


図 18. レポートページの画面

図 19. レポートを受け付けたことを示す画面

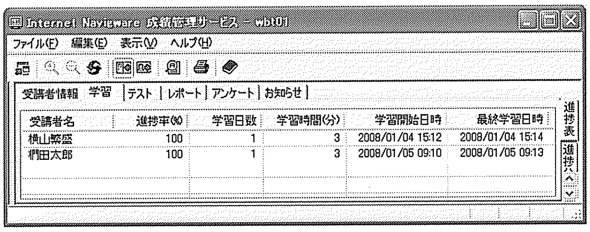


図 20. 学習進捗表

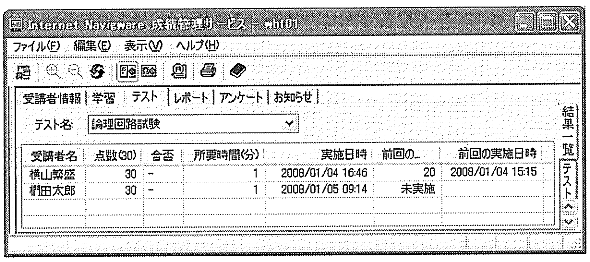


図 21. テストの結果一覧

3.4 成績管理

成績の管理は，クライアント PC にインストールされる成績管理サービスのソフトウェアによりおこなわれる．図 20 に学習をおこなった受講者の学習進捗表を示す．

図 21 にテストを受けた受講者のテスト結果の一覧を示す．提出されたレポートの評価は，図 22 のレポートの評価画面で受講者毎にレポートの点数と評価を入力し，必要があればコメントの入力することによりおこなう．図 23 には，レポートを提出した受講者のレポート一覧を示す．

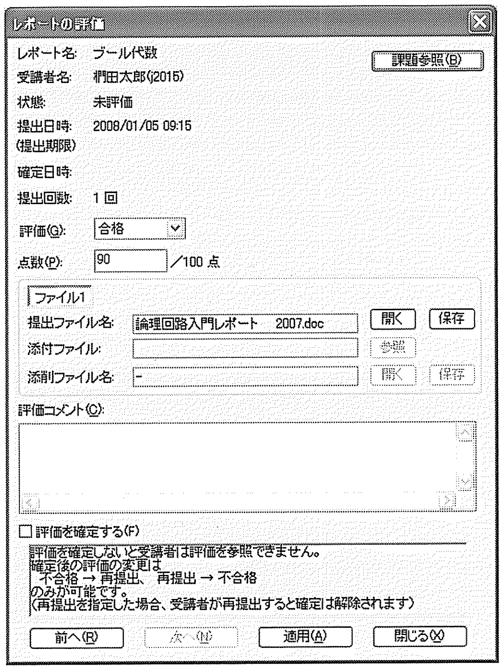


図 22. レポートの評価

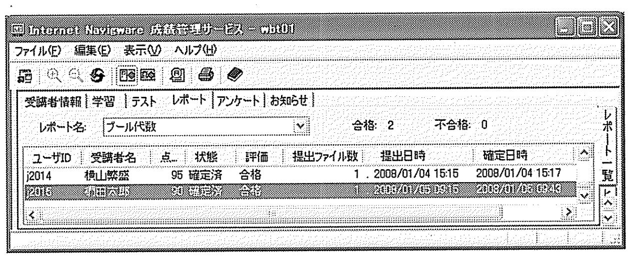


図 23. 受講者のレポート一覧

4. e ラーニングの試行と評価

4.1 試行

授業でのラーニングの利用には，(1)従来の対面授業を置き換えるもの，(2)授業を補完するためのもの，(3)質疑応答や予習，復習などの一部機能を担わせるものがあるが，実際の授業において(2)の目的で e ラーニング利用の試行をおこなった．試行は，2007 年度前期の情報工学科 4 年生向けに開講された「情報工学ゼミナール」の科目でおこなった．この科目は，4 年の夏季休暇を利用して行われるインターンシップと，後期から開始される卒業研究に備えることを目標とし，プログラミングを中心とする課題を自主的に設定し，計画と実施，進捗管理，まとめと成果の発表までを体験する授業である．教室はコンピュータ演習室を使用し，1 人 1 台のコンピュータが利用できる．

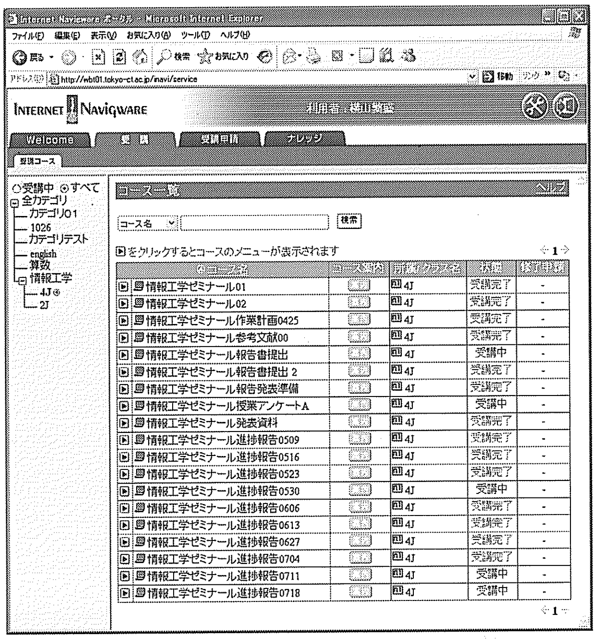


図 24. 情報工学ゼミナール用コース一覧

授業での試行をするにあたり，学生数が 40 人いることから，e ラーニングの同時使用クライアントライセンス数を 25 から 55 に増加した．

図 24 に，「情報工学ゼミナール」用に作成したコースの一覧を示す．本来 inavi でのコースの概念は，これらを全部をまとめて一つのコースに構成すべきものと思われるが，独立して作成できる単位がコースのためこのような構成とした．次に各コースを簡単に説明する．

「情報工学ゼミナール 01」は，授業開始時に使用したもので，学習ページでは，シラバス，ガイダンス及び例として昨年度と一昨年度の課題を示し，レポートページでは，各自の設定した課題の提出を指示している．学習ページの学習後の目次画面を図 25 に示す．

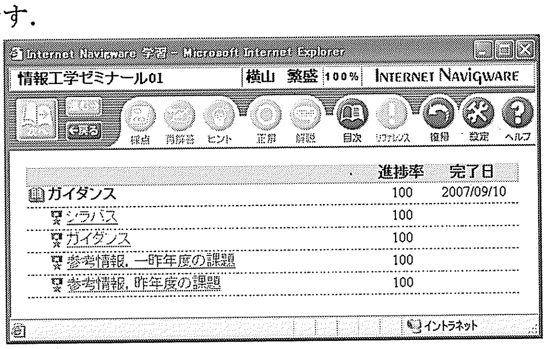


図 25. 情報工学ゼミナール 01 の学習ページの目次の画面

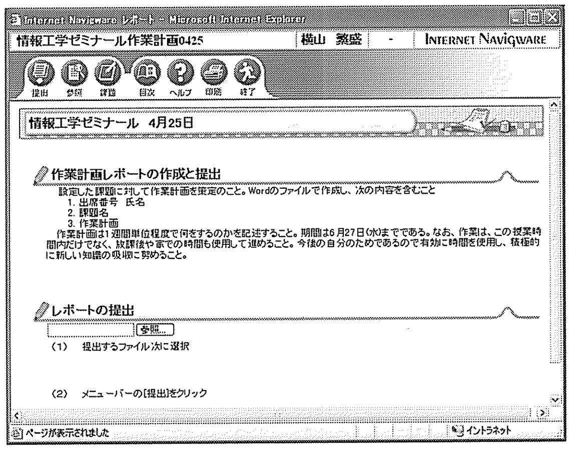


図 26. 作業計画提出用のレポートページの画面

「情報工学ゼミナール作業計画 0425」は，作業計画書の提出用で，図 26 にそのレポートページを示す．作業計画書をファイル形式で作成し，レポートページの画面でそれを提出する．

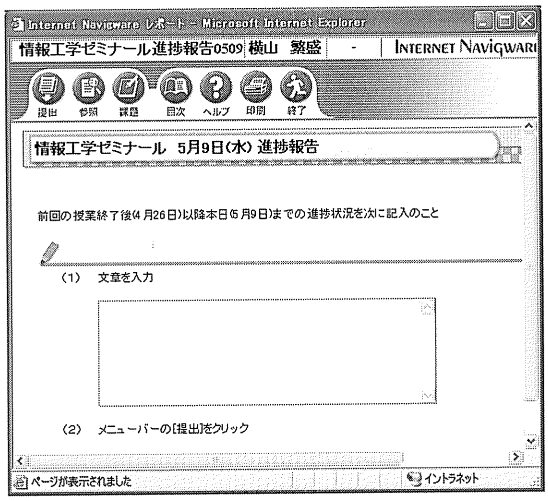


図 27. 進捗報告提出用のレポートページの画面

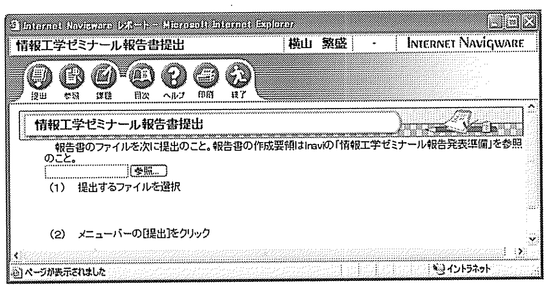


図 28. 成果報告書提出用のレポートページの画面

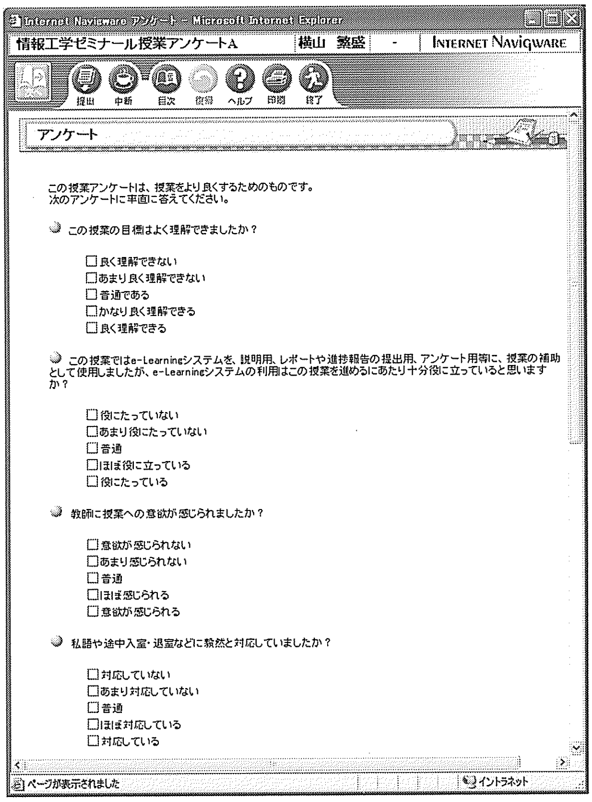


図 29. 授業アンケートページの画面

「情報工学ゼミナール進捗報告 XXXX」は，毎回の授業の進捗報告提出用で，図 27 にそのレポートページの画面を示す．進捗報告は，レポートページに直接テキストで記入する．

「情報工学ゼミナール授業アンケート A」は，情報工学ゼミナールの授業の最後に実施した e ラーニングによる授業アンケートで，図 29 にそのアンケートページの前半の画面を示す．

4.2 試行の評価

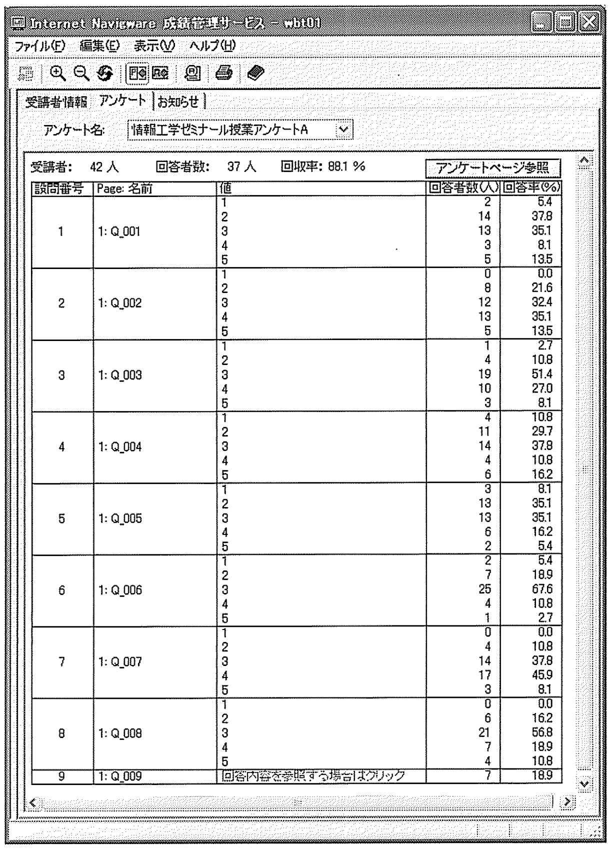
試行をおこなった授業は，一般的な座学の授業ではなく，演習の授業でありコンピュータ演習室を使用する授業であったため，e ラーニングとは親和性があったと考えられる．

(1) e ラーニングの利点

・レポートの提出状況の管理が容易となる(レポートの受付や提出期日).

・コース受講の権限が詳細に設定できる.

学習状況の管理ができる(学習ページを閲覧したかどうかの管理ができる．テストページではテスト結果の採点が自動的におこなわれ点数が出る．)



設問番号	Page: 名前	値	回答者数(人)	回答率(%)
1	1: Q_001	1	2	5.4
		2	14	37.8
		3	13	35.1
		4	3	8.1
		5	5	13.5
2	1: Q_002	1	0	0.0
		2	8	21.6
		3	12	32.4
		4	13	35.1
		5	5	13.5
3	1: Q_003	1	1	2.7
		2	4	10.8
		3	19	51.4
		4	10	27.0
		5	3	8.1
4	1: Q_004	1	4	10.8
		2	11	29.7
		3	14	37.8
		4	4	10.8
		5	6	16.2
5	1: Q_005	1	3	8.1
		2	13	35.1
		3	13	35.1
		4	6	16.2
		5	2	5.4
6	1: Q_006	1	2	5.4
		2	7	18.9
		3	25	67.6
		4	4	10.8
		5	1	2.7
7	1: Q_007	1	0	0.0
		2	4	10.8
		3	14	37.8
		4	17	45.9
		5	3	8.1
8	1: Q_008	1	0	0.0
		2	6	16.2
		3	21	56.8
		4	7	18.9
		5	4	10.8
9	1: Q_009	回答内容を参照する場合はクリック	7	18.9

図 30. 授業アンケートの集計結果

・アンケートの自動集計ができる.

・コースの公開期間の管理ができる.

・コースの受講は，PC のあるところであれば学内，学外からでも可能である.

・テスト結果がすぐにわかり，解答も示される.

(2) 授業アンケートによる評価

図 30 は成績管理ツールが作成したアンケートの集計結果である．アンケートに番号が振られていないため，対応が見づらいが，2 番目の「e ラーニングは役にたちましたか？」の設問に対しては，48% が良い方の評価をつけている．5 番目の「授業の中での説明は十分でしたか？」の設問に対しては，十分である方の評価が 22%，普通の評価が 35%，十分でない方の評価が 43%であり，e ラーニングを利用して説明をしたのであるが，説明に関しては不十分と感じたようである．これは，この授業が従来の上から与える授業と異なり，説明は少しで，ほとんどが自ら意思で課題解決をおこなうように設定されているため，説明が不十分という評価が多くなったと思われる．

5. おわりに

e ラーニングの試行用システムの導入，教材の作成とコース登録の概要，授業での試行について述べた．試使用や実際の授業での試行においてシステム上の問題は特に発生しなかった．試行用に導入した e ラーニングシステムはではあるが，システム自身は，商用システムであり実際に利用されており，実使用に移しても特に問題はないと思われる．2007 年度の後期には，情報工学科 2 年の「情報基礎」の授業においても利用されている．

今回の試行は，実際の授業の補助としての利用であったが，今後 45 時間換算単位の自学自習用のコンテンツ作成，小テスト用，担任業務用等に試行の範囲を広げていく予定であり，また試行の利用者の拡大を期待している．

参考文献

1) e ラーニング等の IT を活用した教育に関する調査報告，メディア教育開発センター，2007-3.
2) 諸外国における ICT 活用教育に関する調査研究報告書(2006 年度)，メディア教育開発センター，2007-3.
3) 白石啓一，竹田恒美，関根紳太郎，青木宏之，東京高専研究報告書，38(2)，2007.

(平成 20 年 1 月 7 日　受理)

廃棄物を出さない魚と野菜の同時生産システムの開発
－水質調整からアクアポニックスシステムの開始まで－

松林勝志*，中川文寛**，小坂敏文*，三谷知世***

Development of a Simultaneous Production System of Fish and Vegetables without Any Waste
- Water Conditioning and the Start of an Aquaponics System -

Katsushi MATSUBAYASHI, Fumihiro NAKAGAWA, Toshifumi KOSAKA and Tomoyo MITANI

Aquaponics is a combination term of aquaculture（fish farming）and hydroponics（growing plants withoutsoil）, and it is the simultaneous production system of fish and vegetables without any waste.

In the aquaculture, the water quickly becomes nutrient rich due to the fish digesting food and excreting waste. The waste water is usually filtered and/or disposed of to keep the water free of toxic buildups. In the hydroponics, nutrient solution is required for growing plants. The solution is created by adding the elements that plants need to water. In the aquaponics, the fish waste provides a food source for the growing plants and the plants provide a natural filter for the fish. This creates a small ecosystem where both plants and fish can thrive.

The aquaponics can produce good-quality fish and vegetables, and achieve food self-sufficiency in the isolated area like islands. The development of a plant of the aquaponics is not easy in the developed countries because of the high cost of production. In this study, a small aquaponics system which is low cost and enjoyable in a room is developed, and some data for the future development of aquaponics plants is collected.

Principal nutrients components required for growing plants are nitrogen（N）, phosphorus（P）and kalium（K）. Fish waste provides all nitrogen that plants need as nitric acid ion. Phosphorus and kalium are provided by food additives because fish waste contains very little of them. The chosen food additives are quite safe and very popular in the production of food, and they are also present in the human body. The characteristic of this study is that additives are used as pH buffer. The additives keep the pH constant, which is suitable for growing plants.

Development plan of aquaponics system was described in the previous paper. In this paper, from water conditioning to the startup of the aquaponics system is reported.

（Keywords: Aquaponics, Aquaculture, Hydroponics, Ecosystem, pH Buffer）

1．はじめに

アクアポニックス（Aquaponics）とはAquaculture（水産養殖）と Hydroponics（水耕栽培）とを組み合わせた造語であり，廃棄物を出すことなく両者を同時に実現するシステムである。魚の養殖により富栄養化した水は植物に栄養を与え，植物は天然のフィルタとなり魚に住みやすい水質を提供する。すなわちアクアポニックスは植物と魚の両者が成長できる小さな生態系である。アクアポニックスは，良質な魚と野菜を生産することができ，食糧事情の悪い島しょ部などの地域で食糧自給を可能にする。

本研究では，将来のアクアポニックスプラントの実用化のためのデータを収集をするために，安価で家庭で楽しむことのできる小型サイズのアクアポニックスシステムを開発する。植物の成長には窒素(N)・リン(P)・カリウム(K)の三大要素が十分供給されなければならない。窒素は魚の排泄物ですべて供給し，排泄物にほとんど含まれないリン・カリウムは添加物で供給する。添加物は生物の体内に普通に存在し，食品加工用として一般に用いられる安全なものを使用する。また植物の成長には pH を一定に保つことが重要であるため，pH 緩衝液を構成できる添加物を使用することも

＊情報工学科　＊＊機械情報工学専攻　＊＊＊物質工学科

本研究の特徴である。

前報告[1]ではアクアポニックスの開発計画を述べた。本報告ではアクアポニックスを開始する前の水質調整から運用の開始までを報告する。

2．アクアポニックスシステム

図１に水槽を２個用いた場合のアクアポニックスシステムを示す。ポンプで水を循環させ，ヒーターとクーラーで水温を最適値（魚の飼育槽は魚種にもよるが 25 ℃前後，水耕栽培槽は 20 ～ 22 ℃）に保つ。上部の水耕栽培槽では発泡スチロールに穴を開け，スポンジを積めて苗床とする。装置は窓辺に設置し太陽光で植物を育てるが，太陽光が利用できない場合は，植物の光合成が飽和する明るさ（気温 22 ℃時約 7000lx）以上の照度が確保できる照明を用いる。

3．窒素・リン・カリウムの供給と pH 緩衝液

植物の生長に必要な三大要素はイオン，即ち，硝酸イオン（NO_3^-），リン酸イオン（PO_4^-），カリウムイオン（K^+）として植物に吸収される。それらの濃度設定は(株)M式水耕栽培研究所のアドバイスを得て，表１に示す値を目標値として設定した。

表１　三大要素目標濃度

NO_3^- (Nitrate Ion)	260ppm (4.19mmol/L)
PO_4^- (Phosphate Ion)	120ppm (1.26mmol/L)
K^+ (Potassium Ion)	350ppm (8.28mmol/L)

3.1　硝酸イオンの供給

硝酸イオンは，魚の排泄物に含まれるアンモニアをバクテリアが硝化することにより生成される。100L（リットル：以下本文中では誤解を防ぐため大文字の"L"を単位として用いる）の水を使用する場合，硝酸イオンについて魚の飼育だけで表１に示す濃度まで高めるには，餌を76g程度与えなければならず，1日1gの餌を与えても2ヶ月半も必要となる[2]。また新品の水槽からスタートするとバクテリアが増殖し硝化サイクルが完成するまでの間アンモニアが分解されず魚が死んでしまう危険がある[3]。そこで当初は魚を飼育せずにアンモニア水を投入することでバクテリアを増殖させ硝化サイクルを完成させる手法[4][5]により3週間程度で表１の硝酸イオン濃度まで高めることを検討した（4．

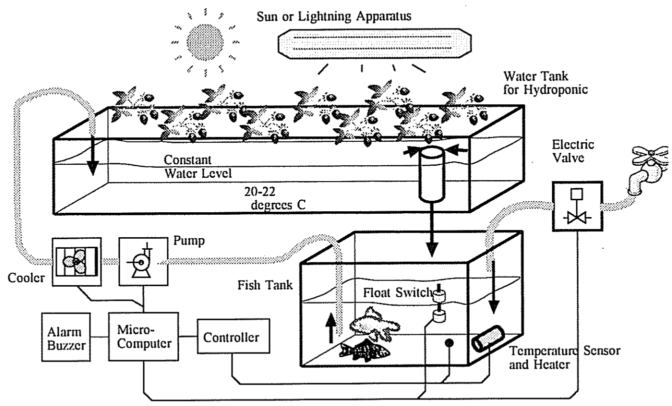


図１　アクアポニックスシステム

参照）。

3.2　リン酸イオンとカリウムイオンの供給

リン酸イオンとカリウムイオンについては，餌にはほとんど含まれていない[6][7]。そこで，極めて安全な食品添加物を用いて供給を行う。使用する添加物の一覧を表２に示す。リン酸イオンとカリウムイオンを同時に補うため(1)(2)を選定し，カリウムイオンはリン酸イオンに比べて多く供給する必要があるために(3)を選定した。

表２　リン酸イオンとカリウムイオンの供給

Food Additives	Applications[8]
(1) KH_2PO_4	Kansui, Baking Powder, pH Adjuster
(2) K_2HPO_4	Kansui, Baking Powder, pH Adjuster
(3) KCl	Condiment

3.3　pH 緩衝液

植物の成長に適した pH 値は 6 ± 0.5 程度である。表２の(1)(2)を文献[9]にある混合比を用いて，表１のリン酸イオン濃度になるよう pH6 の緩衝液を 500ml 構成した。そこへ(3)を投入し pH の変動を調べた結果を図２に示す。(3)は 0.3g 投入すれば表１のカリウムイオン濃度となる。(3)は強酸と強塩基の塩であり中性であるので当然であるが，必要量の 4 倍である 1.2g まで投入しても pH の変動はほとんど認められなかった。

なお，(3)は化学的には NaCl と性質がほとんど同じであり一種の塩（しお）である。そこで淡水魚の飼育槽に投入した場合，魚に問題が起こらないか検討した。本実験で水槽に投入する KCl は海水の NaCl に比較して mol 濃度比でわずか 1.6%であり，汽水湖である宍道湖の淡水魚の生息分布も調査し，全く問題のない塩分濃度であることが判明した[10]。

4．硝化サイクルの早期完成実験

3.1 に示した，魚を飼育せずアンモニア水を投入する手法により，硝化サイクルの完成までの時間を大幅に短縮させることについて実験を行った。実験条件を表3に示す。

表3 実験条件

Fish Tank	A	B	C
Water	Ion-exchange Water	Tap Water	Tap Water
Water Capacity	4L		
Water Temp.	25 ℃		
Other Conditions	none	none	Driftwood

A 水槽はイオン交換水を用い，B,C 水槽は水道水を用いた。C は硝化サイクルが完成している水槽に1週間程度入れておいた流木を投入した。つまり流木にはバクテリアが付着している。

最も硝化サイクルが早く完成した，C 水槽の実験結果を図3に示す。上から順に，投入したアンモニア総量（最終的に 0.29g），硝酸イオン濃度，亜硝酸イオン濃度，アンモニウムイオン濃度の変化を示している。アンモニアは初日の投入量が最も多く，3段階に減少させた。

アンモニアを投入するとアンモニウムイオンの濃度が高くなる。アンモニア酸化菌が増殖するとアンモニウムイオン濃度が減少し亜硝酸イオン濃度が増える。次に亜硝酸酸化菌が増殖すると亜硝酸イオン濃度が減少し，魚にとって毒性がほとんどない硝酸イオンの濃度が増加する。両酸化菌が十分増殖した状態では，アンモニウムイオン，亜硝酸イオンは直ちに酸化され検出されなくなる。よって図3において亜硝酸イオンが検出されなくなった 16 日目に硝化サイクルが完成したといえる。新品の水槽でスタートし，硝酸イオンをすべて魚の排泄物等で供給する場合，硝化サイクルの完成に 54 日必要であった [2]ため，大幅に硝化サイクルの完成を早めることができた。

A,B 水槽も C 水槽と同量のアンモニアを投入したが，水中にイオンが全く存在しない A についてはバクテリアが増殖できず，アンモニウムイオン以外は検出されなかった。バクテリアは自身の体を作るのに窒素以外に微量金属イオン等も必要であることが原因と考えられる。B は約1ヶ月経過しても亜硝酸濃度が減少せず硝化サイクルの完成が完了しなかった。初期にバクテリアの種が無かったため増殖が遅れたものと思われる。

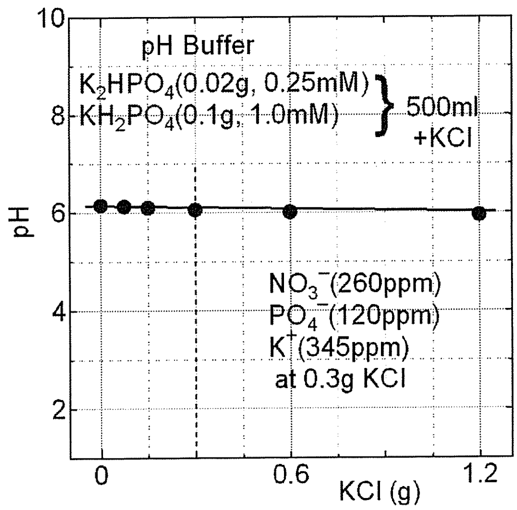


図2 添加物による pH 緩衝

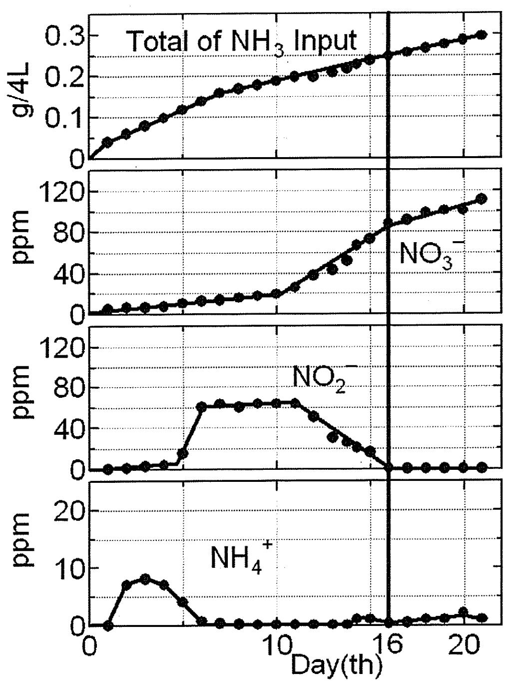


図3 C 水槽の硝化サイクルの完成課程

5．硝化サイクル完成後の水質の最終調整

4．の手法で硝化サイクルが完成した水槽について表1の硝酸イオン濃度に達するまでアンモニアを投入し続ける。その後，表2の添加物を投入することで，リン酸イオンとカリウムイオンも表1の濃度となり，水質の調整が終了する。

なお，アンモニアを投入し続けていくと硝酸イオン濃度の増加に伴い，pH が 5 前後まで下がり，硝化サイクルがほとんど止まってしまう現象が見られた。おそらく，硝酸イオンが水の水素原子を

電離させるものと考えられる。この段階で添加物を投入するとpHは一旦6まで回復するが，数日で再びpHが5前後まで落ちてしまった。環境の回復によりバクテリアが活発となり硝酸イオン濃度を再び増加させ，添加物によるpH緩衝作用が追いつけなくなってしまったものと考えられる。

(株)M式水耕栽培研究所では，pHの調整（中和）に強アルカリである水酸化カリウムを用いていたが，劇薬を使わない本研究においては表1の硝酸イオン濃度はもっと下げた方が良いといえる。どの程度下げても植物が正常に育つか今後調べる予定である。

6．水耕栽培による植物の三大要素の吸収量測定

植物種ごとの三大要素の吸収量を測定するため，100Lの水容量のアクアポニックスシステムを用い，魚を飼育せず水耕栽培だけの実験を進めている。まず短期間（40日程度）で収穫できる，サラダ菜（12株）で実験を開始した（図4）。1回目の収穫（436.5g）を終え，三大要素の測定を行ったところ，窒素単体で約1g，カリウムは約5g減少し，リン酸についてはほとんど変化しなかった。現在，2回目の種蒔きを終え継続して測定中である。

7．アクアポニックスシステムの運用実験

市販されている金魚の飼育水槽キット（水容量4L）を改良して小型のアクアポニックスシステムを2種類構成した。一方は日光で植物を育て（図5），もう一方人工照明を用いている（図6）。植物栽培槽は飼育水槽の両サイドに設置した（図中○部）。栽培槽毎に1株育てることができる。

また，八王子市立椚田小学校で，水容量100Lのアクアポニックスシステムの運用を開始した。金魚2匹と鯉1匹を下の水槽で飼育し，サラダ菜の種を上の栽培槽に蒔いたところである（図7）。こちらは12株を同時に育てることができる。

小型のアクアポニックスシステムでは，5．に示したpH低下の問題は日を追うにつれ少しずつ解消された。小型水槽では水の容量に対する水の蒸発量の割合が多いため，補水を頻繁に行っていた。本校の水道水はアルカリ性（pH8.4）であることが，解消に繋がったものと思われる。なお，小型のアクアポニックスシステムでは，発芽はするものの本葉が出る段階で成長が止まり，やがて黄変して枯れてしまうという現象が起きている。直射日光による昼間の水温の上昇をはじめとするいくつか原因を仮定し，その特定を進めているところである。（図5では直射日光の温度上昇を防ぐため断熱材で水槽をカバーしている。）

図4　三大要素吸収量の測定のための水耕栽培

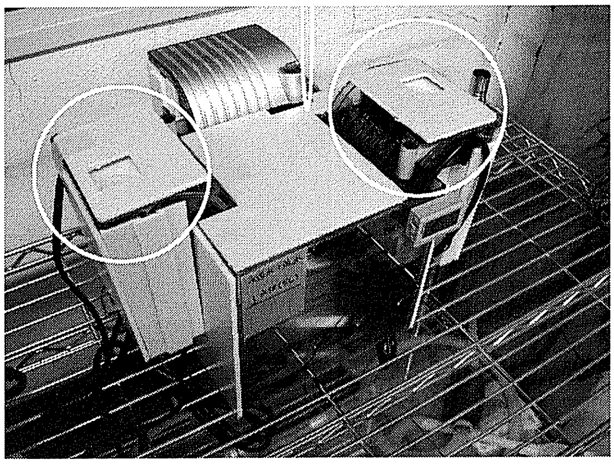


図5 日光でのアクアポニックス

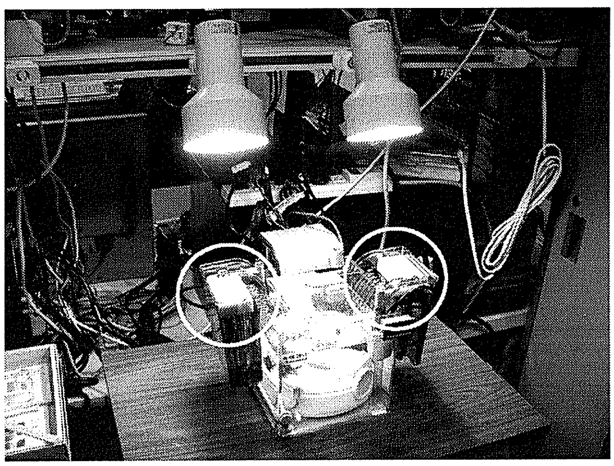


図6 人工照明でのアクアポニックス

8．まとめ

アクアポニックスを開始するための水質調整の手法を開発し，システムの運用実験を開始した。以下，その結果や明らかになったことを示す。

(1) 植物の成長に必要な三大要素である窒素，リン，カリウムの供給方法について検討した。魚の排泄物により窒素を供給し，リンとカリウムについては極めて安全な食品添加物で供給する。

(2) 硝化サイクルの早期完成のため，魚を飼育せずにアンモニアを投入する手法を検討し，約 2 週間で完成させることが可能であることを示した。

(3) (1) の食品添加物で pH 緩衝液を構成し，植物の成長に適した値(6 ± 0.5)に固定することが可能であることを示した。但し，設定した硝酸イオン濃度を目標とすると，増加する硝酸イオン濃度に緩衝作用が追いつけない傾向が見られた。今後設定濃度を低くすることについて，(4) の結果を基に検討する。

(4) サラダ菜について三大要素の吸収量を測定した。継続実験中である。他の植物についても順次調査していく。

(5) アクアポニックスの運用については，小型の水槽で植物がうまく生長せず原因を調査中である。椚田小学校に設置した水容量 100L のアクアポニックスシステムでは現在のところ順調に稼働中である。

本研究は，平成 18-19 年度文部科学省科学研究費補助金「萌芽研究」の採択課題として行われ，継続中である。

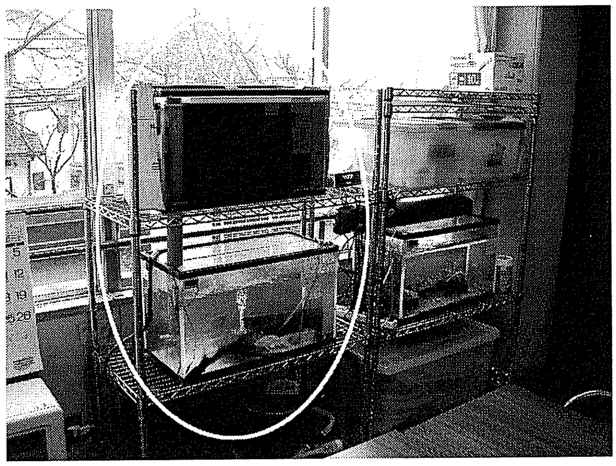


図 7　椚田小学校のアクアポニックス

参考文献

1) 松林勝志，中川文寛，星野猛，小坂敏文，三谷知世，廃棄物を出さない魚と野菜の同時生産システムの開発－アクアポニックスシステムの開発計画－，東京高専研究報告書第 38(2) 号，pp113-117, 2007.3

2) 松林勝志，中川文寛，半田真帆，小坂敏文，三谷知世，汚水を出さない魚と野菜の同時生産（アクアポニックス）システムに関する研究－アクアポニックスシステム稼働前の硝化サイクルの確立－，日本機械学会第 17 回環境工学総合シンポジウム 2007 講演論文集，pp183-186，2007.7

3) 金魚水槽内で活躍する細菌たち http://members.jcom.home.ne.jp/m381t/Nitrospira.html

4) What is Fishless Cycling?, wiseGEEK, http://www.wisegeek.com/what-is-fishless-cycling.htm

5) かんたんな金魚の飼い方，http://members.jcom.home.ne.jp/m381t/26right.html

6) 星野猛，植物と魚の循環生産システムに関する研究－アクアポニックスに関する研究－，東京工業高等専門学校卒業論文，2006.3

7) 中川文寛，半田真帆，星野猛，松林勝志，廃棄物を出さない魚と野菜の同時生産システムに関する研究，八王子産学公連携機構第 5 回研究成果発表講演会論文集，pp60-61, 2006.12

8) 関東化学（株），食品添加物，http://www.kanto.co.jp/kasei/syokuhin.html

9) 古賀正三，pH 概説，pp65,1973.5

10) 中川文寛，半田真帆，松林勝志，廃棄物を出さない魚と野菜の同時生産システム（アクアポニックス）に関する研究－野菜を育てるための水質調整とシステムの運用－，八王子産学公連携機構第 7 回研究成果発表講演会論文集，pp226-227, 2007.12

（平成２０年１月７日受理）

八王子市科学教育センターと連携した工学教育
－ロボットをテーマとした
スーパーサイエンスパートナーシッププロジェクト報告－

松林勝志*，多羅尾進**，小池清之***，吉本定伸*，津田潔****，小坂敏文*

Engineering Education in Cooperation with Hachioji Science Education Center
- A Report of Super Science Partnership Project Dealing with the Creation of Robots -

Katsushi MATSUBAYASHI, Susumu TARAO, Kiyoyuki KOIKE,
Sadanobu YOSHIMOTO, Kiyoshi TSUDA and Toshifumi KOSAKA

It is highly likely that the rapid decrease of students who wish to study at faculty of engineering and retire of baby-boom generation cause the shortage of engineers who sustain the technology-oriented nation "Japan". The hours of subjects to get students interested in technology has been decreased in elementary and secondary education and is not likely to increase in the future. JSEE（Japanese Society for Engineering Education）working group, "Cooperative education between elementary/secondary and higher education facilities", has discussed about effectiveness of extracurricular education utilizing community education resource such as colleges, universities and companies. In responce to the discussion, not uniformed and not one-time robot assembling workshop was held in cooperation with National College of Technology and municipal science education center. PBL（Problem/Project Based Learning）oriented instructions corresponding to children's stage of development was provided by teaching assistants in the workshop.

（Keywords: Cooperative Education, Engineering Education, Creating Things）

１．はじめに

工学部志望学生の急減少と団塊の世代の大量退職は，工業立国日本を支える技術者の不足を招く可能性が高く対策が急がれる。技術者を目指す動機付けとなる科目の時数が初等・中等教育において減少し，今後増加する可能性は低いことから，高等教育機関や企業等の地域の教育力を活用した正課外での教育の有用性が日本工学教育協会 WG（初等・中等教育と高等教育の連携ワーキンググループ）で議論されている。その実践として，高専と小学校科学教育センターが連携した画一的・一過性でないロボットを題材としたものづくり教室を実施した。その教室での TA の製作指導は，児童の発達段階に対応し，PBL（問題解決）型を志向するよう配慮された。

２．理科・技術・工学部離れと学習指導要領

理科・技術離れに関しては，社会的に対策が必要と理解され，いろいろな施策が試みられながら，なかなか歯止めがかからず，工学部を志望し技術者を目指す学生は減少の一途である（図１）。工学部を志望する動機付けとなる科目は，中学校では技術科（科目としての技術：以下，技術）であ

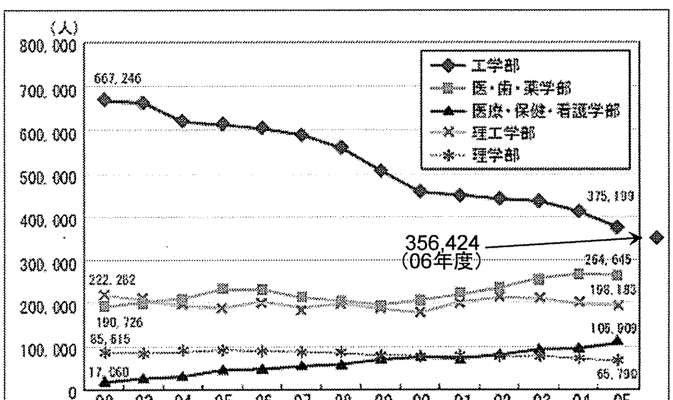


図１　工学部志願者の推移（河合塾 HP，文科省学校基本調査）

＊情報工学科　＊＊機械工学科　＊＊＊電子工学科　＊＊＊＊一般教科（人文社会）

ると考えられるが，小学校では技術がないため，理科や図工になると思われる。しかし，ほぼ 10 年毎に改訂される学習指導要領では総授業時数に占める理科の割合は他の主要科目に比較して大きく減少し，H14(2002)年度実施の学習指導要領では，小学校の総授業時数(5367 単位時間，小学校の 1 単位時間は 45 分)に占める理科の割合は 6.5%（350 単位時間，生活科と総合学習を含まず）であり，国語の約 1/4，算数の約 2/5 である（図２）。生活科や総合学習の時間に技術に関する授業を実施することは可能であり，大田区で実験が行われ大きな成果が上がっている [1]。しかし一般に広く実施するためには指導教諭の専門性の他，技術に大きな時間を割くことに対し地域・父兄のコンセンサスを得る作業が先に必要となる。

中学校においても理科は主要教科で最も少なく（国語の約83%），技術・家庭のうち技術については，かつて3年間で9単位（3年間週3単位時間，中学校の1単位時間は50分）実施されていたが現在は2.5単位しかない（表１・図３，１・2年は週1単位時間，3年次は2週間に1単位時間）。この時間数の中で，木工・機械・電気・金属からコンピュータ・農業まで学習する。実技を伴う場合は準備と後片付けに要する時間が50分から差し引かれてしまうため，概要だけを説明する講義とコンピュータ中心の実技になりやすく，生徒の大半が進学する普通科高校に技術が無いことと合わせ，日本の技術教育は壊滅的な状況と言われてもおかしくない。

工学部志願者の低下は，18歳年齢人口の減少ばかりに目がいきがちであるが，小中高における技術教育の貧弱さも大きな要因と見ることができる。

３．本プロジェクトのねらい

このプロジェクトは，ものづくり教育を実践する高等教育機関である東京高専と八王子市小学校科学教育センター（以下，センター）が連携実施した。センターの目的は，「児童に対し，科学的関心・意欲・態度や科学的思考力の向上をめざし，科学技術創造立国の担い手となる人材の育成を図る。」ものであり，高専の教育目標とほとんど一致している。

センターでは昭和33年から市内の各小学校から選抜された6年生児童を集めて科学教育が行われている（主に土曜日実施で約20テーマ，1テーマは基本的に半日で実施）が，講師である小学校教諭の専門性と予算面から，技術的なものづくりに関するテーマが十分ではない。そこで，児童の科学技術に対する夢を育み，知的探求心を育成することをねらいとして，（独）科学技術振興機構（以下，JST）のサイエンス・パートナーシップ・プロジェクト（以下，SPP）支援を受け，児童の発達段階に対応した「PBL型ものづくり教室」

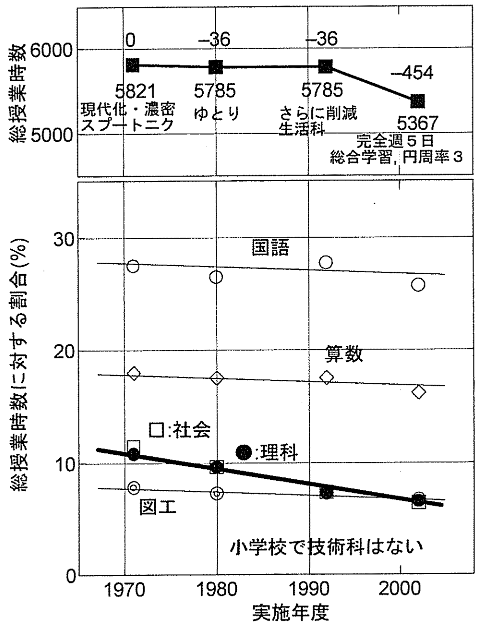


図２ 学習指導要領（小学校）

表１　技術の単位数の変遷（中学校学習指導要領）

改訂年度（実施年度）	単位数	週時間数		
		1年	2年	3年
S44(S46,1971)	9	3	3	3
S52(S56,1981)	3.5	1	1	1.5
H元(H5,1993)	3〜3.5	1	1	1〜1.5
H10(H14,2002)	2.5	1	1	0.5

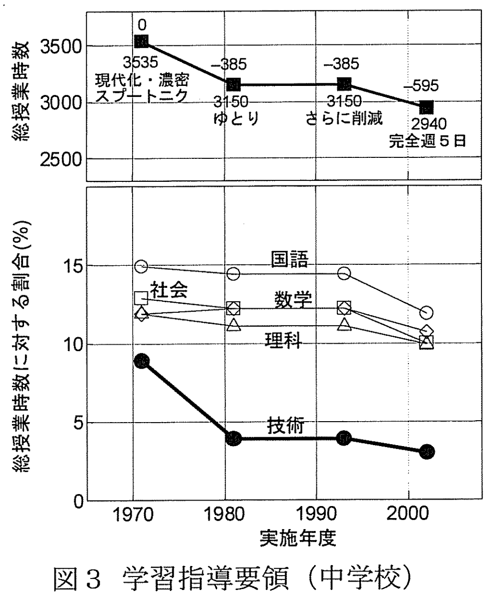


図３ 学習指導要領（中学校）

を学習プログラムに組み込むことを計画し，センターに提案した。

具体的には，4，5名の児童グループでチームを組んで競技をするためのロボットを製作する。それをTAとして指導するのは高専ロボコンで活躍している本校の学生団体「ロボコンゼミ[3)4)]」（以下，ゼミ）である。アイデア実現能力や問題解決能力に優れ，グループワークを実践しており，年齢も近い学生がTAとして参加することは，子供達にものづくりの方法や楽しさをダイレクトに伝えられるだけでなく，学生自身も教えることの難しさ・楽しさを体験し，共に成長することが期待できる。

4．プロジェクトの内容

4.1　実施計画

実施計画を表２に示す。動機付けとなる見学やロボコンデモを含めて6テーマ分の時間で実施した。2月には発表会も行う予定である。なお人数は第1～3分室合計で今年度は111名である。

4.2　題材

ロボットを題材としたのは，SPP申請上の制約（小学生対象の場合はロボットを題材とする場合に限る）と優秀なロボコンゼミ学生をTAとして参加させたいことが主な理由である。TAとの事前打ち合わせでは，ロボットを題材として次のことを実践することを計画した。

◎参加児童の発達段階に対応
◎児童のアイデアを誘引しPBL志向する指導
◎体験を通した理解
◎適切な製作記録（ポートフォリオ）作成
◎グループワーク

そこで児童のアイデアを誘引し自分達で問題解決しやすくするため，組立に電動工具が不要で，ニッパ・ラジオペンチ・ドライバだけで機構を構成できる部材をふんだんに用意し，モータ駆動によるリンク機構やスライダ機構等を容易に構成・実験できるように配慮した。

TA リーダー 5 名の議論により設定した競技は，スポンジでできたサイコロを自チームのゴール台に運ぶ競技（以下，サイコロリン）で，サイコロを集める，運ぶ，台に乗せる，など役割分担が重要であり，ロボット製作のアイデア段階からチームの戦略が鍵となる。

製作の各段階においては，学習記録となるアイデアメモやスケッチ，グループワークでの議論の記録などをポートフォリオとして残し，八王子市教育関係者や保護者を招いて2月に開かれる発表会や，取組の評価に活用することとした。

表２　実施内容

日程	参加者	内容	場所
4月26日	関係者・TA	日程・内容打合せ	センター
5月24日	関係者・TA	試作ロボット・競技フィールドによる競技実演・評価，製作難易度・実施上の注意事項検討	センター
6月9日	関係者・児童・TA・保護者	開校式，ロボットの展示と内容を紹介し児童の興味を引く，内容の最終確認，安全面検討	センター
7月30日	関係者・児童	ロボット工場見学（動機付け，ロボットの社会での役割の理解），環境をテーマとした見学，アンケート・レポート（感想文）	企業・バス借り上げ
8月21日	関係者・児童・TA	児童120名で実施，午前：ロボコンデモによる動機付け・TAと交流，午後：ロボットの共通部分の組立，競技の解説，グループ分け・役割分担・作戦会議，必要な材料リスト，アイデアをまとめる，アンケート	東京高専
9月15日 9月22日 10月6日 （分室毎）	関係者・児童・TA	児童40名毎に3回実施，最小限のTAのアドバイス，午前：児童のアイデアによる機構を搭載したロボットの製作，モータのギヤ比と速度・力の関係を体験により理解，リンク機構等の体験による理解，午後：チーム対抗競技，アンケート	東京高専
11月15日	山崎教育システム(株)・TA	教材の改良提案・懇談会	東京高専
2月16日	関係者・児童・TA・保護者	閉校式にて発表会，製作記録（ポートフォリオ）・ロボット展示，評価	センター

注：「関係者」は，センター指導教諭，教育委員会関係者等

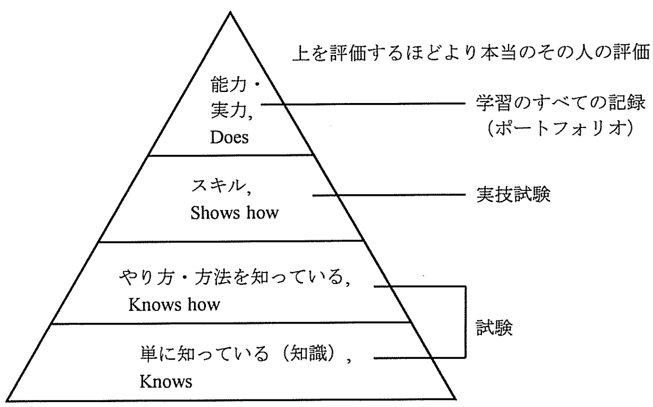


図４　能力ピラミッドとその評価[5)]

4.3　評価計画

米国のDr.　Millerが1990年に提案した能力ピラミッドとその評価[5)]（図４）に示されるように，知識や方法を知っているかどうかは，テストで計ることができるが，実際にやったことや身につけた問題解決能力を計るためには，ポートフォリオでしか評価できない。しかし，数回しかないものづくり教室で向上した小学生の能力を評価するのは，明らかに無理がある。それよりも発達段階と内容に応じた適切なポートフォリオを子供達に作らせることができたかどうかは実施する側の評価とすることができるはずである。ポートフォリオの客観的な評価は，教育現場での導入事例も少なく，試行・研究段階であり簡単ではない。しかし

次年度につなげるため，子供達に返却する前にコピーを取り実施報告書に収録するとともに関係者全員で自己評価する。

科学技術や理科等に関する興味・関心・知的探求心の深まりは，アンケートで明らかにする。努力すれば自分のアイデアを実現できるようになることを理解し技術に夢を持てるようになったかどうか，を計ることができる諮問を用意した。

4.4　実施内容

(1)　TA

ゼミの4，5年生で希望して集まった学生5名をリーダーとするTAグループにより本取組は実施された。リーダーは児童に教えること以外に，次のことを行った。

・競技を考案しルールブックを製作・改良。
・部品リストの作成。
・フィールドとロボットの試作。
・TAに対してロボットの事前製作指導。
・毎回実施後の反省会とその議事録を元にタイムテーブルと指導要領の改訂。
・アンケート案について教員と調整。
・実施日前に教室と部品・工具の準備。
・実施日前日にタイムテーブルと指導要領を使い，指導のポイントとその内容をTAに説明。

最終回の反省会では翌年に向けた提案の他，教材開発企業への製品改善提案もとりまとめた。

TAの人数は後述の(5)では，各児童グループに1名であったが，児童1人にトラブルが発生すると，TAがその児童にキープされ，他の児童の製作が止まってしまうことから，(6)では最終的に児童2名に1人以上の体制とした。

(2)　打ち合わせ

開校式前に八王子教育委員会関係者と小学校校長・教諭が出席するセンター関係者の会議にTAリーダーと共に参加し打ち合わせを行った。1回目はプレゼンで概要を示し日程を決定した。2回目は難易度その他を評価してもらうため，製作した競技フィールドと試作ロボットを持ち込み，関係者に体験してもらった。

(3)　センター開校式

6月の開校式では試作ロボットを持ち込み展示を行った。休憩時間にはほとんどの児童がロボットの周りに集まったため，急遽操縦体験やデモを行うこととなった。この年齢では男女問わずものづくりへの関心が高く，工学系への動機付けの年齢として適していると思われる。

(4)　山梨県環境科学研究所見学

当初，ロボット工場とセットでの見学を計画したが，調整がつかず環境科学研究所だけの見学となった。環境と技術の調和を考えさせるレポートを課題とし，後日児童に提出してもらった。

(5)　ロボコンデモと共通部分の組立

小学校の夏休み中に全分室に対して一度に実施した。まず興味を引くため，高専ロボコンとサイコロリンの競技デモを実施した後，グループに分かれ，ロボットの共通台車部分の組立を行った。台車はキャタピラタイプとタイヤタイプがあり，各グループで作戦を考え選択した。各自の部品でギヤ比と速度・トルクの関係を体験してもらう予定であったが，時間が全く足らず次回に持ち越しとなった。また，次回製作するため，台車の上に搭載するサイコロを運ぶ機構について，TAの作ったロボットを参考にしながら，アイデアメモに各自のアイデアをスケッチさせることを試みた。しかしほとんどの児童が描くことができず大失敗した。高専生にとっても，リンク機構の動きをスケッチで理解することは極めて難しく，よく考えれば当然のことである。そこで反省会ではリンク機構サンプルを予め板の上に作っておき，児童がそれを見ながら自分のアイデアを実現する機構を別の板の上に試作した上で，スケッチの替わりに写真撮影することとした。

(6)　児童のアイデアによる機構の組立，競技会

競技会実施の都合と児童毎に出されるアイデアに対応するため各分室毎に実施した。9時から15時45分までの間に次のことを行った。

①競技ルールの説明，前回作成の作戦シートの内容確認，アイデアメモの作成
②アイデアを実現する機構の試作（機構は写真撮影し，後でアイデアメモに貼り付け）
③ロボットの組立
④チームの作戦シートの清書
⑤練習と競技会
⑥アンケート，表彰式

休憩は児童の様子を見て適宜挿入する予定であったが，疲れた雰囲気に全くならなかった。お昼休みは1時間の予定であったが児童は10～15分程度で弁当を食べ終え部屋に戻り，TAに質問しながら製作を始めていた。ものづくりが楽しくて仕方がない様子であった。15分の食事を挟んで実に5時間もの間，児童は製作に集中していたことになる。

②については，自分のアイデアでなく機構サンプルと全く同じものを作ってしまったり，前回製作したロボットの台車上でなく，試作用の板にアイデアの機構を組み立ててしまう児童がいたため，時間短縮も兼ね，第2分室からは機構の見本とな

るロボットを新たにTAが準備し，児童はそれを参考にしながら，前回製作した台車の上に各自のアイデアを組み立てることとした。その見本ロボットは意図的に強度の弱い部分を残したり，少し工夫すればサイコロをたくさんつかめるようにするなど，完成度を低くしておき，児童のアイデアを誘引することを心がけた。この方式では，ほとんどの児童が見本ロボットと同じものを作ってしまう心配があった。もちろんそのような児童もいないわけではなかったが，完成度の低い部分をアイデアで補うのは当然として，TAが思いもつかなかったアイデアを実現する児童も多数現れ，完成度の低い見本ロボットは，さらに上をいくアイデアを児童からたくさん誘引できることに驚かされた。

競技会前には，グループ毎に議論し作戦シートを清書した。競技時間は2分であるが，無得点のチームは無く，TAや引率教員，他の子供達からの声援を受け，白熱した競技が展開された。競技終了後は表彰式を行い，自宅で改良したい人は余った部品を持ち帰って構わないことを伝えたところ，大喜びであった。

(7)　教材メーカーとの懇談

ロボットの試作や児童への製作指導を通じて，使用した部材・部品についてTAからたくさんのアイデアや改良提案が出され，最終のロボット製作・競技会後の反省会でその内容がまとめられた。11月には教材メーカーの企画開発室課長と営業担当を交えて，TAリーダーグループにより製品改良の提案についてプレゼンテーションが行われた。材料の性質に始まり，部品設計，各部品の金型，生産工程の改良といった生産技術にまで幅広く意見交換が行われ，メーカーで改良を進めることとなり，今後の教材開発に協力していくこととなった。

5．アンケート結果

各分室でロボット製作と競技会の終了時に，JSTと本校で用意したアンケートを実施した。

5.1　JSTのアンケート結果・考察

JSTのアンケート項目について，本取組の成否に関わる主なものを図５に示す。

これらの結果によれば，98%の児童がこの授業を面白かった（(1)）と感じており，面白くないと答えた児童は皆無であった。また「どちらかといえば」も含めて73%が難しかったと感じつつも，91%が理解できたと回答した（(2)，(3)）。

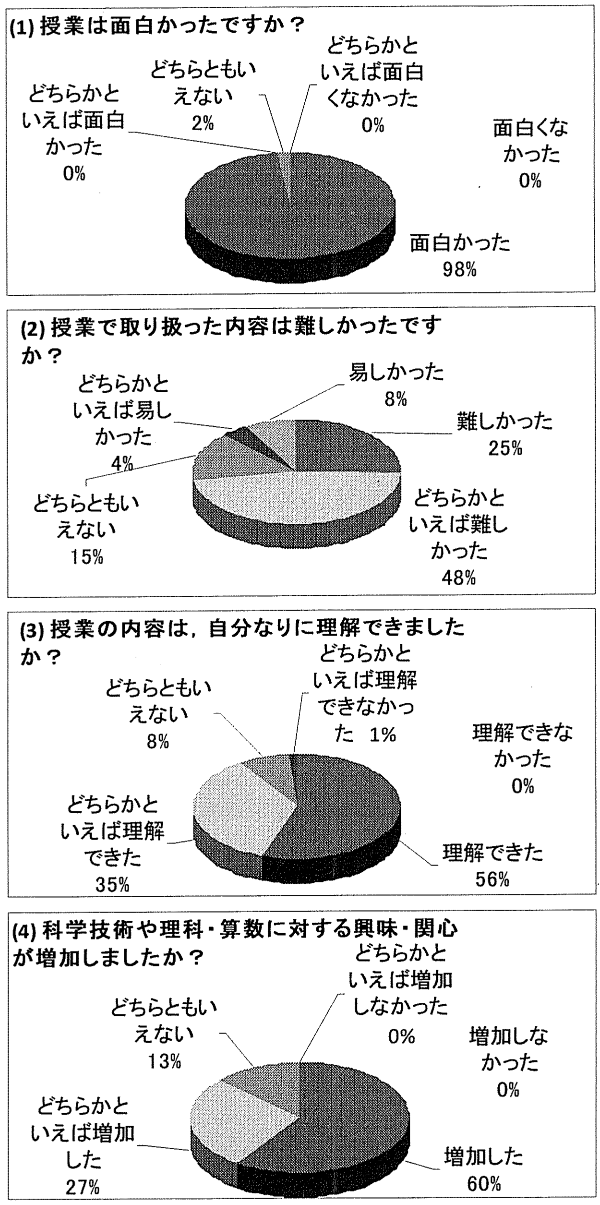


図５　JSTの主なアンケート結果

つまり難しいと感じた内容を理解させることに成功しており，TAの指導は適切であったことが伺える。さらに，87%の児童が科学技術等・理科・算数への関心が増加したと答えており（(4)），SPPの目的「児童生徒の科学技術、理科・数学（算数）に関する興味・関心と知的探究心等を育成する」は達成できたと考えて良いと思われる。

5.2　本校で用意したアンケート結果

JSTとは別に表３に示す内容を調査するアンケートを用意した。図６に主なアンケート結果を示す。アンケートに答えた児童（小学６年生）は，基本的に科学的関心が高く自分の意志で八王子市科学教育センターに参加している。そのことに注意して考察する必要があるが，科学技術への探求

表３　本校のアンケート内容

(1) ものづくりへの興味の深まり
(2) 家庭でのものづくりの環境
(3) ドライバなどの工具の使用経験
(4) 物作りの経験
(5) 技術への夢
(6) ロボットへのイメージ
(7) 次の質問への導入
(8) 自分への可能性を高められたか
(9) 科学技術への興味・職業意識
(10) 物作りへの関心の高まり

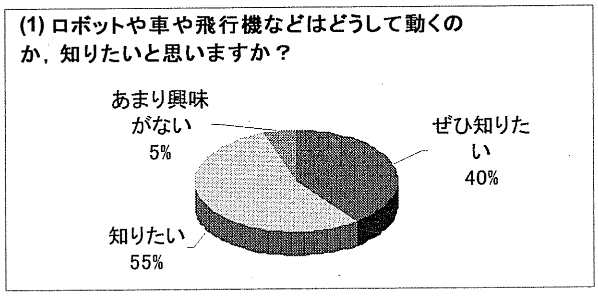
心を聞く質問（(1)）とその他（(9)，(10)）から，本取組によりものづくりへの興味は非常に高まった様子がうかがえる。また９割の児童が将来勉強すればTAと同じようにロボットを製作できると考えており（(8)），自分への可能性を高めさせることに成功したと言える。これは年齢の近いTAに教えてもらったことも影響していると思われる。

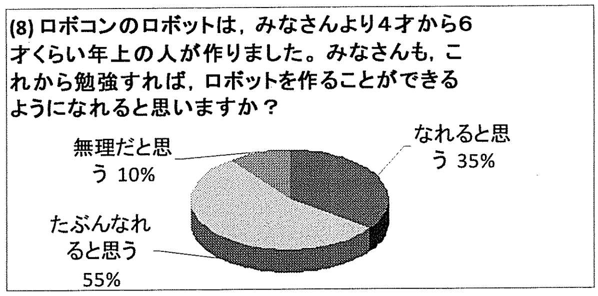
将来技術者になりたいかどうか（(9)）については，38%が「まだわからない」と答えているものの，「少し」を含め47%もの児童が「なりたいと思う」と答えた。また「他の仕事をしたい」と答えた15%の児童全員が，医者，先生，司書など具体的に答えており，合わせて62%もの小学６年生児童が何らかの職業意識を感じていることは驚きである。

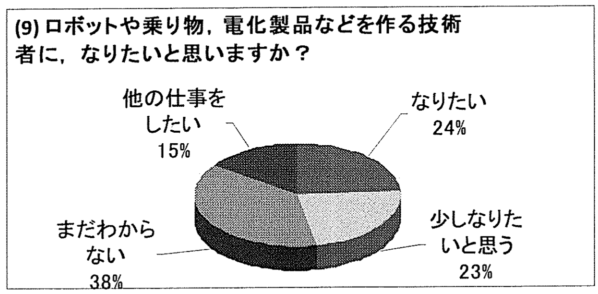
ものづくりへの関心の高まりを見るため，教えてくれる人がいると仮定して何を作ってみたいか聞いた（(10)）ところ，人の生活に役立つ何らかの「ロボット」を挙げる児童が多かった。本取組により高専や大学工学部を目指す子供が増えることを期待したい。

６．まとめ

工学部離れや団塊の世代の大量退職による近い将来の技術者不足の対策をめざし，児童の科学技術に対する夢を育み，知的探求心を育成することをねらいとして，児童の発達段階に対応した「PBL型ものづくり教室」を東京高専と八王子市科学教育センターが連携して実施した。関係者の評価やアンケート結果からは目的はほぼ達成できたと考えられる。副産物として考えていたTAの成長を示す記録もたくさん得ることができた。児童の学習記録（ポートフォリオ）は関係者やTAとともに評価・検証し，来年度の継続実施につなげたい。







(10) 先生や他の大人や学生など，作り方を教えてくれる人が近くにいると思ってください。今，何か，作りたいものがあったら書いてください。

第1分室

アスレチック，今まで作ったことのないようなロボット，ロボット(5)，人間みたいなロボット，ロボコン，ペットボトルロケット，自動的に動くロボット，コンピュータロボット，またロボットを作りたい，家，もっとすごい（今日作ったものより）ロボット，そうじできるロボット，小さいロボット，エリコプターのロボット，人型ロボット（複雑な動きができる），生活で役立つロボット，エンジンのラジコン，自動車，しゃべれ

第2分室

ロボット(3)，人のきおくをけすきかい，酸素を出す事，熱帯魚の自動えさやりき，ドラえもん，車，サイコロリンの強いロボット，小さい木のハウス，ビデオカメラ，カメラ，もう一つキッドを作りたい，しゃべるロボット，ミニロケットを作ってみたいなぁ～，かんたんにつくれる物，立って歩くロボット，ブックカバー，かみねんど，大きいロボット，サーボモータを使ったロボット，二足歩行のロボット，もう一つのロボット，ダイナマイト，もっとすごいロボット，からくり

第3分室

ロボット(5)，自分でうごくロボット，とても大きいロボコン，ラジコン(2)，ロケット，ガンプラ，土をほれるロボット，メモリーカード，2足ほこうのロボット(2)，本のページをめくってくれるロボット，動物型ロボット，赤外線コントローラ式ロボット，人型ロボット(2)，人型ロボット（50cmくらいの），ロボコンのロボット，今日作ったロボットをキャタピラー版でおしえてほしい（欄外に「中学3年の受験のとき，ここへ来たいです」），もう一台ロボットを作りたい，まんげきょう，もう一度ロボット，モーター，今日作ったロボットより少しレベルが高いロボットをつくりたいです，せん車，パソコン，薬の作り方

図６　本校で用意した主なアンケート結果

このような取組はすぐに始められるというものではない。教育・研究等の一般校務の他，JABEEや認証評価，留年対策，定員削減，非常勤削減，外部資金獲得等で非常に忙しい昨今の状況では，教員が学外の教育機関へのサービスまで主体的に対応するのは非常に厳しいと言える。本取組の成功は，人にものづくりを教えることが楽しいと感

じる学生グループを十分に育てておけたからであると考えている。学生は，本取組により通常の学習では得られない，責任あるプロジェクト実施の経験をさせることができ，すばらしい成長を見せた。このような学生を社会に送り出せば高い評価を得ることは間違いなく，本取組が社会貢献・地域貢献であることと合わせ，将来の高専そのものへの評価にも繋がるはずである。

本取組は，（独）科学技術振興機構のサイエンス・パートナーシップ・プロジェクトの支援を受け実施した。ここに感謝の意を表する。

参考文献

1) 大田区立矢口小学校・大田区立安方中学校・大田区立蒲田中学校，小中一貫した Technology Education 教育課程の開発，文部科学省研究開発学校，最終年次研究紀要，132p，2007.2
2) 日工教，初等・中等教育と高等教育の連携ワーキンググループ中間報告，2006
3) 小坂敏文，松井義弘，松林勝志，吉原正一郎，黒崎茂，阿津勝博，ものつくりを目指す課外教育指導の試み—東京高専におけるロボコンゼミの発足の報告—，平成 14 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp.477-478，2002.7
4) 松林勝志，小坂敏文，松井義弘，福田勝己，鈴木塔二，羽鳥広範，ものつくりを目指す課外教育指導の試み 第２報－東京高専におけるロボコンゼミの発足後の経過報告－，平成 18 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp.354-355，2006.7
5) 吉田一郎，世界の医学教育の流れはポートフォリオ評価の時代へ，http://www.igaku-shoin.co.jp/nwsppr/n2003dir/n2530dir/n2530_03.htm

（平成２０年１月７日受理）

ラマン分光の物質工学実験への導入

阿久沢　昇*，小島洋一郎*,**，土屋賢一*，高橋三男*，中野雅之*

Raman Spectroscopy as a Laboratory Work for Students of Chemical Science and Engineering

Noboru AKUZAWA, Yoichiro KOJIMA, Ken-ichi TSUCHIYA,
Mitsuo TAKAHASHI and Masayuki NAKANO

Taking into account recent technological importance of nanomaterials such as carbon nanotube, fullerenes, etc., a new experimental subject has been introduced in the laboratory works for the 4th year students of the Department of Chemical Science and Engineering. The experiment consists of Raman spectroscopy of carbon nanotube, graphite and glassy carbon, in addition to the X-ray diffraction measurements of these samples. The Raman spectra were analyzed in connection with structural information derived from the X-ray diffraction experiment.
(Keywords: Raman spectroscopy, carbon nanotube, X-ray diffraction)

１．はじめに

物質工学科４年生が学習する物理化学・材料化学実験では反応速度、蒸気圧、電池、超伝導などの熱力学や反応速度及び材料化学関連の実験テーマが設定されている。最近のナノマテリアルの研究の進展によって習得しておくべき事項が増加しており、あらたにこの種の実験テーマの導入を試みた。特に平成 18 年度にラマン分光光度計が設置され、ラマン分光がナノマテリアルのキャラクタリゼーションに威力を発揮している現状を踏まえて、ナノカーボンを含むカーボン材料のラマン分光についての実験テーマを構築し、平成 19 年度に実施した結果を報告する。

２．実験の概要

２－１）X 線回折測定：X 線は CuKα線（0.15405nm）を用い、試料には未知試料と２種類のカーボン試料（グラファイト(膨張化グラファイトシート)とガラス状カーボン）を用いる。測定は２θで 20° から 60° までの範囲で行う。測定の操作は装置に備え付けのマニュアルに従って行う。

（結果の解析）

1）ブラッグの式を用いて格子面間隔（d）を計算する。
2）未知試料が何か、Powder Diffraction File の Search Manual (Hanawalt)を用いて同定する。
3）カーボン試料のｄ値を理想的なグラファイトの格子定数と比較する。
4）グラファイト(膨張化グラファイトシート)とガラス状カーボンのｄ値を比較し、両者が構造的にどのように異なるか考察する。

２－２）ラマン分光測定：グラファイト（膨張化グラファイトシート)、ガラス状カーボン、カーボンナノチューブのラマンスペクトルを観測する。装置は日本分光㈱製レーザラマン分光光度計 NRS3100（励起波長：532nm）を用いた。

（結果の解析）

1）グラファイトとガラス状カーボンの測定結果を比較する。
2）カーボンナノチューブに特徴的な振動モードについて測定結果を考察する。

＊物質工学科　＊＊苫小牧高専

3．実験レポートの一例

（レポートを提出した学生に許可を得て原文のまま掲載した。）

平成19年度物理化学・材料化学実験実験報告書
テーマ：　カーボン材料のラマン分光とX線回折
報告者：　08番　工藤翔慈
共同実験者：09番倉ヶ谷彩地、10番柴田響也
実験日：　2007年5月8日　天候：快晴
場所：　2棟3階 阿久沢研究室
報告日：　2007年5月9日

1．目的

ラマン分光光度法とX線回折によりカーボン材料の構造解析と，X回折による未知試料の同定を目的とした．

2．理論

2－1．ラマン分光光度法の原理

物質内に入り込んだ光は，物質内のさまざまな不均一構造によって散乱する．振動数v_0のレーザー光などの単色光を物質に照射した場合にその物質からの散乱光を調べると，2 種類の散乱光が観測される．1種類は入射光と同じ振動数v_0の光でレイリー散乱光という．もう片方は振動数がわずかにシフトした非常に弱い光（振動数$v_0 \pm v_i$）でラマン散乱光という．また，ラマン散乱光のうちv_0+v_iのものをアンチストークス線，v_0-v_iのものをストークス線と呼ぶ．

通常は，ストークス線についてその強度を縦軸に，照射光からのシフトを横軸として表示したものをラマンスペクトルという．ラマンシフトは物質の振動エネルギーモードに対応していることから，ラマンスペクトルは IR スペクトルと同様の振動スペクトルである.ラマンスペクトルを解析することによって物質の同定や組成の評価,結晶性や配向性などの構造に関する評価を行なうことが出来る．

赤外吸収スペクトルでは,振動基底準位から第1励起準位への遷移が起こり，このエネルギー差に相当する振動数の赤外光の吸収が観測される．これに対して，ラマン散乱では物質の振動エネルギー準位よりもはるかにエネルギーの高い可視領域のレーザー光を照射する．レーザー光の照射により，電子および振動基底状態からエネルギーの高い仮想的な準位に上がるとともに弾性的に散乱光が生じて基底状態に戻る場合に観測されるのがレイリー散乱光であり，非弾性的に振動の励起状態に戻る場合に観測されるのがストークス線である．アンチストークス線は，振動の励起準位にあるものがエネルギーの高い仮想準位を経て，振動基底準位に戻る場合に観測される．

2－2．X線回折

3 次元の規則正しい原子配列をとる結晶に単色X線を入射すると，結晶を構成する各原子によってX線は散乱され，互いに干渉するが散乱反射波はある特定の方向にのみ強めあい回折を生じる．反射波が回折を起こすためには,ブラッグの条件，すなわち次式を満たさなければならない．

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

θは入射X線と格子面とのなす角（回折角），nは整数である.X線回折による結晶構造の解析は，Braggの条件から波長λか回折角θのいずれかを変化させ，X線強度スペクトルを測定することにより可能である．X線回折法には種々の方法があるが，ここでは粉末X線回折法を用いて実験を行う．

回折計の原理を述べる．位置と方向を固定したX線源からX線を照射する.試料とX線検出器は，試料表面の中心を通る共通軸の周りで回転させる．試料の回転速度を$\angle\theta$とすると，検出器のそれは$2\angle\theta$となる．入射X線の方向と検出器の方向のなす角を2θとして,Braggの式と関係づけられ，それぞれの回折線に対する格子面間隔dが得られる.粉末X線回折スペクトルは,各回折線についてのdとX線相対強度Iにより特徴づけられる．この強度はピークの高さではなく,積分強度であり，ピークの面積により得られる．

3．実験

3－1．ラマン分光光度法によるカーボン材料の構造解析

マニュアルに従って光度計を操作して，グラファイト，ガラス状カーボン，カーボンナノチューブのラマン分光測定を行った．

3－2．X線回折によるカーボン材料の構造解析と未知試料の同定

マニュアルに従ってX線回折計を操作して，グラファイト，ガラス状カーボン，未知試料のX線回折測定を行なった．

4．結果

4－1．ラマン分光光度法によるカーボン材料の構造解析

グラファイト，ガラス状カーボン，カーボンナノチューブの測定結果をそれぞれ図 1，図 2，図 3 に示した．

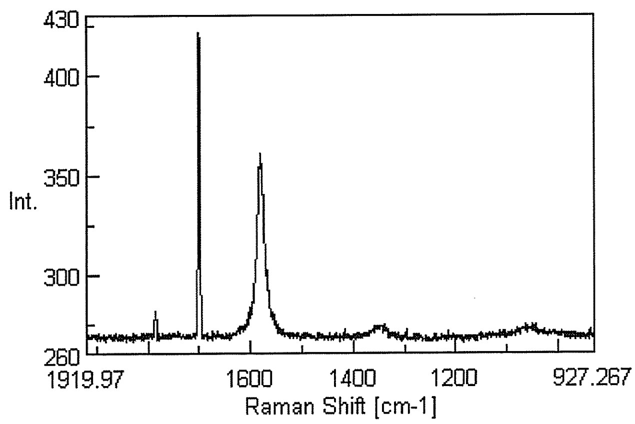


図 1　グラファイトのラマン測定結果

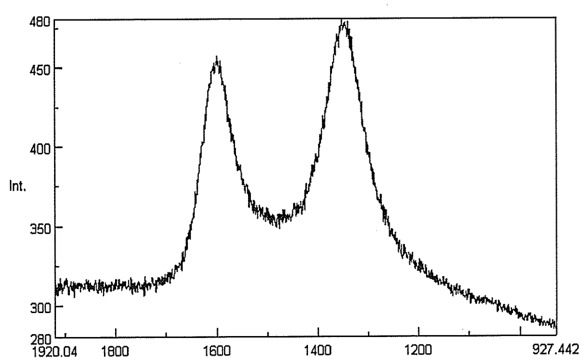


図 2　ガラス状カーボンのラマン測定結果

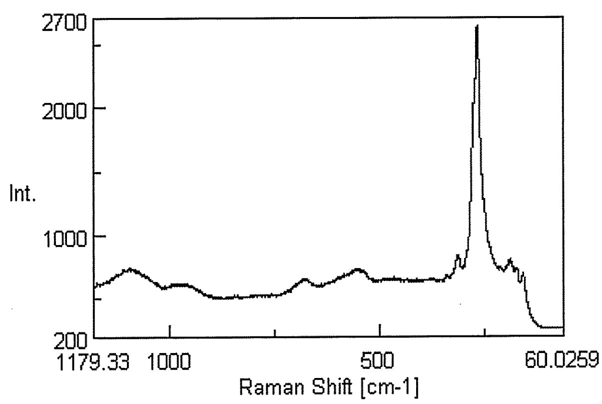


図 3　カーボンナノチューブのラマン測定結果

図 1 と図 2 の共通点は，ラマンシフト 1580～1600[cm^{-1}]付近でピーク（G バンド）が表われている点である．図 1 と図 2 の異なる点は，図 2 には 1336[cm^{-1}]付近にもう一つのピーク（D バンド）が表われているのに対して図 1 にはそれが表われていない点である．

図 3 は，ラマンシフトの位置を中心約 650[cm^{-1}]付近にずらして測定したため，　1580[cm^{-1}]付近にピークが表われているかどうかは分からない．しかし，267.826[cm^{-1}]で強いピークが出ているのが分かる．

4－2．X 線回折によるカーボン材料の構造解析と未知試料の同定

X 線回折の結果を，グラファイトは図 4，ガラス状カーボンは図 5，未知試料は図 6 にそれぞれ示した．強いピークが観測された 2θ の値を使って，それぞれの材料の格子定数 d を求めた．以下に計算過程と結果を示す．

ブラッグの条件 $2d\sin\theta = n\lambda$ より，

$$d = \lambda/(2\sin\theta)$$

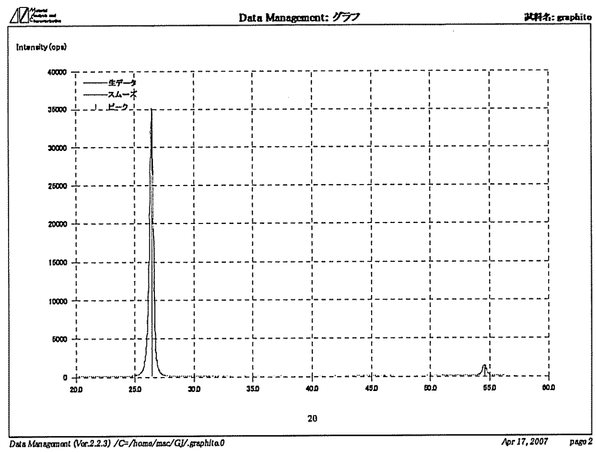


図 4　グラファイトの X 線回折測定結果

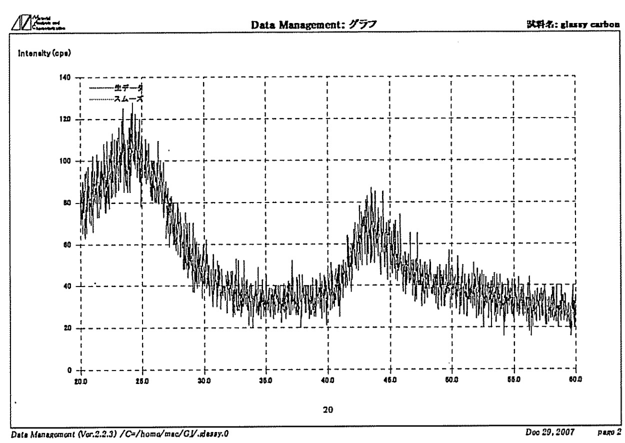


図 5　ガラス状カーボンの X 線回折測定結果

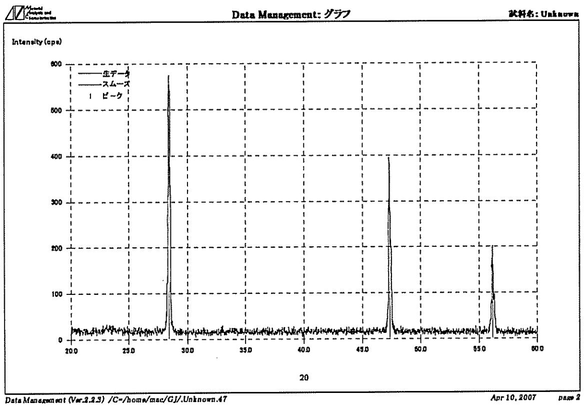


図6　未知試料のX線回折測定結果

ここでは，n＝1とした．この式にλ＝1.54056Åとそれぞれのθの値を代入してそれぞれのdが求まる．

グラファイトは，2θ＝26.4400°．よって，θ＝13.2200°、　d ＝ 1.54056Å/（2sin13.2200°）＝3.3683Å

ガラス状カーボンは，2θ＝24°．よって，θ＝12°
d ＝ 1.54056Å/（2sin12°）＝3.7Å

未知試料について，ピークが強かった順に$2\theta_1$，$2\theta_2$，$2\theta_3$，これに対応する格子定数をd_1，d_2，d_3とすると，まず，$2\theta_1$＝28.4600°．よって，θ_1＝14.2300°．d_1 ＝ 1.54056Å/（2sin14.2300°）＝3.13358Å
また，　$2\theta_2$＝47.3000°．よって，θ_2＝23.6500°
d_2 ＝ 1.54056Å/（2sin23.6500°）＝1.9202Å
最後に，$2\theta_3$＝56.1400°．よって，θ_3＝28.0700°
d_3 ＝ 1.54056Å/（2sin28.0700°）＝1.6370Å

5．考察

5－1．ラマン分光光度法によるカーボン材料の構造解析

4－1．でも述べたように，グラファイトとガラス状カーボンの測定結果の共通点は，1580～1600[cm^{-1}]付近にピーク（Gバンド）が表われている点である．　1580[cm^{-1}]のGバンドはグラファイト構造によるものである．

グラファイトとガラス状カーボンの測定結果の異なる点は，ガラス状カーボンの方は1336[cm^{-1}]付近にもう一つのピーク（Dバンド）が表われていることであるが，Dバンドは低結晶性炭素材料で観測される．したがって，Dバンドが表われなかったグラファイトは結晶性がよく，Dバンドが表われたガラス状カーボンは結晶性が悪いといえる．

カーボンナノチューブの結果について考察すると，268[cm^{-1}]付近で強いピークが検出されたのは，チューブ構造の振動によるものであると考えられる．グラファイトやガラス状カーボンはチューブ状ではないため，ここで表われるピークはカーボンナノチューブ特有のものと考えられる．

5－2．X線回折によるカーボン材料の構造解析と未知試料の同定

X線回折によって測定された格子定数dの値はそれぞれ4－2．で示したとおりである．

カーボン試料のd 値を理想的なグラファイトの格子定数（d_{ideal}とする）と比較してみる．文献値（1を調べると，d_{ideal}＝3.354Åである．実験でのグラファイトのd 値は，d ＝3.3683Åで，文献値にかなり近い．d がd_{ideal}よりも大きいと，試料の結晶性は理想的な結晶よりも劣り，差が大きくなるほど結晶性は悪くなる．したがってグラファイト試料の結晶性は比較的良いものと思われる．一方，ガラス状カーボン試料のd 値はd ＝3.7Åであり，かなり結晶性が悪いことが分かる．

未知試料の同定について，Powder Diffraction FileのSearch Manual (Hanawalt) と測定したd 値が一致する物質を調べた結果，ケイ素が一致した．よって，未知試料はケイ素であると思われる．

6．結論

本実験で分かったことを箇条書きで示す．

1.ラマン分光法およびX線回折によって物質の同定ができ，結晶性などの構造に関する評価ができる．
2.ブラッグの条件より，X線回折によって格子定数が求められる．
3.グラファイトとガラス状カーボンでは，グラファイトの方が結晶性がよい．
4.ラマン分光光度法において，カーボンナノチューブは1580[cm^{-1}]付近で表われるグラファイト特有のピーク（バンド）のほか，268[cm^{-1}]付近でカーボンナノチューブ特有のピーク（バンド）が表われる．
5.X線回折による同定の結果，未知試料はケイ素であること．

7．参考

1) 阿久沢研究室ラマン装置備え付け資料

4．本テーマに対するアンケート調査結果

実験実施後にアンケート調査を行った。その内容を以下に記す。調査は2007年6月5日に実験を終了した物質工学科4年生16名を対象に実施した。

今年度から導入した標記テーマについて皆さんの忌憚のないご意見をお聞かせください。今後の改善の参考にしたいと思っております（物理化学・材料化学実験担当教員一同）。

$\boxed{1}$. ラマン分光の原理について理解できましたか？（該当するものを○で囲んでください）

１理解できた　２ある程度理解できた　３あまり理解できなかった　４全く理解できなかった

（回答）

１：２人、２：１２人、３：２人、４：０人

$\boxed{2}$. カーボン材料のラマン分光測定結果の解析について理解できましたか？

１理解できた　２ある程度理解できた　３あまり理解できなかった　４全く理解できなかった

（回答）

１：４人、２：１１人、３：１人、４：０人

$\boxed{3}$. この実験に興味を持って取り組むことはできましたか？

１大変興味深く取り組んだ　２ある程度興味深く取り組んだ　３あまり興味がなかった
４全く興味がなかった

（回答）

１：６人、２：９人、３：１人、４：０人

$\boxed{4}$. 実験レポートの作成にあたって難しいと感じたところはありましたか？あったらどんなことかご記入願います。

１無かった　２あった

（回答）

１：１０人、２：５人、無回答：１人

難しいと感じたこと：

１）なぜグラファイトの特有のピークが 1580cm^{-1}なのか。

２）どこまで理解を要求されているのかよくわからない。自分の限界まで理解すればよいのか。

３）テキストに間違いがある点（もとよりあまり鵜呑みにしてませんが）

４）実験操作をどう書くか。

５）ラマン分光法の原理を具体的に理解してそれをレポートで説明すること。

６）ラマン分光で出てくる波長についてよくわからなかった。

$\boxed{5}$. この実験についての率直な感想をお聞かせください。どんなことでも結構ですから思ったことを書いてください。

（回答）

１）高い機器だったのでさわるのがとても恐かったです。

２）炭素系だけでなくいくつかの他の物質についても調べたかった。

３）もっと多くの試料について行ってみたい。

４）様々なカーボン材料の違いを視覚的に確認できて理解しやすかった。

５）グラファイトひとつでいろいろなものができて大変興味深かった。ラマンは少し難しかったが、同定するのは面白かった。

６）（使ったことのない）新しい機器に触れることができて良い経験になった。

７）もっといろんな試料を測定してみたいです。

８）構造解析の手段として新たに知識を得ることができたので実に意義のある実験であった。

９）いまいちスッキリ理解できなかったところがぽろぽろ出てきたのでもっときちんとわかりたいと思います。

１０）機器分析の有用性がよくわかりました。

１１）分子の構造を知ることができたのでおもしろかったです。

１２）レポートの期限をはっきり指定してほしいです。色々なものに触れられるのは良いと思います。

１３）実験の原理で、実際に測定できることに驚いた。

１４）大きな装置を使う機会があまりなかったので、使用する機会が増えて嬉しい。

１５）機器の動かし方を見学しただけになってしまった。

１６）新しい装置を使って実験できてうれしい。

１７）ラマン分光でグラファイトの結晶構造が見えたとき感動した。

5．まとめと今後の課題

東京高専物質工学科の物理化学・材料化学実験は 4 年前期に学習するように設定されているが、ナノマテリアルに関する授業や X 線構造解析・ラマン分光の原理などについてはこの実験科目ではじめて学習する内容である。したがって何を学ぶかについてなるべく焦点を絞って教授することが重要となる。ここでは①X 線によって構造完全性の差異がみられることと未知試料をどのようにして同定するかを習得すること。②ラマン分光の原理を理解し、具体的にカーボン材料ではどのような振動が観測されるか体験すること。③カーボンナノチューブに特有な振動モード（RBM）が実際に測定できることを体験することの 3 点について学習し、物質のキャラクタリゼーションの基礎を学ぶと共にこの種の実験への興味をひきだすことを狙いとした。

アンケート結果でみられるように当初の目的はほぼ達成されたと考えてよいであろう。学生諸君が興味を持って実験に臨んだことがうかがい知れる。今後測定対象試料をより高結晶性グラファイト（高配向熱分解黒鉛など）やダイヤモンドなどを用いることで改良が図られるものと考えられる。

さらに、学生実験の実施にあたってはなるべく卒業研究の学生との交流が図れるように工夫した。具体的には、時間的に可能であれば卒研生が実験内容を説明したり、解析手法を伝授したり質問を受けたりしながらお互いに学びあうことを実践した。身近な先輩から教えを受けることで緊張感をもって実験に臨むことができたようである。1 年後の自分はこのように立派に後輩に教えることができるだろうかといった想いなどを感想文に記した学生もいた。卒研生のほうも後輩に説明したり質問に答えたりすることの緊張感や責任感のもとで教えることの大変さや楽しさを味わうことができたようである。この種の体験はいずれやってくる学会発表などに向けて貴重な体験になるものと思われる。

謝辞：本実験テーマの構築には平成 18 年度阿久沢研究室卒研生の萩原学君、江原祥隆君、倉田悠さん、岩谷篤志君、平成 19 年度卒研生の千綿司雄君、南部隼外君、三山文葵さん、橘村詩織さんの多大な貢献がありました。記して謝意を表します。また、実験レポートの掲載を快諾いただいた 4 年物質工学科工藤翔慈君に感謝いたします。

本研究は著者のひとり（小島洋一郎）が平成 19 年度高専間教員交流事業の一貫として東京高専に 1 年間滞在して共同で教育研究を実施した成果の一部でもあり、本交流をお認めくださった関係各位に御礼申し上げる次第です。

（平成 20 年 1 月 4 日　受理）

循環流動層ボイラー焼却灰からのゼオライト合成における反応機構

石井宏幸*，川上春菜**

Reaction Mechanism of Zeolite Synthesis from the Coal Ash and Refuse Incineration Ash of Circulating Fluidized Bed Combustor

Hiroyuki ISHII and Haruna KAWAKAMI

Zeolite synthesis from the coal ash and refuse incineration ash of circulating fluidized bed combustor (CFBC) is effective to reuse the ashes. By method of hydrothermal alkali reaction, the possibility of zeolite synthesis from the ashes was confirmed by XRD analysis, SEM photograph, pore size distribution and the capacity of ammonium ion absorption. Reaction mechanism of zeolite synthesis was discussed from the amount of ammonium ion absorption for synthesized material.
(Keywords: Circulating Fluidized Bed, Refuse incineration ash, Coal ash, Ziolite, Reaction mechanism)

1.　緒言

循環流動層ボイラーは石炭火力発電所や、一般ごみ、下水汚泥、家畜のふん尿などの廃棄物焼却に広く用いられている。循環流動層ボイラーの特徴は、炉内同時脱硫、脱硝などが可能であり、環境問題への適応や装置のコンパクト化が可能なことである。一般的な石炭ボイラーから排出される石炭灰は石炭エネルギーセンターの報告[1)]によると平成15年で年間987万トンであり、その80%はコンクリート混和剤や建材など土木、建築分野で再利用されているが、残りは埋め立て処分とされている。再利用率は年々上昇しているけれども、その処理費は上昇を続け、課題を残す。また、一般ごみや焼却灰の最終処分場の容量の余寿命も全国平均で約 10 年という状況にある。そこで、焼却灰の再利用方法として、吸着剤や触媒機能などに使用可能な付加価値の高いゼオライトを焼却灰から合成することを検討した。

ゼオライトの生成機構に関しては、一般的に①物質の表面に水和ゲルが生成し、不均一形成によるものと[2)]、②可溶性化学種による一次反応[3)]とする二つの考えがある。しかし、その原料、反応温度・圧力、pH などの諸因子により、反応機構、さらには合成ゼオライト自体も変化する。一般的な石炭ボイラーは、微粉炭であり、その石炭灰によるゼオライト合成は近年提案[4-6)]されてきている。しかし、循環流動層ボイラーの焼却灰、特にごみ焼却灰を用いたゼオライト合成についての報告はない。

そこで、本研究ではゼオライト合成に及ぼす原料の影響に着目し、循環流動層ボイラーの焼却灰(石炭灰、ごみ焼却灰)からアルカリ水熱処理法によってゼオライト合成の可能性を実験的に検証並びに、ゼオライト合成の反応機構について検討した結果を報告する。

2.　実験方法

2.1　前処理

循環流動層ボイラーからの石炭灰およびごみ焼却灰中に含まれるカルシウム分がゼオライト合成を阻害するため、水洗処理によって除去した。カルシウム分の除去のための水洗処理として、ビーカーに焼却灰または石炭灰 50g と純水 2L を入れ、常温・常圧で攪拌翼の回転速度 355rpm、24時間水洗浄を3回行った。また、石炭灰中の未燃炭素が及ぼすゼオライト合成への影響を除くために、水洗処理後の石炭灰を電気炉によって800℃、6時間焼き、未燃炭素分を除去した。尚、ごみ焼却灰中には未燃炭素分は殆

＊東京工業高等専門学校　＊＊東京海洋大学

ど存在しない。

2.2 ゼオライト合成

Fig.1 に示す実験装置を用い、石炭灰及び、ごみ焼却灰をアルカリ水熱反応によってゼオライト化した。300ml ビーカーに石炭灰及び、ごみ焼却灰 10g と NaOH 2M 水溶液 100ml を入れ、常温・常圧、攪拌翼の回転速度 450rpm、反応時間 0, 4, 8, 16, 24, 48hr にてゼオライト合成を行った。反応後、合成物を水洗処理によって中性とし、100℃、24 時間乾燥させた。

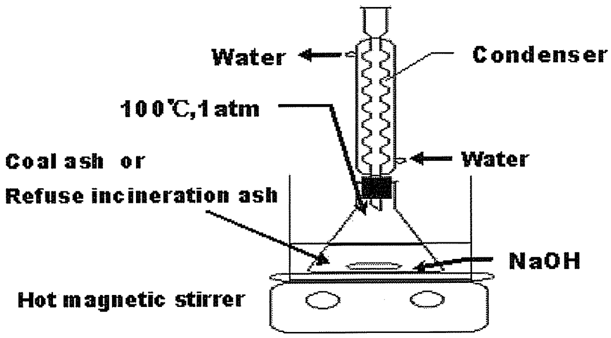


Fig.1 Hydrothermal synthesis reactor

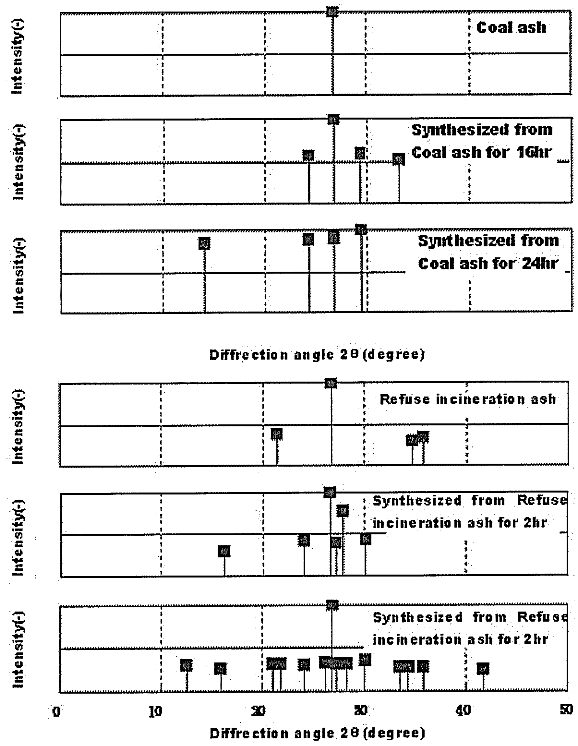
2.3 合成物の評価

アルカリ水熱処理によって得られた合成物の評価は、X 線回折測定(RAD ⅡA,(株)リガク)、SEM 写真(S-2150,(株)HITACHI)による表面観察、水銀ポロシメータ(Micromerritics poresizer 9310,(株)島津製作所)による細孔径分布測定、NH_4^+吸着量の測定結果によって行った。NH_4^+の吸着量の測定はインドフェノール青吸光光度法にて行った。

3. 実験結果および考察

3.1 X線回折測定結果

Figs.2 に焼却灰からアルカリ水熱反応によって得られた合成物の X 線回折測定結果を示す。石炭灰に関しては反応時間 0, 16, 24hr における X 線回折測定結果を、ごみ焼却灰に関しては反応時間 0, 2, 24hr における合成物である。石炭灰からの合成物は反応時間 24hr にて、ごみ焼却灰からの合成物は反応時間 2hr にてゼオライト特有の三強線である X 線回折角 2θ =13, 26, 30° にピークがあることからゼオライトが合成されていると考える。但し、石炭灰からのゼオライト合成時間とごみ焼却灰からのものとでは、合成完了時間が異なった。



Figs.2 XRD peak charts for synthesized zeolite from Coal ash and Refuse incineration ash

3.2 SEM 写真による表面観察

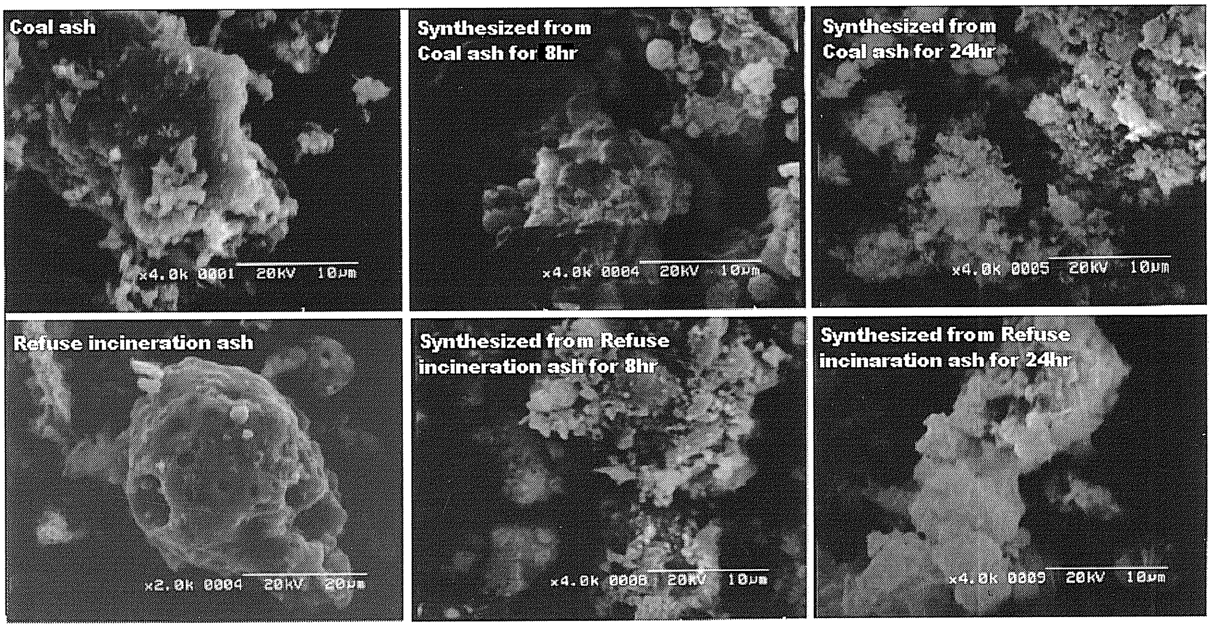
Figs.3 に合成物の表面状態を示す SEM 写真を示す。測定物は石炭灰及び、ごみ焼却灰から反応時間 0, 8, 24hr による合成物である。両者の焼却灰からの合成物は、合成時間の経過に伴って表面の凹凸の増加する傾向が観察された。即ち、時間経過とともに合成物の生成が増加していると考えられる。

3.3 細孔径分布測定結果

Figs.4 に水銀ポロシメータによって測定した合成物の細孔径分布を示す。石炭灰及び、ごみ焼却灰からの合成物には 10～100μm のメソスケールの細孔が確認された。尚、Figs.4 中の約 10μm 前後に測定されたピークは、合成物同士の間隙を示すので無視できる。

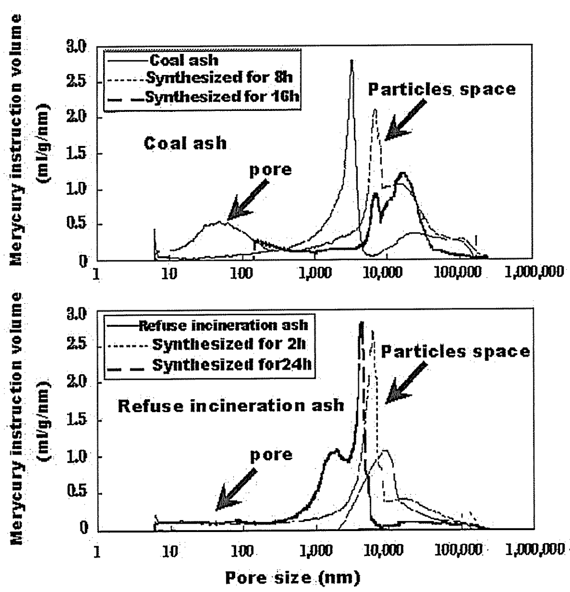
3.4 NH_4^+吸着実験結果

Figs.5 に合成物へのNH_4^+吸着量に及ぼすゼオライト合成時間の影響を示す。石炭灰では反応時間 0（石炭灰）, 4, 8, 16, 20, 24, 48hr における各々の合成物への NH_4^+の吸着量を、ごみ焼却灰では反応時間 0（ごみ焼却灰）, 1, 2, 4, 8, 16, 24, 48hr における各々の合成物への NH_4^+



Figs.3　Figures of the ash surface measured by SEM

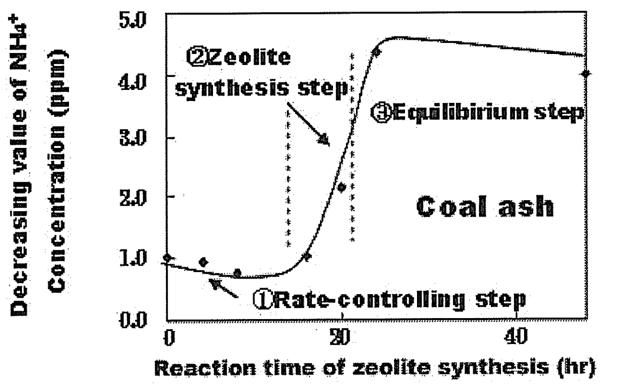
吸着量を測定した。反応時間 0，4，8hr における石炭灰からの合成物は NH_4^+吸着がなく、NH_4^+濃度の減少がほとんど見られなかった。しかし、反応時間 16hr から 24hr において NH_4^+濃度が急激に減少し、反応時間 24hr 以後は一定となった。ごみ焼却灰では反応時間 0（ごみ焼却灰）から 2hr の間にて、合成物への NH_4^+吸着によって NH_4^+濃度が減少した。



Figs.4　Pore size distributions

3.5　ゼオライト合成の反応機構

Figs. 2, 3, 4, 5 の X 線回折、SEM 写真、細孔径分布、NH_4^+吸着量測定結果によって石炭灰とごみ焼却灰からゼオライトが合成されたと考



Figs.5　Effect of reaction time of zeolite synthesis on amount of NH_4^+ absorbed by zeolite

える。次に、これらの実験結果より、本実験系におけるゼオライト合成の反応機構を検討する。Figs. 5 に示す定量的実験結果である NH_4^+吸着量に基づき反応機構を評価した。実験結果は石炭灰の場合、①合成開始から約 15 時間の間において焼却灰表面上を NaOH が攻撃しているが、ゼオライトは合成されておらず、②合成時間 15～24 時間の間においてゼオライト合成反応が急激に進んだ。ごみ焼却灰の場合、灰の表面上を NaOH が攻撃している時間は短いが、その後のゼオライト化は円滑に進行した。即ち、ゼオライトの合成開始からある時間まで NH_4^+吸着が行われず、その後 NH_4^+の吸着が始まり平衡状態に達した。この現象は先ず、焼却灰の表面上または境膜部分にて NaOH が反応している段階があり、次に焼却灰表面からゼオライト化が順次進行していく

と考えられる。その反応機構の概念図を Fig.6 に示す。

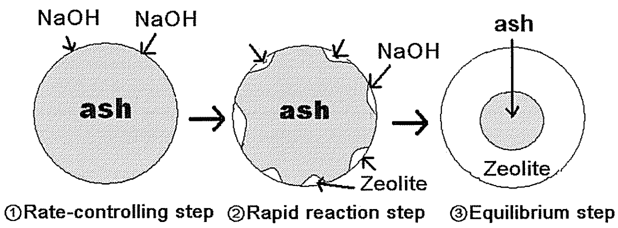


Fig.6 Conceptual scheme of the zeolite synthesis

ここで、Fig.7 にごみ焼却灰における合成物への NH_4^+吸着量に及ぼすゼオライト合成に用いた水酸化ナトリウム濃度の影響を示す。

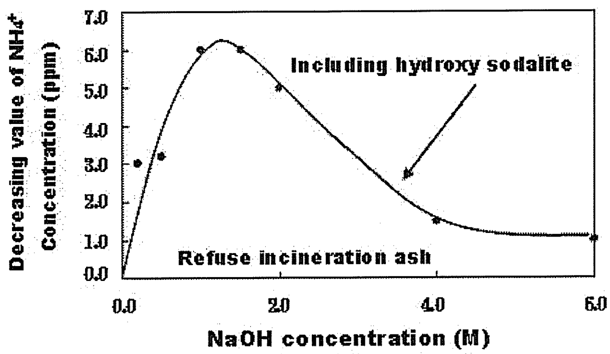


Fig.7 Effect of NH_4^+ absorption on the NaOH concentration for zeolite synthesis from refuse incineration ash

Fig.7 に示すように NaOH 水溶液濃度が約 0～1.5M の範囲では NaOH 濃度と NH_4^+吸着量は比例した。但し、NaOH 濃度 1.5M 以上ではソーダライトが生成されるため NH_4^+吸着量は減少した。Figs.5 に示す実験結果、Fig.6 に示す反応機構の概念図並びに、Fig.7 に示すゼオライト合成の反応速度が NaOH 濃度に比例したことから本実験系におけるゼオライト合成の反応機構は、(1)式で示す未反応核モデル [7] の焼却灰表面における境膜内拡散律速で説明される。

$$Rp = -dMp/dt = 4\pi R^2 Kc C_A \cdots (1)$$

ここで、Rp:反応速度、Mp:焼却灰量、t:反応時間、R:粒子半径、Kc:境膜内物質移動係数、C_A:NaOH 水溶液濃度

5 結論

循環流動層ボイラーの石炭灰及び、ごみ焼却灰からゼオライトが合成可能であった。このゼオライト合成の反応機構は石炭灰及び、ごみ焼却灰表面の境膜内拡散律速である未反応核モデルで説明できた。

[謝辞]
本研究に当たって細孔径分布測定に御協力いただいた東京農工大学大学院生物システム応用科学研究科堀尾・神谷研究室に深く感謝いたします。

参考文献

(1)財団法人石炭エネルギーセンター http://www.jcoal.or.jp/index.html
(2)冨永博夫:ゼオライトの科学と応用，講談社，pp.77(1987)
(3)冨永博夫:ゼオライトの科学と応用，講談社，pp.78(1987)
(4)福田国博，吉田英人，坂口浩範，有田光洋:水熱法によるフライアッシュからのゼオライト合成とその反応機構に及ぼす原料粒径の影響，化学工学論文集，第25巻，第7号，pp.987-992(1999)
(5)逸見彰男:石炭灰の人工ゼオライト転換とリサイクル，NEW CERAMICS, No.7, pp.54-62(1997)
(6)陶山容子，片山恵一，目黒勝:石炭灰から合成したゼオライトのアンモニウムイオン吸着特性，日本化学会誌，No.2, pp.136-140(1996)
(7)橋本健治：反応工学，培風館，pp.224-229(1979)

（平成20年1月7日　受理）

英語プレゼンテーション能力の向上をめざして
―研究会活動報告（平成18年度）

英語プレゼンテーション研究チーム*

Improving Academic Presentation Skills for English Presentations

The English Presentation Research Group

The English Presentation Research Group (EPRG) was formed to improve the academic presentation skills of the students of Tokyo National College of Technology. In the school year of 2006, the EPRG organized four study meetings and a presentation contest, where many students and professors presented their research. This paper aims to examine the presentation skills of the students and clarify areas that require more attention and training.
(Keywords: academic presentation, English presentation)

1．はじめに

英語プレゼンテーション能力は、急速にグローバル化が進む社会で活躍できるエンジニアや研究者をめざす学生には必要不可欠なスキルとなっている。しかし、英語プレゼンテーション力を鍛える機会はそれほど多くはない。また、たとえそのような機会があったとしても英語の原稿さえ出来上がればそれでよしとする学生も少なくない。このような現状を改善することを目指し、平成18年度に学内重点配分経費を活用し英語プレゼン研究チームが結成され活動を開始した。

本活動は、英語によるプレゼンテーションと質疑応答の能力を体得させることをめざし、本科5年生と専攻科生を対象とした実践的指導法の確立を最終的な目標としている。具体的には、卒業研究や特別研究の指導をしている専門学科の指導教員と英語科教員が協力して英語プレゼンテーションの指導にあたり、効果的な指導方法を模索するものである。本稿では、平成18年度の活動を振り返りながら、本校学生の英語プレゼンテーション能力の現状を明らかにし、その課題について考察していきたい。なお、本稿はチームを代表して堀、小嶋、庄司、ゲイツの4人がまとめたものである。

2．活動の概要

平成18年度の活動は、報告書[1]のとおり研究会の開催と調査研究・情報収集のための派遣事業という2つの面から進められたが、本稿では研究会活動を中心に見ていきたい。

研究会では、合計4回のプレゼン研究会とプレゼン学生発表会（1回）を開催し、研究会では教員と学生がともに「ひとりの参加者」として同じ土俵で研究について発表し、質問やコメントをするという形式がとられた。また、発表をしない参加者もそれぞれの発表についての「良い点、改善点」の記録や質疑応答への参加が求められた。

学生の研究発表テーマは、「ITS（高度交通システム）と通信」、「管内振動流中の拡散」、「高耐圧ハーフブリッジドライバーIC解体調査」、「金属複合ターゲットを用いた反応性スパッタリング法によるAlドープZn0薄膜の形成」、「麦の銅蓄積に対するTerrestrial Biotic Ligand Model (TBLM)の適応」、「鉛筆の歴史」、「東京高専における環境マネジメントシステム」と多岐にわたった。また、英語プレゼン学生発表会では、「Na－NH3－グラファイト三元系化合物からの膨張黒鉛の調製」、「一般廃棄物焼却灰中の重金属の有害性評価」といった専門分野での発表に加えて「選択することが生きること」、「世界の人道危機と日本」のよう

＊チーム構成委員　阿久沢　昇、村井三千男、森下達哉、松井義弘、ジョン・ゲイツ、小嶋徹也、竹田恒美、相澤俊行、河村　豊、関根紳太郎、黒崎　茂、玉田耕治、伊藤　浩、木村知彦、青木宏之、大塚友彦、加藤　格、一戸隆久、松本章代、三谷知世、工藤節子、土屋賢一、庄司　良、堀　智子

な社会問題を取り上げて発表した学生もいた。

3．本校学生の英語プレゼンテーション力の現状

前述のように研究会や発表会で学生が行ったプレゼンテーションはその多くが専門分野に関する内容で、それを英語で行うことは決して容易ではなかったはずだが、どの学生も 20 分間という制限時間内に一所懸命英語で伝えるべく努力していた。では、次に彼らのプレゼンテーションについて聞き手から寄せられた感想とコメントを手がかりに詳細に検討してみたい。表１は、その感想・コメントを 1)内容・構成面、2)デリバリー（話し方）、3)英語の発音、4)視覚用メディアの利用、の４つの観点からまとめたものである。

1) 内容・構成面

内容・構成面では、指摘された改善点もあまりなく、全体としてテーマ設定も構成面も大きな問題点はなかったようである。ほとんどの学生が、聴衆への挨拶・自己紹介から始め、発表内容・テーマ、発表概要、研究内容、結論・まとめ、という順序でプレゼンテーションを進めており、聞き手にとってわかりやすい構成となっていた。より一層のレベルアップのために今後課題となるのは、発表対象の聴衆を意識したプレゼンテーションにすることであろう。研究発表の最大の目標は、研究で得られた知見を聴衆に理解してもらうことといえる。そのため、発表を聞く聴衆についての分析を行った上でプレゼンテーションを構成する必要がある。何よりも聴衆がどれほど発表内容についての基礎知識を共有しているかについては十分に考察し、基礎知識が共有されていない場合はとりわけ発表内容を聴衆に合わせて練り直すことが重要である。また、今回のように発表時間が 20 分前後と短い場合には主張する内容を複数用意せず、できれば１点に絞る方が聴衆の理解は得やすい[2]。聞く側の立場にたったプレゼンテーションという視点を取り入れられれば、学生たちのプレゼンテーションは一層向上すると考えられる。

2) デリバリー（話し方）

① アイコンタクト

デリバリー面で多くの学生が指摘されたのは、発表原稿を読むだけになり原稿から目を離して聴衆とアイコンタクトをほとんど取れない点であった。また、原稿を見ないで話している場合でも、視線は天井や床などに向けられ聴衆を見ないケースがあった。20 分間分の発表原稿をすべて完全に暗記するのは困難であるので、パワーポイントなど視覚提示に用いる資料にキーワードなど発表内容を思い出させるヒントになる語句をうまく書き込むなどの工夫をした上で、原稿から視線を離して発表できるようにすることが大切である。さらに、聴衆全員に話しかけるつもりで発表したり、聴衆の中で２・３人（例えば会場の左右と真ん中の座席にいる人たち）をターゲットと決め、これらの人を順番に見ながら発表したりする訓練が必要だと考えられる。

② 姿勢・態度

緊張から萎縮して見えることもなく堂々とした態度で発表できた学生が少なくなかった。プレゼンテーションでは硬くなりすぎず、かといってだらしなく見えないような立ち居振る舞いが要求されるが、個人によってさまざまな癖があるため、事前に他人にチェックしてもらったりビデオ等で自らの発表を撮影しチェックしたりするのが望ましい。

③ ジェスチャー

現段階ではプレゼンテーション中にジェスチャーまで入れることができた学生はほとんどいなかった。まずは、プレゼンテーションの最初から最後までほぼ同じ場所に立ったまま発表するのではなく、スクリーンを指し示したりする中で前後や左右に立つ位置を移動させてみることから始めたらよいと思われる。発表に慣れてきたら、重要なポイントを強調したいときなどに手を使ったジェスチャーを取り入れることも可能になるだろう。

3) 英語の発音

表１の感想・コメントを見るかぎり、多くの学生が大きな声で明瞭に英語を発音できていたことがわかる。かなり流暢に英語を話せる学生がいた一方で、多音節で成り立つ専門用語などの読み方で苦戦する学生もいた。また、単語内の強勢の位置を間違えて発音するために発表者が意図した単

語に聞きとれなかったりする場合も見られた。さらに、センテンスを発話する際に意味上の区切りを全く考慮せずに長いポーズをとってしまい、内容がわかりにくくなっていることもあった。よくある例は、読み慣れない単語がある場合にその単語の直前で長いポーズをとって読み方を考えるパターンである。本来後続の名詞と一体となるべきtheやaといった冠詞と名詞の間に長いポーズが入ったり、複数の単語が結びついて新たな意味を作りだす語句内で切れ目が入ったりすると、聴衆にとっては聞きにくい発表になる。見慣れない単語や読みにくい単語は事前に調べ正しい発音を確認すると同時に、センテンスレベルで考えた時にどこで切れ目を入れて発話するかを考えておく必要があるだろう。さらに、強調したい語句は単に強く発音するだけでなく、母音を長めに発音し、イントネーション（抑揚）をつけるとより効果的な発表となる。

4) 視覚用メディアの利用

どの学生も見栄えのするパワーポイントを準備して発表にのぞんでいたが、せっかくスクリーン上に図・表などを提示しておきながら、効果的にそれらを利用できていないケースが少なくなかった。スクリーン上のどこを説明しているのかが聞き手にすぐわかるように、ポインターや手で指し示したり、アニメーションを利用したりする工夫が必要である。

4．今後の展望

以上が本校学生の発表面の状況と課題だが、今後の課題としてさらに注意したいのが発表後の質疑応答である。ほとんどの学生は質問やコメントの内容を理解していたが、それらに対して英語で返答できず沈黙したまま立ち往生する場面が少なからずあった。こうした状況への対策としては、相手の話が理解できない時や返答を英語でできない場合に使えそうな表現を覚えておくのはもちろんのこと、事前に想定問答集や追加説明用の資料を作成することなどが考えられる。また、他人の発表を聞く時に常に質問をするつもりで聞く習慣をつけると、自分自身の発表についても客観的にみて質問を受けそうな部分の予測ができるようになる。

このような対策に加えて英語プレゼンテーションで重要な点は、日頃から英語力向上をめざして語彙や文法などを初めとし総合的に英語学習を続けることであるのは言うまでもない。とりわけ、英語の発音に関しては、「通じればよい」として軽視される風潮があるが、国際学会などのように多様な言語を母語とする話者が集まる場で「通じる英語」を話すためには無視できない点である。グローバルなレベルのコミュニケーションを成功させるためにも、日本語話者の英語の弱点をしっかり踏まえた訓練は欠かせない。こうした立場から本研究チームは今後も学生が英語でプレゼンテーションをしたり、第一線で活躍する研究者のプレゼンテーションを聞いたりする機会を少しでも多く提供し、学生の状況に応じた教育方法を追及していきたいと考えている。

参考文献

[1] 東京工業高等専門学校英語プレゼン研究チーム　2007.『活動報告書—英語によるプレゼンテーション能力向上のための実践的指導法開発』
[2] 末田清子、リチャード・エバノフ　2001. 英語スピーチ・トレーニングに関する報告『研究報告』28. 29-47.メディア教育開発センター

（平成20年1月7日　受理）

表 1　学生のプレゼンテーションに対する感想やコメント

発表者	内容		構成		発音		delivery		visual aid	
	良い点	改善点	良い点	改善点	良い点	改善点	良い点	改善点	良い点	改善点
A	・明確な説明	・内容理解もう少し		・発表の流れがわかりにくい	・大きい声 ・はっきりとした発音	・単語のアクセントの位置に注意 ・発音	・堂々としている ・質疑応答積極的 ・質問の意味を理解して答えることができていた	・長時間の silence ・質疑応答 ・下を向きすぎ		
B			・発表の構成が明確にされていた		・早く、はっきりと説明している ・はっきりとした発音		・観客の方を時々見て話ができた ・英語の聞き取りも応答もできていた ・質問に生き生きと答えていたので内容をよく理解していることが伝わってきた	・eye-contact をとるという感じではなかった ・原稿の読みすぎ	・指し示しながら説明できていた	・スライドのどこを説明しているのか、よくわからない（書いていないことを説明しすぎの感あり） →「しゃべることは書く」のがベストでは？
C					・「導入」部分では、発音がクリアでわかりやすかった ・発音が良い ・きれいな発音で聞きやすかった	・専門用語（とくに長い単語）の読み方を重点的に練習する必要あり ・ゆっくりで良いので、聞き手がついていけるスピードでメリハリをつけて話すと良い		・eye-contact をとる時、天井を見るくせがある ・質疑応答の時に答えられない場合の言い方も勉強する必要がある ・図を見ながら、観客の顔を見ながら話せると良い		・読むことが主となってしまったので、もう少し余裕を持ってスクリーンを指し示すことができると良い
D					・専門用語などの読み方がスムーズ ・明確な発音		・質疑への対応がよかった ・発表に慣れた感じでよかった ・eye-contact もとれていた	・eye-contact がほとんどなかった ・原稿を読まずにいけるとカッコ良いと思う	・図などの示し方がわかりやすかった ・アニメーションなどの工夫があり、スクリーンを上手に使っていた	
E	・適当なテーマで十分おもしろかった				・発音が良かった ・質疑応答もがんばった ・発音に気をつかっている	・発音に気をつかいすぎているような気がした		・原稿にかじりつかないように ・eye-contact がもっととれるとなお良い	・スライドがわかりやすく作られていた	
F	・テーマが適切	・もう少しメリハリがあると聞きやすかった			・質疑応答、英語で頑張った ・流れるように話している点	・もう少し落ち着いて話せればよくなる		・原稿にかじりつかないように ・eye-contact がもっととれるとなお良い	・スライドがわかりやすく作られていた ・structure なども示されていてよかった	・図をもっと利用できるようになればよい
G	・アフリカに対する想いが良く伝わってくる		・音楽を挿入した点もよい		・スムーズに英語を話した	・もう少し明瞭に発音できるとよい ・単語のアクセントの位置が違うところがある		・ポインターによりかかっているだけで指し示す際に使用していない ・視線が時々天井や床ににげる		
H					・pause を入れていて、わかりやすかった			・原稿を見ないでやればより良い		・話すポイントをもっとスライドに記載しておくとよい
I		・質疑応答						・原稿を見ないで皆の方を見ながら話しており、説得力ある		
J						・練習を重ねて発音をもっとクリアに	・堂々と発表できていてよかった		・パワーポイントを上手に使っている	

東京工業高等専門学校研究報告書

第 39 (2) 号

平成19年度

平成20年３月15日発行

編　集　者	東京工業高等専門学校図書委員会
発　行　者	東 京 工 業 高 等 専 門 学 校
	東京都八王子市椚田町1220の２
	TEL　八王子（042）668－5111
	〒193－0997
印　刷　所	電算印刷株式会社
	長野県松本市筑摩１－11－30
	TEL　松本（0263）25－4329
	〒390－0821

The name of the journal has been changed from “*Research Reports of Tokyo National Technical College*” into “*Research Reports of Tokyo National College of Technology*” since the 1984 issue.