

日本大学工学部紀要

第 52 卷 第 2 号

平成 23 年 3 月

日本大学工学部
工学研究所

目 次

工 学 編

歪縮小・復元法に関する基礎的研究

..... 倉田 光春・杉山 和隆 (1)

脆性材料からなるCT試験片への予き裂付与法の開発 (アクリルCT試験片の場合)

..... 松田 光央・佐藤 貴志・橋本 純 (9)

複数LMSの学習データを統合したポータルサイトの開発

..... 柿沼 上・渡邊 博之 (19)

Au/PMMA/Ta 構造の電流-電圧特性と電気伝導

..... 池田 正則・末永 勝也・清水 博文・鈴鹿 敢・吉沢 友和 (29)

表面光電圧法による多結晶シリコン薄膜の結晶性評価

..... 池田 正則・清水 博文・高松 弘行・迫田 尚和 (35)

総合教育編

近交系ラットの行動比較 - 能動的回避学習 -

..... 中津山英子・増井誠一郎・藤田 統 (41)

A Study of College Student Perceptions of a CALL Program in Japan

..... John Fiedeldy (49)

工 学 編

歪縮小・復元法に関する基礎的研究

倉田 光春*, 杉山 和隆**

A fundamental study on strain reduction and recovering methods

Mitsuharu Kurata and Kazutaka Sugiyama

Abstract

In this paper, strain reduction and recovering methods of degree-of-freedom in structural dynamic analysis is proposed. The equivalent single-of-degree-freedom (SDOF) system is obtained from a reduction process of the multi-degree-of-freedom (MDOF) system of a structure in which the nodal displacement, velocity and acceleration terms are transformed into their corresponding element strain fields. The reduction scheme was conducted on the fundamental dynamic governing equation of elasticity theory by considering vibration characteristic in each member element. As conclusion, this new method to reduce MDOF system of truss structures into strains field is introduced. At the end, an example is given to show the validity of the proposed method

Keywords : 1 質点系 多自由度系 動的解析 縮小法 復元法

1. 序

構造解析とは、構造物における応力や変形を解析することであり、その目的は、工学的に必要な精度で構造物の実際の挙動を表現することである。

実際の構造物の応力、変形挙動は、有限要素法やメッシュフリー法などによって求めるのが一般である。

有限要素法は、物体を有限の大きさの要素に分割して、物体を要素の集合体として解析する方法であり、一方、メッシュフリー法は、要素分割をせず、構造物の挙動を節点(NODE)で表現し、解析する手法である。しかし、前者は、応力変形が急変するところで、後者は、節点両側での歪、応力の値や勾配が不連続となり、精度が落ちるといった欠点があり、これらの近傍では、数多くの有限要素あるいはメッシュフリー法による節点をとる必要がある。また、構造物をモデル化するとき、そのモデルの自由度を出来る限り少なくし、かつ精度のよい応力変形挙動が得られるよう、省略化を図るのは当然であり、特に、都市全体の建物の地震挙動の解析やマイクロ・マクロ構造が混在するような問題の解析に道を拓くためには、膨大な自由度と解析時間を必

要とするため、個々の構造体の解析自由度を精度よく低減し、かつ復元する手法を開発することは大変重要である。

構造物の実挙動の特性を利用するとともに、解析の目的や要求される解析結果の精度を考慮することにより、その自由度をできるだけ縮小する方法の一つに動的縮小法¹⁾がある。動的縮小法は、未知変位の変位間の大小差を利用し、大きい変位を主変位、小さい変位を従変位として、主変位より小さいとする従変位を消去する方法である。この方法の特徴は、変位間の大小差が大きければ大きいほど精度がよく、未知数を大幅に低減できるところにあり、膨大なデータである多層構造物でも少時間で解くことを可能とするものである。従って、動的縮小法を効果的に用いるためには、未知数である主変位と従変位間の大小の差を1~2オーダー程度小さくする必要があり、この大小差がなければこの方法を用いることができない。

本論文は、未知数である変位のうち、主要な変位を主変位として残し、それ以外をオーダーの小さい変位差(歪)に置換して消去するトラス構造に対する新たな変位置置換法(以下歪置換法)を提案し、かつ、本論で扱う歪縮小・復元法の有効性を簡単な例題を通して検討したものである。

平成22年11月10日受理

* 日本大学工学部建築学科

** 日本大学大学院工学研究科建築学専攻

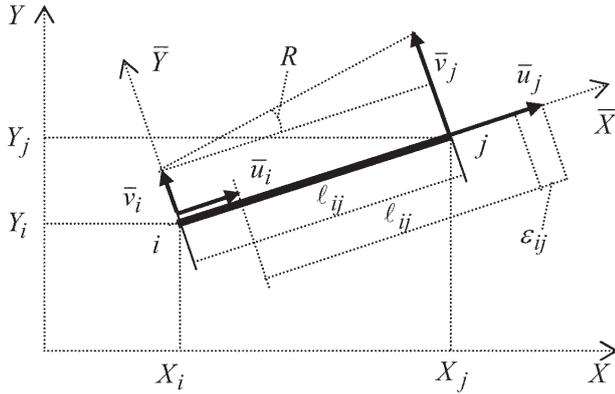


図1 全体座標 X, Y と部材座標 \bar{X}, \bar{Y} 対する材端変位 $\bar{u}_i, \bar{v}_i, \bar{u}_j, \bar{v}_j$ 部材伸び歪 ϵ_{ij} 及び部材回転角 R_{ij}

2. トラス部材の部材座標系材端変位 u_i, u_j, v_i, v_j と部材伸び歪 ϵ_{ij} 及び部材回転 R_{ij} との関係

図1を参照すると、トラス部材の部材座標系における材端変位 $\bar{u}_i, \bar{u}_j, \bar{v}_i, \bar{v}_j$ と部材伸び歪 ϵ_{ij} 及び部材回転 R_{ij} との関係式は、次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \bar{u}_j - \bar{u}_i &= \epsilon_{ij} l_{ij} \rightarrow \begin{Bmatrix} \bar{u}_j \\ \bar{v}_j \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} \bar{u}_i \\ \bar{v}_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \epsilon_{ij} l_{ij} \\ R_{ij} l_{ij} \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad \dots (1)$$

ここに、 $\bar{u}_i, \bar{u}_j, \bar{v}_i, \bar{v}_j$: 部材座標系材端変位

$\bar{u}_{ij}, \bar{v}_{ij}$: 材端節点変位差

ϵ_{ij} : ij 部材伸び歪

R_{ij} : ij 部材回転

$$l_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \quad l_{ij} : \text{部材長さ}$$

ここに、 X_i, X_j, Y_i, Y_j : 全体座標系材端節点座標値

また、部材座標系材端変位 $\bar{u}_i, \bar{u}_j, \bar{v}_i, \bar{v}_j$ と全体座標系材端変位 u_i, u_j, v_i, v_j との関係式は、

$$\begin{Bmatrix} \bar{u}_j \\ \bar{v}_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{ij} & s_{ij} \\ -s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} \bar{u}_i \\ \bar{v}_i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{ij} & s_{ij} \\ -s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} \quad \dots (2)$$

ここに、 u_i, u_j, v_i, v_j : 全体座標系材端変位

$$c_{ij} = \frac{X_j - X_i}{l_{ij}}, s_{ij} = \frac{Y_j - Y_i}{l_{ij}} \quad \text{但し, } i < j$$

与えられるから(1)式に(2)式を代入すると、次のように変位差変換式(以下歪置換式)が求められる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} c_{ij} & s_{ij} \\ -s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} c_{ij} & s_{ij} \\ -s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \end{Bmatrix} \\ \rightarrow \begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} c_{ij} & -s_{ij} \\ s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \end{Bmatrix} = [T]^T \begin{Bmatrix} \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad \dots (3)$$

ここに、

$$[T] = \begin{bmatrix} c_{ij} & s_{ij} \\ -s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix}, [T]^{-1} = [T]^T = \begin{bmatrix} c_{ij} & -s_{ij} \\ s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix}, [T]^T [T] = [I]$$

$[T]$: 座標変換マトリックス, $[I]$: 単位マトリックス
従って、上式より、トラス部材の両端を i, j 節点とする
と $j \rightarrow i, i \rightarrow j$ の歪置換は、次式のように示される。また、
3節点の場合 $k \rightarrow j \rightarrow i, j \rightarrow k \rightarrow i$ における歪置換式、残
すべき変位がある場合についての歪置換式も同様に示す。

(1) $i < j$ のときの $j \rightarrow i$ 変換

$$\begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{ij} & -s_{ij} \\ s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & c_{ij} & -s_{ij} \\ 0 & 1 & s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \end{Bmatrix} \quad \dots (4)$$

(2) $i < j$ のときの $i \rightarrow j$ 変換

$$\begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} c_{ij} & -s_{ij} \\ s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -c_{ij} & s_{ij} \\ 0 & 1 & -s_{ij} & -c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \\ \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \end{Bmatrix} \quad \dots (5)$$

(3) $i < j < k$ のときの $k \rightarrow j \rightarrow i$ 変換

$$\begin{Bmatrix} u_k \\ v_k \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{jk} & -s_{jk} \\ s_{jk} & c_{jk} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{jk} \\ \bar{v}_{jk} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{ij} & -s_{ij} \\ s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{jk} & -s_{jk} \\ s_{jk} & c_{jk} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{jk} \\ \bar{v}_{jk} \end{Bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} 1 & 0 & c_{ij} & -s_{ij} & c_{jk} & -s_{jk} \\ 0 & 1 & s_{ij} & c_{ij} & s_{jk} & c_{jk} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \\ \bar{u}_{jk} \\ \bar{v}_{jk} \end{Bmatrix} \quad \dots (6)$$

(4) $i < j < k$ のときの $j \rightarrow k \rightarrow i$ 変換

$$\begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_k \\ v_k \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} c_{jk} & -s_{jk} \\ s_{jk} & c_{jk} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{jk} \\ \bar{v}_{jk} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{ik} & -s_{ik} \\ s_{ik} & c_{ik} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{ik} \\ \bar{v}_{ik} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} c_{jk} & -s_{jk} \\ s_{jk} & c_{jk} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{jk} \\ \bar{v}_{jk} \end{Bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -c_{jk} & s_{jk} & c_{ik} & -s_{ik} \\ 0 & 1 & -s_{jk} & -c_{jk} & s_{ik} & c_{ik} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \bar{u}_{ik} \\ \bar{v}_{ik} \\ \bar{u}_{jk} \\ \bar{v}_{jk} \end{Bmatrix} \quad \dots (7)$$

更に、残すべき変位が v_i, v_j のとき、 \bar{v}_{ij} (部材回転) を消去すると、

$$\begin{Bmatrix} u_j \\ v_j \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{ij} & -s_{ij} \\ s_{ij} & c_{ij} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_{ij} \\ \bar{v}_{ij} \end{Bmatrix} \quad \text{より}$$

$$\bar{v}_{ij} = \frac{1}{c_{ij}} (v_j - v_i) - t_{ij} \bar{u}_{ij} \quad \text{ここに, } t_{ij} = \frac{s_{ij}}{c_{ij}}$$

従って、

$$u_j - u_i = c_{ij} \bar{u}_{ij} - t_{ij} (v_j - v_i) + s_{ij} t_{ij} \bar{u}_{ij} = t_{ij} v_i - t_{ij} v_j + \frac{1}{c_{ij}} \bar{u}_{ij} \quad \dots (8)$$

(5) $i < j$ で残すべき変位が v_j のとき $j \rightarrow i$ の変換

$$u_j = u_i + t_{ij}v_i + \frac{1}{c_{ij}}\bar{u}_{ij} - t_{ij}v_j = \left\{ \begin{matrix} 1 & t_{ij} & 1/c_{ij} & -t_{ij} \end{matrix} \right\} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \bar{u}_{ij} \\ v_j \end{Bmatrix} \quad \dots (9)$$

(6) $i < j$ で残すべき変位が v_i のとき $i \rightarrow j$ の変換

$$u_i = u_j - t_{ij}v_i - \frac{1}{c_{ij}}\bar{u}_{ij} + t_{ij}v_j = \left\{ -1/c_{ij} \quad -t_{ij} \quad 1 \quad t_{ij} \right\} \begin{Bmatrix} v_i \\ u_j \\ \bar{u}_{ij} \\ v_j \end{Bmatrix} \quad \dots (10)$$

(7) $i < j < k$ で残すべき変位が v_j, v_k のとき $k \rightarrow j \rightarrow i$ の変換

$$\begin{aligned} u_k &= u_j + t_{jk}v_j + \frac{1}{c_{jk}}\bar{u}_{jk} - t_{jk}v_k \\ &= u_i + t_{ij}v_i + \frac{1}{c_{ij}}\bar{u}_{ij} - t_{ij}v_j + \left(t_{jk}v_j + \frac{1}{c_{jk}}\bar{u}_{jk} - t_{jk}v_k \right) \\ &= u_i + t_{ij}v_i + \frac{1}{c_{ij}}\bar{u}_{ij} + (-t_{ij} + t_{jk})v_j + \frac{1}{c_{jk}}\bar{u}_{jk} - t_{jk}v_k \end{aligned}$$

$$u_k = \left\{ \begin{matrix} 1 & t_{ij} & 1/c_{ij} & -t_{ij} + t_{jk} & 1/c_{jk} & -t_{jk} \end{matrix} \right\} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \bar{u}_{ij} \\ v_j \\ \bar{u}_{jk} \\ v_k \end{Bmatrix} \quad \dots (11)$$

(8) $i < j < k$ で残すべき変位が v_j, v_k のとき $j \rightarrow k \rightarrow i$ の変換

$$\begin{aligned} u_j &= u_k - t_{jk}v_j - \frac{1}{c_{jk}}\bar{u}_{jk} + t_{jk}v_k \\ &= \left(u_i + t_{ik}v_i + \frac{1}{c_{ik}}\bar{u}_{ik} - t_{ik}v_k \right) + \left(-t_{jk}v_j - \frac{1}{c_{jk}}\bar{u}_{jk} + t_{jk}v_k \right) \\ &= \left\{ \begin{matrix} 1 & t_{ik} & 1/c_{ik} & -t_{ik} + t_{jk} & -1/c_{jk} & t_{jk} \end{matrix} \right\} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \bar{u}_{ik} \\ v_j \\ \bar{u}_{jk} \\ v_k \end{Bmatrix} \quad \dots (12) \end{aligned}$$

3. 解析モデル及び解析手法について

本歪置換法を解析モデルについての計算を行う。図2に解析モデルを示す。解析モデルについては、簡易的な平面トラス構造をモデルとしている。なお、図2に示すように、1, 4 節点は支持節点(支点)、節点1はピン支点、節点4はローラー支点である。

解析に用いるための部材データ及び各パラメータ⁸⁾を図3、表1に示し、トラス部材として一般構造用炭素鋼管

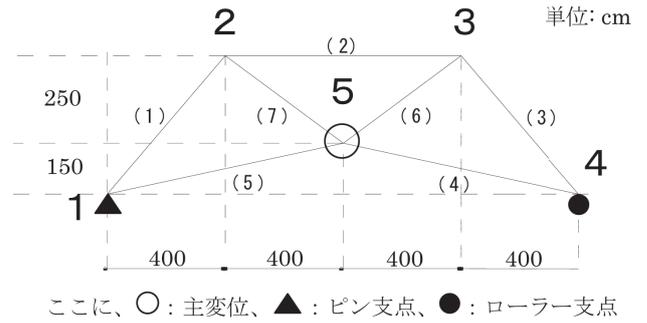
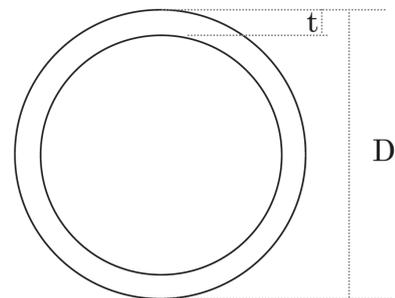


図2 解析モデル



$t = 10.3\text{mm}, D = 318.5\text{mm}$

ここに、 t :厚さ、 D :外径

図3 解析モデルに使用する部材

表1 各パラメータ

記号	値
A	99.73cm ²
I	11900cm ⁴
ρ	76.92238N
E	2.05 × 10 ⁷ N/cm ²

ここに、 A : 断面積、 I : 断面2次モーメント

ρ : 質量密度、 E : ヤング係数

JIS G 3444 STK を用いる。

解析するにあたり、図2に示している5節点の鉛直方向変位成分を主変位²⁾、その他の変位成分を従変位とし、従変位に対して歪置換を行う。手順として、上弦材の節点変位、主変位を除く下弦材の節点変位を1節点の節点変位に歪置換を行う。

以下に、解析モデルにおける歪置換式の計算例を示す。

$$2 \rightarrow 1 \text{ 変換 : } \begin{Bmatrix} u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & c_{12} & -s_{12} \\ 0 & 1 & s_{12} & c_{12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \bar{u}_{12} \\ \bar{v}_{12} \end{Bmatrix} \quad \dots (13)$$

3 → 2 → 1 変換 :

$$\begin{Bmatrix} u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & c_{12} & -s_{12} & c_{23} & -s_{23} \\ 0 & 1 & s_{12} & c_{12} & s_{23} & c_{23} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \bar{u}_{12} \\ \bar{v}_{12} \\ \bar{u}_{23} \\ \bar{v}_{23} \end{Bmatrix} \quad \dots (14)$$

v_4, v_5 を残すべき変位とする 4 → 5 → 1 の変換

$$u_4 = \begin{bmatrix} 1 & t_{15} & -1/c_{45} & -t_{45} & 1/c_{45} & (-t_{15} + t_{45}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \bar{u}_{45} \\ v_4 \\ \bar{u}_{15} \\ v_5 \end{Bmatrix} \quad \dots (15)$$

v_5, v_1 を残すべき変位とする 5 → 1 変換

$$u_5 = \begin{bmatrix} 1 & t_{15} & 1/c_{15} & -t_{15} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \bar{u}_{15} \\ v_5 \end{Bmatrix} \quad \dots (16)$$

以上より、歪置換マトリックスが次式のように求められる。

$$\begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \\ u_5 \\ v_5 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & c_{12} & -s_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & s_{12} & c_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & c_{12} & -s_{12} & c_{23} & -s_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & s_{12} & c_{12} & s_{23} & c_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & t_{15} & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/c_{45} & -t_{45} & 1/c_{15} & -t_{15} + t_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & t_{15} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/c_{15} & -t_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \bar{u}_{12} \\ \bar{v}_{12} \\ \bar{u}_{23} \\ \bar{v}_{23} \\ \bar{u}_{45} \\ v_4 \\ \bar{u}_{15} \\ v_5 \end{Bmatrix}$$

ここで、歪置換式によって従変位がどのように歪置換されているか、その大小の検討を行う。節点数が多いため、ここでは上弦材、下弦材の節点を1つずつ水平、鉛直変位における歪置換前後における質量マトリックスの値での比較検討を行う。この歪置換における比較検討を表2, 3に示す。表2, 3より、歪置換により、歪置換前後において質量マトリックスの値が歪レベルの大きさまで置換されて

いることがわかる。

また、表3の赤二重線は、残すべき項(主変位)の大きさであり、歪レベルまで縮小されていないこともわかる。

従って、主変位の項より、従変位の項が十分に小さいため動的縮小法¹¹⁾を用いて消去することが可能となる。

4. 変位応答解析による比較検討

変位応答解析³⁾において、一般的な線形加速度法¹⁾を用いて行う。固有値解析結果が99.11秒であるため、解析時間間隔 Δt を10万分の1とし、入力地震動のデータを線形補間して解析に用いる。なお、今回のモデルは、長周期を採用している。また、解析時間間隔については、一般に1次固有周期の1/6⁹⁾を目安に上記の刻みをとれば安定である。従って、解析時間間隔 Δt は、それ以下になるように刻みを設定している。

内部粘性減衰は、1次固有振動数に対して減衰定数を5%とする。また、入力地震動においては、1995年兵庫県南部地震におけるUD成分(最大332.2gal)とする。

以上の条件を基に、図2の解析モデルの主変位(5節点鉛直方向変位)の時刻歴応答に関して比較検討を行う。図4に時刻歴変位応答解析、図5に最大応答値を含む時刻歴応答変位の3.0~5.0秒間を示す。主変位における縮小解及び縮小していない解(構造物の解)における比較検討を行い、表4に結果を示す。なお、比較検討は、解析結果のデータが膨大なため最大応答時において行った。解析結果より、振幅及び位相ともほぼ一致し、相対変位の最大誤差率は5%以内であった。

5. 復元解による比較検討

変位時刻歴応答解析より得られた解を用いて、部材における軸力の時刻歴応答を求める。解析方法として、主変位における解析結果を従変位まで拡張して復元解を求めた。時刻歴応力度応答に関しては、縮小しないで求めた解(構造物の応力度)と復元解(復元応力度)を比較し検討を行う。なお、比較検討は、上弦材、下弦材、斜材について1部材ずつ行う。時刻歴応力度応答の上弦材、下弦材、斜材についての解析結果を図6, 7, 8に示す。解析結果は、最大応力時を含む3.0~5.0秒間を示し、表5に最大応力度の検討を示す。

解析結果より、時刻歴応力度応答の振幅、位相ともほぼ一致し、表5のように誤差率が5%以内であった。

表2 歪置換の比較検討(上弦材の2節点)

節点番号	歪置換前		歪置換後		比率	
	u成分	v成分	u成分	v成分	u成分	v成分
質量マトリックス	120330.2505	25.7340	3.0083	-0.0006	0.000025	-0.000025
	25.7340	121143.8180	-0.0006	3.0286	-0.000025	0.000025

単位(N)

表3 歪置換の比較検討(下弦材の4節点)

節点番号	歪置換前		歪置換後		比率	
	4節点		4節点			
成分	u成分	v成分	u成分	v成分	u成分	v成分
質量マトリックス	1.92E+05	3.59E+06	9.03E+04	4.13E+02	0.470120	0.000115
	3.59E+06	9.40E+04	4.13E+02	9.07E+04	0.000115	0.964601

ここに、E : 10 の指数表記 単位(N)
 但し、赤二重線は、残すべき項(主変位)

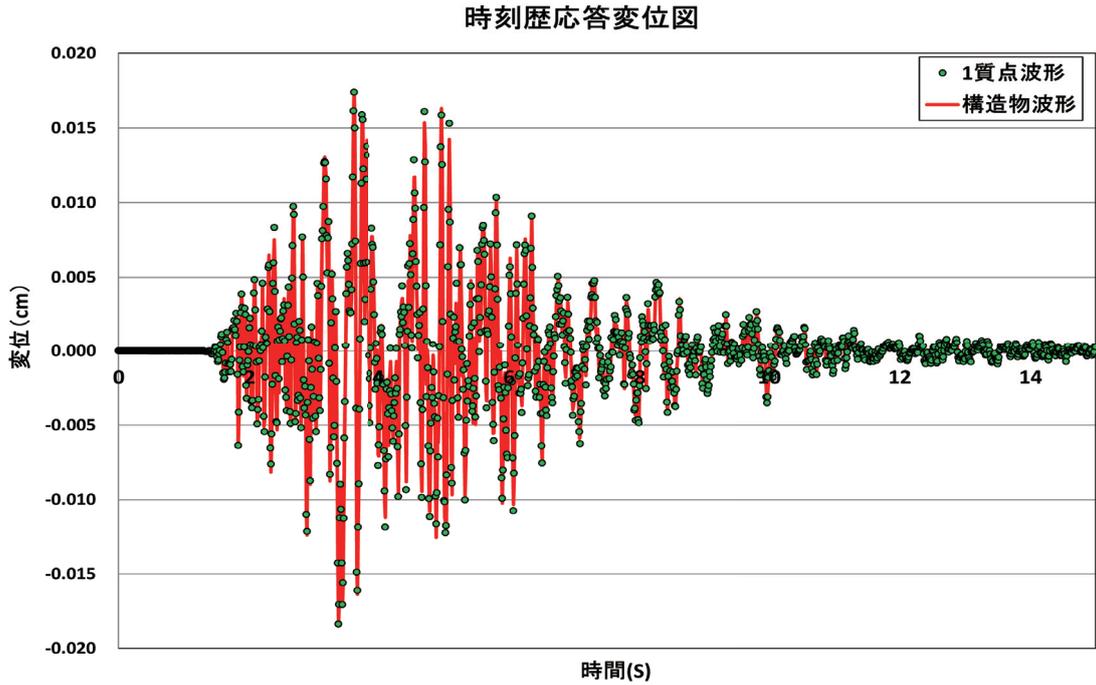


図4 時刻歴変位応答による比較(全解析時間)

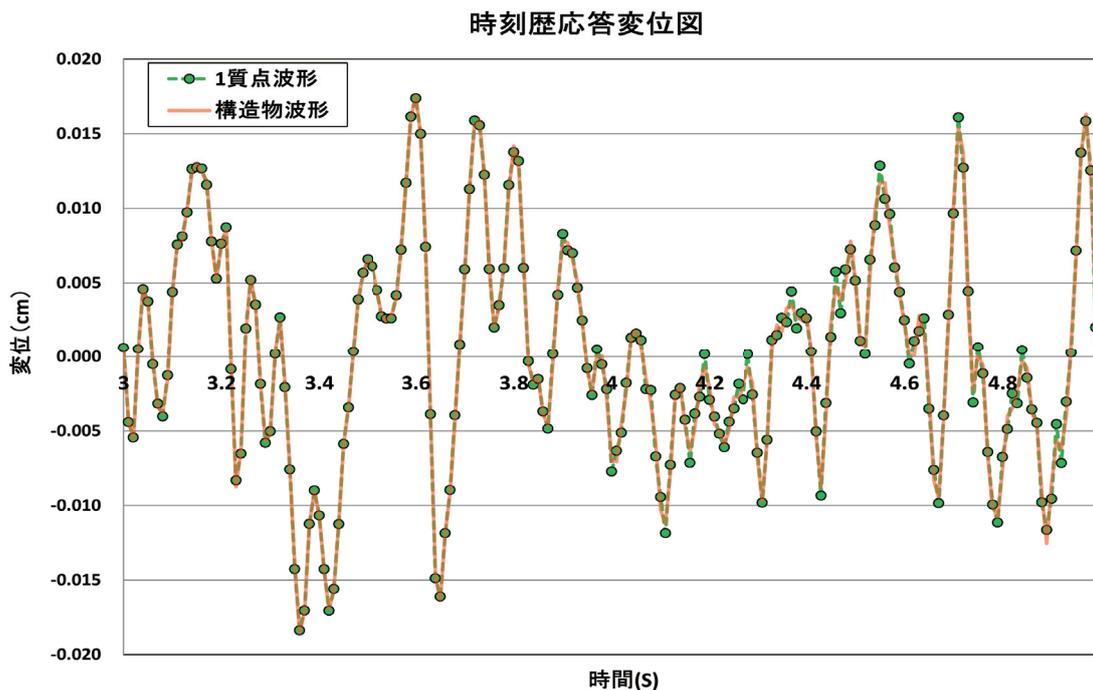


図5 時刻歴変位応答による比較(3.0~5.0秒間)

表4 時刻歴変位応答による比較検討

応答	縮小解	構造物の解	誤差率
相対変位	1.74E-02	1.75E-02	0.81%
	-1.84E-02	-1.85E-02	0.79%

単位(cm)

ここに、E : 10 の指数表記
 なお、構造物の解(縮小していない解)

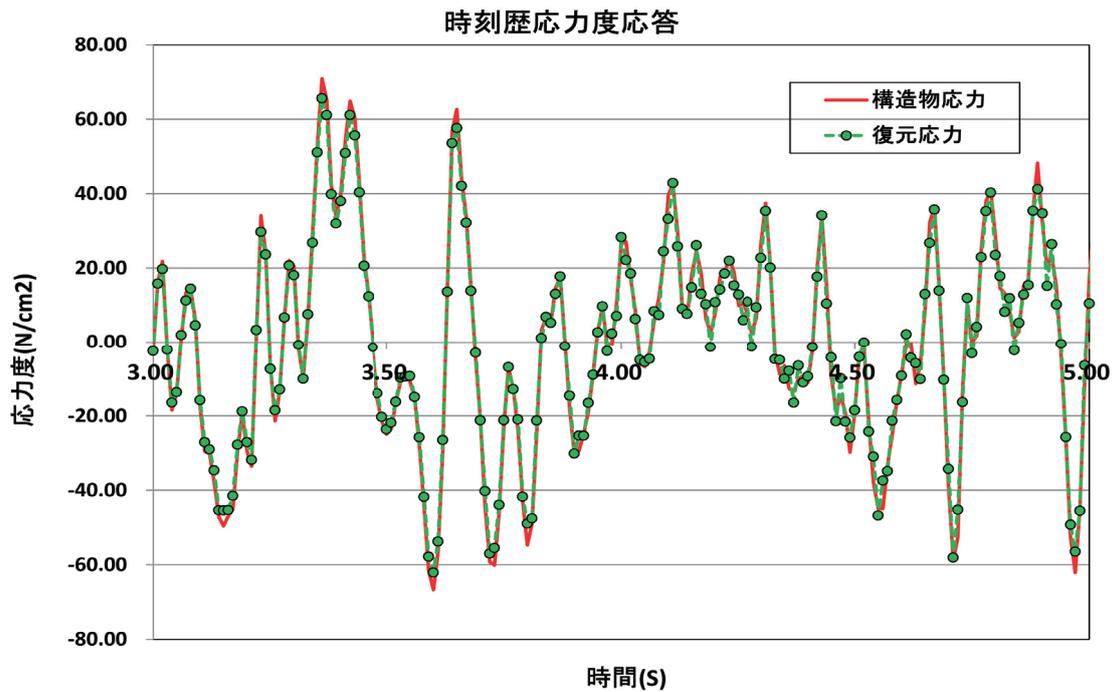


図6 時刻歴応力度応答による比較(上弦材:(1)部材)

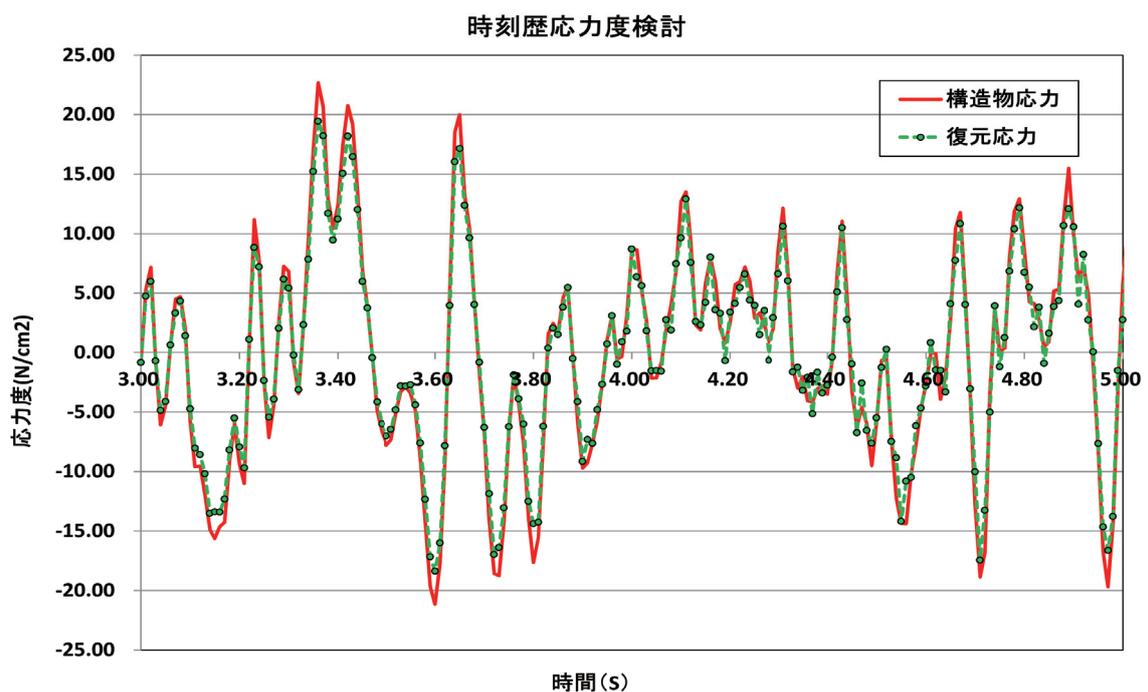


図7 時刻歴応力度応答による比較(下弦材:(4)部材)

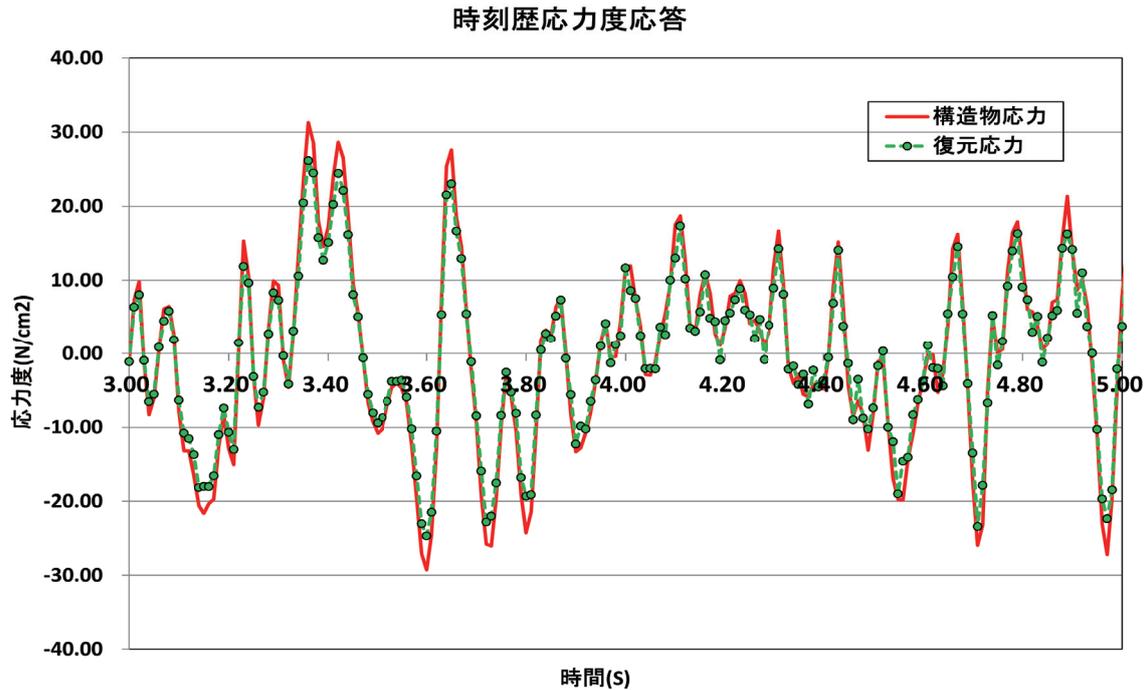


図8 時刻歴応力度応答による比較(斜材:(7)部材)

表5 最大応力度(正負)時の比較検討

部材名	復元応力度	構造物応力度	誤差率
上弦材	6.56E+01	7.09E+01	3.32%
	-6.21E+01	-6.67E+01	1.98%
下弦材	1.94E+01	2.27E+01	4.04%
	-1.84E+01	-2.12E+01	3.49%
斜材	2.61E+01	3.13E+01	2.06%
	-2.47E+01	-2.93E+01	1.83%

ここに、E : 10 の指数表記

単位(N/cm²)

6. 考察

時刻歴変位応答、時刻歴応力度の結果より、最大誤差率は、0.81%、4.04%であった。最大応力誤差率は、節点における(構造物応力度-復元解)/最大応力度である。工学的許容誤差率を5%と考えると、本論文による歪縮小及び復元法は充分有効であるといえる。また、復元応力度の誤差については、応力を復元するときに主変位から従変位に拡張して求めている。この際に、尖点が少し欠けているのは、加速度項の値が影響しているためだと考えられる。しかし、上記で示したとおり誤差率が5%以内なので充分有効の範囲内であるといえる。

7. 結

本論文では、トラス構造に関する歪縮小・復元法の提案とその有効性について示した。なお、本手法は、直接的には、ピン支点を含む骨組構造の縮小法の開発をも示唆するものであるが、本歪縮小・復元法の考え方は、どのような構造物に対しても適用できる手法であると考えられる。

参考文献

- 1) 柴田明徳：最新耐震構造解析，森北出版，2003年
- 2) 大崎順彦：建築振動理論，彰国社，1996年
- 3) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，コロナ者，1961年
- 4) Ray W.Clough, Joseph Penzien, 訳大崎順彦，渡部丹，片山恒雄：構造物の動的解析，科学技術出版会社 1978年
- 5) Mario Paz, William Leigh：Structural dynamics : theory and computation - 5th ed. - Boston : Kluwer Academic Publishers , c2004.
- 6) 精木紀男ほか：建築と土木技術者のための地震工学・振動学入門
- 7) 金井清ほか：地震・振動学 建築学大系 改訂増補，建築学大系編集委員会
- 8) 建築物荷重指針・同解説，日本建築学会編集，東京丸善 2004年
- 9) 戸川隼人：有限要素法による振動解析，株式会社サイエンス社，1981年

- 10) 北村春幸：性能設計のための建築振動解析入門，彰国社，2002年
- 11) 倉田光春：マトリックス構造解析に関する一考察－マトリックスの縮小法－，日本大学工学部学術報告会講演要旨集第35回 pp.55-158, 1992
- 12) 杉山和隆，倉田光春，Buntara S.GAN：1自由度系への縮小・復元法に関する基礎的研究，日本大学工学部学術報告会講演要旨集，第50回，pp.57-60, 2007
- 13) Sugiyama K, Kurata M, Gan BS, and Nouchi E (2008), Reduction and recovering methods of degree-of-freedom in structural dynamic analysis. Proceedings Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC-11), Taipei, Structural Dynamics, No.14.
- 14) Sugiyama K, Kurata M, Gan BS, and Nouchi E (2009). Reduction and recovering method of frame structures into a single degree of freedom system. Proceedings ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPDYN 2009), Rhodes, Greece.
- 15) J. Guyan, Reduction of stiffness and mass matrices. *American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal*, Vol. 3, No.2, pp.380, 1965
- 16) J. C. O'Callahan, A procedure for an improved reduced system (IRS) model. *Proceedings of the 7th International Modal Analysis Conference, Las Vegas*, January 1989, pp.17-21, 1989
- 17) J. C. O'Callahan, P. Avitabile and R. Riemer, System equivalent reduction expansion process (SEREP). *Proceedings of the 7th International Modal Analysis Conference, Las Vegas*, January 1989, pp.29-37, 1989

脆性材料からなるCT試験片への予き裂付与法の開発 (アクリルCT試験片の場合)

松田 光央*, 佐藤 貴志*, 橋本 純**

Development of method for introducing precrack into CT specimens of brittle materials (In the case of Acrylic CT specimen)

Mitsuo MATSUDA, Takashi SATO and Atsushi HASHIMOTO

Abstract

The previous paper proposed a method for introducing a precrack by utilizing both the tension and compression of frictional forces occurring at the surface of a glass CT specimen under local compression. In the proposed method, the material that could control the length of the precrack was only glass CT specimen.

This paper represents the method that has developed from the previous method described above by directly utilizing tensile load that occurs using a test machine. Namely, the tensile load produced by the test machine and the compressive force of the friction produced by the compressive load applied to the loading blocks were used in order to introduce the precrack into the CT specimen. The brittle material used in the experiments was acrylic, because the tensile strength of the material is higher than glass, and also the processing is extremely easy compared with ceramics. The method proposed in this paper could introduce the precrack into the acrylic CT specimens. The characteristics of the presented method for introducing a precrack are that the precrack is almost straight and that the precrack length is controllable.

An analytical explanation of compressive load which must be applied to the loading blocks was attempted by proposing a coefficient of friction which had a constant relationship between the frictional force and the strain on the surface of the plate. The analytical explanation is supported by the results of our experiments.

Keywords : Fracture toughness, Brittle materials, Acrylic, CT specimen, Precrack

1. 緒言

工業材料の破壊靱性値を求めるための試験片として代表的なものは、コンパクト引張標準試験片(Standard compact tension specimen), いわゆるCT試験片である。金属材料では、自然割れである初期き裂, すなわち巨視的な予き裂を疲労試験により容易に付与することが可能である。しかしセラミックスのような脆性材料は、極めて脆いために予き裂が付与されると、直ちに進展して試験片を2分するので、予き裂を付与することは困難⁽¹⁾とされている。近年、曲げ試験片⁽²⁾に予き裂を付与できるSEP法

(Single edge precracked beam method)⁽³⁾が開発されたが、今もなお、セラミックスのような脆性材料からなるCT試験片に、予き裂を付与できる方法は見当たらない。

一方、著者の1人はガラスCT試験片に、希望する長さの予き裂を付与するための技術開発に着手し、すでに摩擦による予き裂付与法を発展させて、摩擦による予き裂長さコントロール法を開発^{(4)~(6)}した。しかし、この方法では次章で述べるように、ガラスのような引張強さの値が小さい脆性材料に使用できるに留まっている。その原因は、予き裂を発生させるための引張力が、摩擦の利用では限界があるためである。

アルミナ、炭化珪素などのように、ガラスよりも引張強さの値が高いセラミックスにおいても予き裂の付与が可能になることを目的として、引き続き予き裂付与法の開発を試みた。その結果、前報⁽⁵⁾⁽⁶⁾で提示した摩擦による予き裂

平成22年11月6日受理

* 日本大学大学院工学研究科機械工学専攻

** 日本大学工学部機械工学科

長さコントロール法の荷重負荷手法を変更した改良型のコントロール法を見出した。セラミックスは、加工しにくい材料である。このため本報では、高分子材料であるアクリルを実験材料として選び、その改良型の手法により試みた実験とその解析について述べる。なお、実験材料としてアクリルを用いたのは、本文で述べるように引張りにおいて、セラミックスと同様に脆性破壊するだけでなく、引張強さの値はガラスよりも高く、透明体のため付与した予き裂を確認することができ、さらにセラミックスと比較して、加工が極めて容易なためである。

2. 摩擦を利用した予き裂付与法とコントロール法

ここでは前報⁽⁵⁾⁽⁶⁾で提示したガラスCT試験片に、予き裂を付与することができる摩擦による予き裂付与法と、希望する長さの予き裂を付与することができる予き裂長さコントロール法について述べ、さらにアクリルCT試験片に予き裂を付与できる改良型の予き裂長さコントロール法について分けて述べる。

2.1 摩擦による予き裂付与法⁽⁵⁾

図1においてTは予き裂を付与するための薄板のガラスCT試験片で、そのヤング率 E_T は $E_T=69\text{GPa}$ である。図ではその厚さを説明のために誇張して描いているが、実際の厚さは、3mm以下の比較的薄いものである。Aは高分子材料からなるアクリル製の加圧板で、ヤング率 E_A はガラスよりもかなり小さい $E_A=3.5\text{GPa}$ である。Tには予め希望する予き裂を指定するために、ガラス切りで切欠きを所定の場所に設けておき、その部分をAが覆うように図のように配置する。この状態でAに圧縮荷重 P_1 を負荷すると、Aは軸方向に縮むと同時に外方へ広がろうとする。しかしTとAは圧縮荷重 P_1 を受けて固着状態にある。またTとAのヤング率の関係は $E_T > E_A$ ($E_T/E_A=20$)となっていることから、TはAと比較してほとんど変形しない。このため圧縮荷重 P_1 を負荷すると、Aと接しているTの表面には、ヤング率の違いにより引張りの摩擦力が発生し、

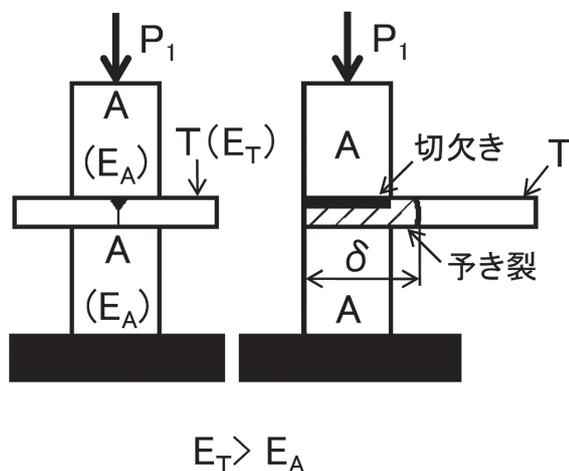


図1 摩擦による予き裂付与法

さらにTの切欠き部には引張りの集中応力が誘起する。

いま圧縮荷重 P_1 がある値に達すると、引張破壊による予き裂が、切欠き部より厚さ方向ならびに切欠き線外方向にも進展して、図のハッチングのように、容易に予き裂長さ δ を得ることができる。これがここでいう摩擦による予き裂付与法であるが、この場合、ガラスの肉厚が厚くなると、発生した予き裂はガラスCT試験片を2分するまでに進展する。このため摩擦による予き裂付与法は比較的薄肉のガラスに限られる。

2.2 予き裂長さコントロール法⁽⁵⁾

予き裂の進展は、アクリルの加圧板Aで誘起する引張力によって、予き裂先端が開くために起こる。逆に予き裂先端部にその開口を阻止するような圧縮力を誘起させることができれば、予き裂の進展を停止させることができるはずである。

図2に予き裂長さコントロール法を示す。予き裂を発生させるための手法は、図1の摩擦による予き裂付与法と同じであるが、異なる点は予き裂長さ δ をコントロールするために、希望する長さの予き裂先端部に、圧縮の摩擦力を誘起させる工夫をしたことである。すなわち圧縮の摩擦力を誘起させるために、厚板ガラスCT試験片であるTのヤング率 E_T よりも高いヤング率 E_S をもつ鋼製の加圧板S ($E_S=205\text{GPa}$, $E_T=69\text{GPa}$)を予き裂先端近傍に配置する。このようにすれば、 $E_S > E_T$ ($E_S/E_T=3$)の状態となることから、加圧板Aにより発生した予き裂先端は、加圧板Sにより誘起した圧縮力の効果で、予き裂先端が開くことができず、予き裂の進展を停止させることができる。したがって切欠きを設けた厚板ガラスCT試験片に、予め鋼製の加圧板Sに圧縮荷重 P_0 を負荷し、次に加圧板Sから間隔 λ だけ離れたアクリルの加圧板Aに圧縮荷重 P_1 を負荷する。この状態で圧縮荷重 P_1 がある値に達すると、前述した図1の予き裂付与法と同様に、図2で示す切欠き部から予き裂が発生して進展するが、圧縮力が誘起している加

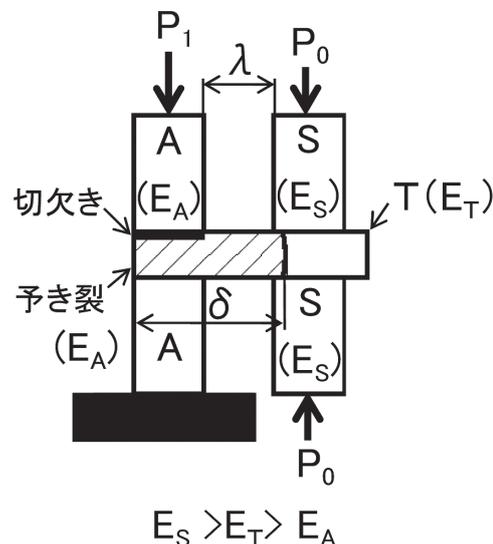


図2 予き裂長さコントロール法



48×50×5.8mm
W=40mm, $\delta=23$ mm
a=13mm, a/W=0.33

写真1 予き裂を付与した厚さ6mmのガラスCT試験片

圧板S付近では、予き裂先端は開口できず停止する。したがって予き裂長さ δ は、間隔 λ を変化させることにより、厚板ガラスCT試験片に希望する長さの予き裂を付与することができる。

写真1に予き裂を付与した厚板ガラスCT試験片を示す。寸法は後述するASTM-E399規格⁷⁾にできるだけ従うようにし、試験片幅W=40mm、厚さB=5.8mmのCT試験片に、切欠き長さ19mmをガラス切りにより設け、予き裂をCT試験片中央の位置に付与する実験を実施した。実験結果は写真に示すように、希望した予き裂長さ $\delta=23$ mm (a/W=0.33)を厚板ガラスCT試験片に付与することができた。当然のことながらこの厚板ガラスCT試験片に、鋼製の加圧板Sを使用しないで実施した場合には、予き裂が発生すると直ちに進展して、CT試験片を2分することは言うまでもない。

一方、図2に示した予き裂長さコントロール法では、予き裂を発生させる際の加圧板Aに負荷する圧縮荷重 P_1 には、その材質であるアクリルの圧縮強さから見て、限界があることを知る。すなわちアクリルの圧縮による耐力 σ_c は $\sigma_c=50$ MPa⁸⁾であり、加圧板Sと接する面積は、幅 $b=12$ mm、長さ $c=20$ mmと比較的小さいことから、この予き裂長さコントロール法で、写真1に示した寸法の試験片に予き裂を付与できる材質は、今のところガラスの破壊靱性値 K_{Ic} と同程度または、それ以下の脆性材料に限られる。

予き裂を発生させる手法は種々考えられる。中でも容易な手法は、CT試験片を引張試験機で直接に引っ張ることである。上述のように圧縮荷重 P_0 を予め加圧板Sに負荷しておき、次いで引張試験機によりCT試験片を直接引っ張ることで、種々の脆性材料からなるCT試験片に、希望する長さの予き裂を付与することができると思われる。次節にアクリルCT試験片に、予き裂を付与する改良型の予き裂長さコントロール法について述べる。

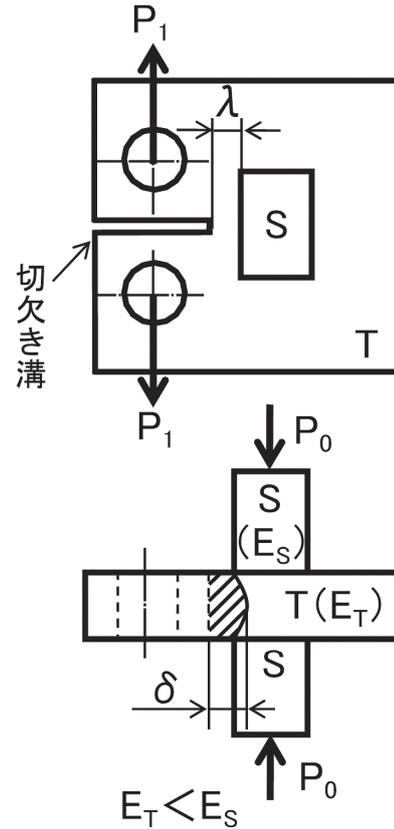


図3 改良型予き裂長さコントロール法

2.3 改良型予き裂長さコントロール法

図3において、Tは予き裂を付与するためのアクリルCT試験片(ヤング率 $E_T=3.4$ GPa)であり、Sは鋼製の加圧板(ヤング率 $E_S=206$ GPa)である。したがってTとSのヤング率の関係は $E_T < E_S$ ($E_S/E_T=61$)となる。いまTに希望する予き裂長さ δ を得ようとする予き裂先端部、すなわち切欠き溝先端から間隔 λ の位置に、2個の加圧板SをCT試験片の両面に図のように配置する。次にSに圧縮荷重 P_0 を負荷すると、前述の図2で示す予き裂長さコントロール法と同様に、加圧板S部と接しているTの接触面には、圧縮の摩擦力が誘起する。この状態で引張試験機により引張荷重 P_1 をCT試験片Tに直接に負荷すると、ある値 $P_1=P_F$ で切欠き溝先端から予き裂が発生し進展する。しかし、図2の予き裂長さコントロール法と同様に、発生した予き裂は間隔 λ まで進展するが、Sと接しているTの表面には、摩擦により誘起した圧縮力の効果で、予き裂先端は開口できずに停止する。したがって希望する予き裂長さ δ は、間隔 λ を変化させることで容易にコントロールすることができる。以下に、この改良型の予き裂長さコントロール法を利用して試みたアクリルCT試験片への予き裂付与における実験の詳細を述べる。

3. 実験

3.1 アクリルCT試験片

準備したアクリルは、長さ1,260mm、幅1,090mm、厚さ

10mmの板材(住友化学工業(株)製造, 商品名スミベックス)である。このアクリルのヤング率 E_T とポアソン比 ν_T は次の通りである。

$$E_T = 3.4\text{GPa}, \nu_T = 0.35$$

この他に厚さ15mmと20mmの板材も追加して実験に供した。材料強度試験では, 材料の異方性を考慮する必要があるので, 一枚のアクリル板から切欠き溝方向をすべて同じ方向になるようにC T試験片を製作した。図4にASTM-E399規格⁽⁷⁾にできるだけ従ったC T試験片の寸法を示す。試験片の厚さは, $B=10\text{mm}, 15\text{mm}, 20\text{mm}$ とし, 試験片幅は $W=40\text{mm}$ とした。図中のNは切欠き溝(以下, 切欠きという)で, フライス加工により切欠き長さ $l=19\text{mm}$, 切欠き幅 $t=1\text{mm}$ に仕上げた。切欠きにおいては, なるべく残留ひずみが残らないように十分に注意をして加工⁽⁹⁾した。特に仕上げ時の1mm以内における切削では, 切込み深さを0.1mm程度として, 切削油を十分に使用して時間をかけて製作した。

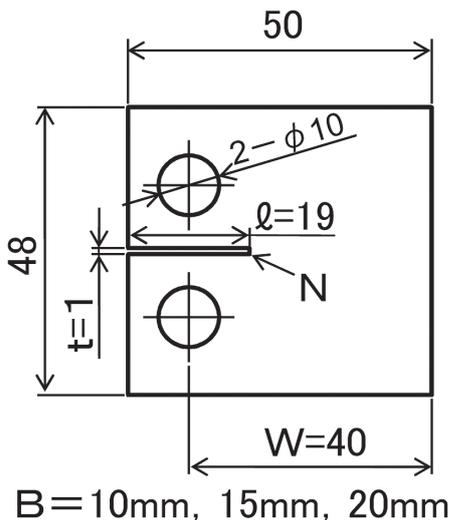


図4 アクリルC T試験片

3.2 実験方法

実験に使用した引張試験機は, 槓桿式万能試験機である。実験では図3に示す改良型予き裂長さコントロール法を利用して, まず初めに加圧板Sに圧縮荷重 P_0 を負荷し, その状態で引張試験機によりC T試験片に引張荷重 P_1 を静的に負荷して, 予き裂が発生したときの破壊荷重 $P_1 = P_F$ を測定するとともに, 得られた予き裂の状態を観察した。実験は次の通りに実施した。

- (1) 発生した予き裂に及ぼす加圧板Sに負荷する圧縮荷重 P_0 の影響を知るために, 間隔 λ を一定にして圧縮荷重 P_0 のみを変化させた厚さ $B=10\text{mm}$ のC T試験片における実験
- (2) 発生した予き裂に及ぼす切欠き先端から加圧板Sまでの間隔 λ の影響を知るために, 圧縮荷重 P_0 を一定にして間隔 λ のみを変化させた厚さ $B=10\text{mm}$ のC T試験片における実験

- (3) 発生した予き裂に及ぼすC T試験片の厚さBの影響を知るために, 間隔 λ を一定にして厚さBのみを変化させた厚さ $B=15\text{mm}, 20\text{mm}$ のC T試験片における実験
実験ではアクリルの破壊までの力学的挙動を知るために, 加圧板Sに負荷する圧縮荷重 P_0 を $P_0=0$ としたアクリルC T試験片の実験, すなわち加圧板Sを使用しない場合の実験も試みた。なお, 実験に使用した鋼製の加圧板Sにおけるヤング率 E_S とポアソン比 ν_S ならびに寸法(幅 b , 長さ c , 高さ h)は次の通りである。

$$E_S = 206\text{GPa}, \nu_S = 0.30, b = 12\text{mm}, c = 20\text{mm}, h = 18\text{mm}$$

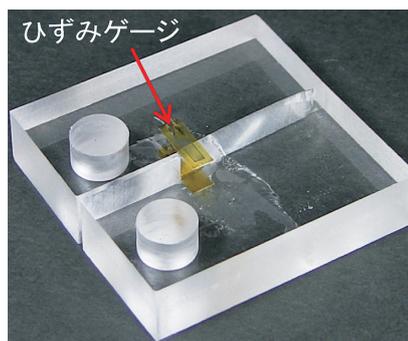
3.3 実験結果

ここでは予き裂に及ぼすそれぞれの影響を知るための実験結果を分けて述べる。

(1) 加圧板無し($P_0=0$)の実験

まず, 加圧板を使用しないでアクリルC T試験片(厚さ $B=10\text{mm}$)を引張試験機で直接に引っ張り, C T試験片を破壊させた際の予き裂の状態を写真2に示す。切欠き先端から発生した予き裂は, 真直ぐに進展してC T試験片をほぼ2分するに至っている。このときのC T試験片の破壊荷重 P_F は, $P_F=660\text{N}$ であった。写真のようにC T試験片が一瞬にして2分される材料は, アクリルの他, ガラスやセラミックスは勿論, 岩石, コンクリートなどの脆性材料である。破壊までの力学的挙動を知るためには, クリップゲージによりき裂開口変位を測定する必要があるが, ここでは, 写真2に示すように切欠き先端近傍におけるC T試験片の両表面に, 塑性ひずみゲージ(株東京測器研究所製造, 塑性ゲージ型式YFLA-5)を引張方向のひずみ ϵ が測定できるように貼り, 予き裂を付与しないアクリルC T試験片($P_0=0$)における破壊までの引張荷重 P_1 とひずみ ϵ の関係を測定した。

図5に引張荷重 P_1 とひずみ ϵ の関係を示す。図中には3枚のC T試験片(No.11~No.13)における測定結果を示しているが, いずれのC T試験片も破壊点Fまでほぼ弾性的に挙動し, 脆性材料の特徴を示している。引張応力下におけるアクリルは, 明らかにセラミックスと同様に脆性破壊することが分かる。3枚のC T試験片から求めた破壊



B=10.20mm, $P_F=660\text{N}$

写真2 破壊後のアクリルC T試験片($P_0=0$)

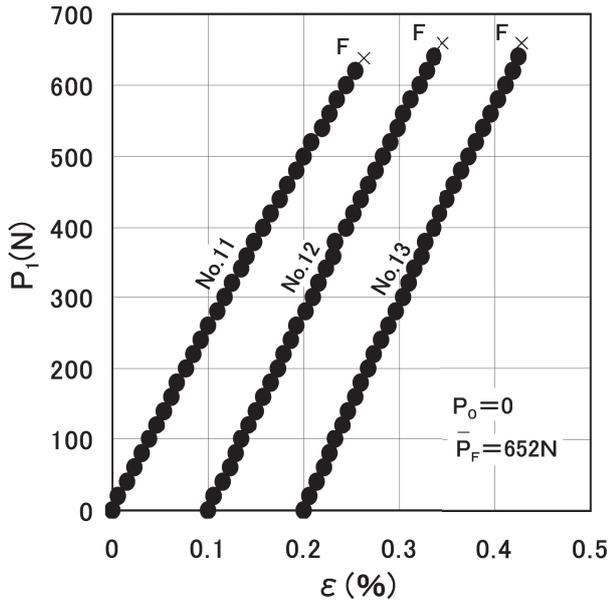


図5 $P_1 - \epsilon$ の関係 ($B = 10\text{mm}$)

す。(a)中に記したF点は予き裂先端を示し、その他は予き裂長さの評価のための記号を示す。nは切欠き先端の予き裂発生点を示し、n-n'が切欠き延長線上を示す。 δ は予き裂長さであり、 δ' はn-n'線から逸れた距離を示す。したがって実験で得られた予き裂の状態を長さ δ と逸れた距離 δ' で評価する。(a)の $P_0 = 2\text{kN}$ では、予き裂が試験片をほぼ2分するまでに進展しているが、(b)の $P_0 = 4\text{kN}$ では、予き裂は加圧板を配置した付近で停止して、 δ の値は期待したように(a)の場合よりも短くでている。しかし、 δ' の値では(a)、(b)ともに大きく湾曲している。 P_0 をさらに増した(c)と(d)の場合では、 δ の値は $\lambda = 3\text{mm}$ に近く得られ、さらに δ' の値は1mm程度に小さくでていることから、予き裂はほぼ真直ぐに進展していることが分かる。

表1に実験結果を示す。実験は同一の圧縮荷重 P_0 で3回実施した。 P_0 は加圧板に負荷した圧縮荷重であり、表中の σ_0 は圧縮荷重 P_0 を加圧板の面積で除した圧縮応力で次式より求めた。

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{bc} \quad (1)$$

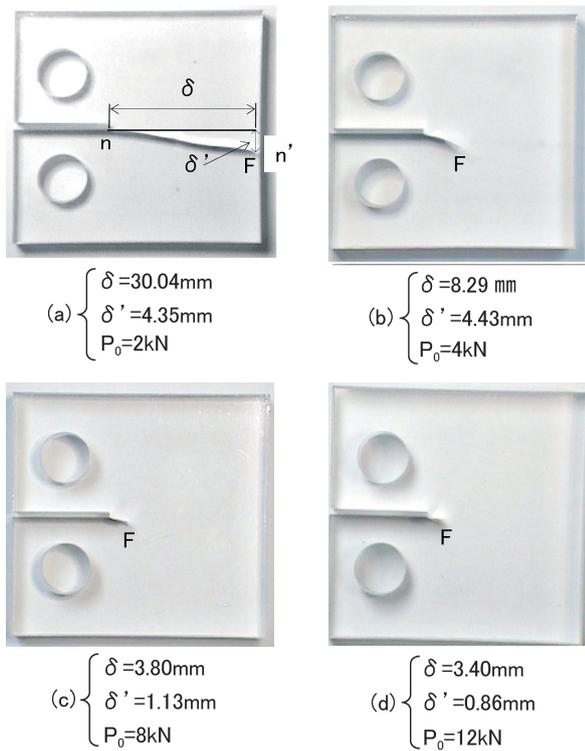


写真3 予き裂状態 ($B = 10\text{mm}$, $\lambda = 3\text{mm}$ 一定)

荷重 P_F の値にはあまりばらつきがなく、その平均値は $\bar{P}_F = 652\text{N}$ である。

(2) 圧縮荷重 P_0 を変えた実験

切欠き先端と加圧板との間隔 λ を $\lambda = 3\text{mm}$ 一定にして、加圧板に負荷する圧縮荷重 P_0 のみを $P_0 = 2 \sim 12\text{kN}$ の間で種々に変化させ、予き裂を発生させたときの実験結果について述べる。

写真3(a)~(d)に $P_0 = 2, 4, 8, 12\text{kN}$ のときのアクリルCT試験片(厚さ $B = 10\text{mm}$)に発生した予き裂の状態を示

表1 圧縮荷重 P_0 を変えた実験結果
($B = 10\text{mm}$, $\lambda = 3\text{mm}$ 一定)

No.	P_0 kN	σ_0 MPa	P_F N	δ mm	δ' mm	備考
111	2	8.3	660	30.04	4.35	×
112	2	8.3	600	29.36	6.00	×
113	2	8.3	620	29.52	0.31	×
121	3	12.5	580	12.64	4.35	×
122	3	12.5	520	5.94	1.65	△
123	3	12.5	580	4.25	0.70	×
131	4	16.7	505	8.29	4.27	×
132	4	16.7	550	9.15	2.79	×
133	4	16.7	500	4.48	1.76	△
141	5	20.8	460	4.82	1.57	△
142	5	20.8	470	3.82	1.45	○
143	5	20.8	480	4.50	1.58	△
151	6	25.0	455	3.93	1.07	○
152	6	25.0	525	4.59	1.65	△
153	6	25.0	530	4.75	0.94	△
161	8	33.3	340	3.58	1.16	○
162	8	33.3	420	3.14	0.90	○
163	8	33.3	400	3.80	1.13	○
171	10	41.7	300	3.21	1.01	○
172	10	41.7	320	2.98	0.96	○
173	10	41.7	235	3.14	1.43	○
181	12	50.0	240	3.40	0.86	○
182	12	50.0	260	2.56	0.67	○
183	12	50.0	270	3.06	0.83	○

($P_R = 7.04\text{kN}$)

$$\begin{matrix} \circ & \left\{ \begin{array}{l} \delta \leq 4\text{mm} \\ \delta' \leq 1.5\text{mm} \end{array} \right. & \Delta & \left\{ \begin{array}{l} 4\text{mm} < \delta < 8\text{mm} \\ 1.5\text{mm} < \delta' < 3\text{mm} \end{array} \right. & \times & \left\{ \begin{array}{l} \delta \geq 8\text{mm} \\ \delta' \geq 3\text{mm} \end{array} \right. \end{matrix}$$

また、 P_F はCT試験片に予き裂が発生した際の破壊荷重である。 δ と δ' は上述した写真3(a)に示した予き裂長さと切欠き延長線上から逸れた距離である。なお、備考欄の○、△、×印は、表の下部に示した通り、予き裂先端の状態を示したもので、○印は逸れた距離が $\delta' \leq 1.5\text{mm}$ で、予き裂がほぼ真直ぐに進展して、予き裂長さが $\delta \leq 4\text{mm}$ で停止したもの、×印は $\delta' \geq 3.0\text{mm}$ で予き裂が湾曲し、予き裂長さが $\delta \geq 8\text{mm}$ で停止したもの、△印は○と×の間で予き裂先端が停止したものを示す。また $P_R = 7.04\text{kN}$ については後で述べる。

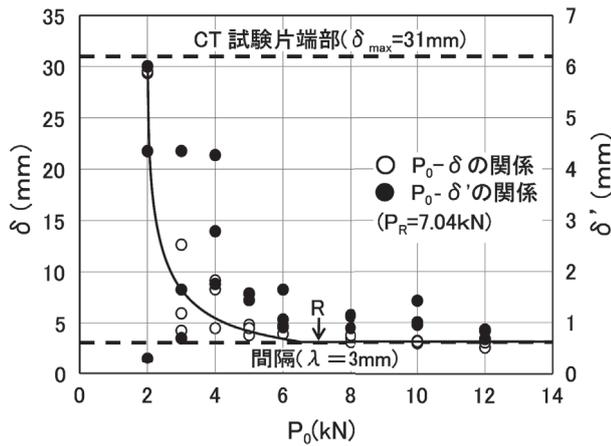


図6 $P_0 - \delta$ と $P_0 - \delta'$ の関係

図6に表1に記した圧縮荷重 P_0 と予き裂長さ δ の関係を○印で示し、圧縮荷重 P_0 と逸れた距離 δ' の関係を●印で区別して示した。図中の下部と上部に示した破線は、加圧板を配置した間隔 $\lambda = 3\text{mm}$ の位置と、予き裂が進展してCT試験片を2分する試験片端部の位置31mmを表している。○印で示した P_0 と δ の実験点を図中の細線で示すと、予き裂長さ δ の値は P_0 を増すとR点で示す $P_R = 7.04\text{kN}$ までは急激に減少するが、R点以降は $\delta = 3\text{mm}$ とほぼ一定になっている。すなわちR点以降の予き裂長さ δ は、間隔 λ の位置である加圧板付近で停止していることが分かる。一方、●印で示す圧縮荷重 P_0 と逸れた距離 δ' の関に注目すると、 δ' はR点($P_R = 7.04\text{kN}$)まではばらつきが大きく、安定しない傾向を示しているが、R点以降は δ' の値が小さく、ほぼ予き裂が真直ぐに進展していることが分かる。したがって真直ぐな予き裂を進展させ、希望する長さで予き裂を停止させるには、 P_0 に適正值があり、その境界はR点であることを知る。なお、このR点($P_R = 7.04\text{kN}$)については後で述べる。

図7に表1に記した圧縮荷重 P_0 と予き裂が発生したときの破壊荷重 P_F の関係を示す。 P_F は P_0 を増すとほぼ直線的に減少している。これは加圧板が圧縮されると試験片内には圧縮荷重 P_0 に比例して、加圧板外方部分に内圧が作用するためである。したがって加圧板に負荷する圧縮荷重 P_0 は、破壊荷重 P_F に影響を及ぼし、破壊荷重 P_F を減少させる効果がある。また本実験では加圧板に負荷できる圧縮荷重 P_0 の最大値は $P_0 = 12\text{kN}$ であり、 $P_0 = 14\text{kN}$

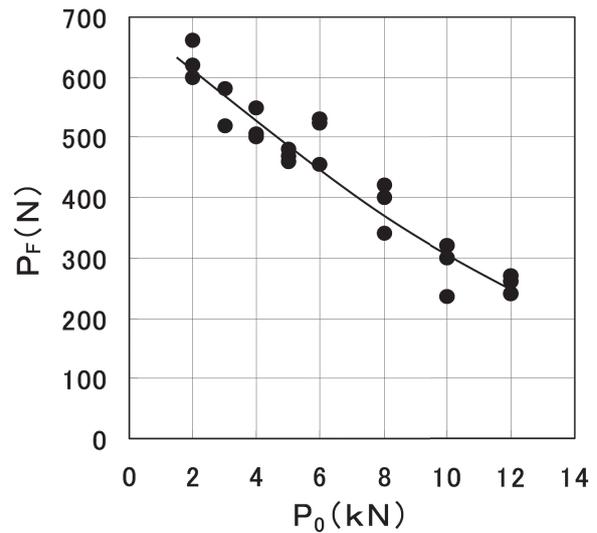


図7 P_0 と P_F の関係($\lambda = 3\text{mm}$ 一定)

($\sigma_0 = 58\text{MPa}$)を負荷した際には、アクリルの耐力 $\sigma_e = 50\text{MPa}$ を超えることからCT試験片が塑性変形して、実験することができなかった。

(3) 間隔 λ を変えた実験

ここでは、圧縮荷重 P_0 を $P_0 = 8\text{kN}$ ($\sigma_0 = 33.3\text{MPa}$)一定にして、間隔 λ を $\lambda = 1 \sim 7\text{mm}$ に変化させたときの実験結果について述べる。なお、この時加圧板に負荷した圧縮荷重 P_0 は、前述の図6で述べたR点($P_R = 7.04\text{kN}$)を超えた値である。

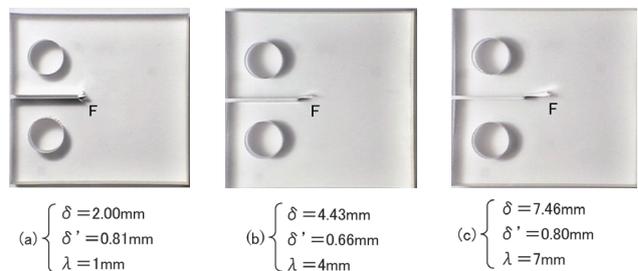


写真4 予き裂状態($B = 10\text{mm}$, $P_0 = 8\text{kN}$ 一定)

写真4(a)~(c)に $\lambda = 1, 4, 7\text{mm}$ のときのCT試験片(厚さ $B = 10\text{mm}$)に発生した予き裂の状態を示す。写真中のF点は予き裂先端である。 δ は予き裂長さで、 δ' は切欠き延長線上から逸れた距離である。(a)の場合、予き裂長さ δ の値は λ の値より若干大きいものの、予き裂は真直ぐに進展して停止している。また、 λ の値を大きくした(b), (c)の場合においても、予き裂はほぼ真直ぐに進展していて、期待したように予き裂長さ δ は間隔 λ 付近、すなわち $\lambda = \delta$ 付近で停止している。

表2に実験結果を示す。表中の λ は、切欠き先端から加圧板までの間隔であり、実験は同一の λ の値で3回実施した。 P_F は予き裂が発生した破壊荷重、 δ は予き裂長さで、 δ' は切欠き延長線上から逸れた距離である。また表の下部には、 P_R の値 $P_R = 7.04\text{kN}$ も示しておいた。

表2 距離 λ を変えた実験結果
($B=10\text{mm}$, $P_0=8\text{kN}$ 一定)

No.	λ mm	P_F N	δ mm	δ' mm
211	1	490	2.00	0.81
212	1	410	1.28	1.04
213	1	335	1.20	1.05
221	2	590	2.19	1.62
222	2	455	2.02	1.10
223	2	410	1.93	1.56
231	3	340	3.58	1.16
232	3	420	3.14	0.90
233	3	400	3.80	1.13
241	4	520	4.43	0.66
242	4	475	4.05	1.35
243	4	525	4.20	1.67
251	5	415	4.25	1.26
252	5	395	5.51	0.63
253	5	490	4.23	0.77
261	6	480	6.36	0.50
262	6	415	5.93	1.08
263	6	495	5.90	1.41
271	7	515	7.46	0.80
272	7	600	7.05	1.55
273	7	515	7.82	0.62

($P_R=7.04\text{kN}$)

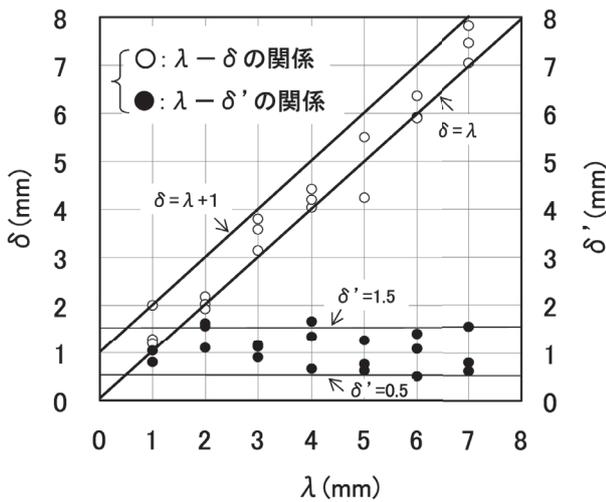


図8 $\lambda - \delta$ と $\lambda - \delta'$ の関係($P_0=8\text{kN}$ 一定)

図8に表2に記した間隔 λ と予き裂長さ δ の関係を○印で示し、間隔 λ と逸れた距離 δ' の関係を●印で示す。また、図中には $\delta = \lambda$ (mm)と $\delta = \lambda + 1$ (mm)ならびに、 $\delta' = 0.5$ (mm)と $\delta' = 1.5$ (mm)で与えられる直線を太線ならびに細線で示す。○印で示した λ と δ の関係において、実験値は λ の値を増すにしたがい、ばらつきが多少あるものの δ は直

線的に増加し、ほぼ $\delta = \lambda$ (mm)と $\delta = \lambda + 1$ (mm)で示した太線の領域内にてでている。一方、●印で示した λ と δ' の関係では、 δ' の値は少しばらつきがあるものの、発生した予き裂は $\delta' = 0.5$ (mm)と $\delta' = 1.5$ (mm)で示した細線の領域内で、ほぼ一定にてでている。したがって改良型予き裂長さコントロール法では、間隔 λ の値により希望する長さの予き裂を、ほぼばらつきが1mm程度で、真直ぐに付与することができる。

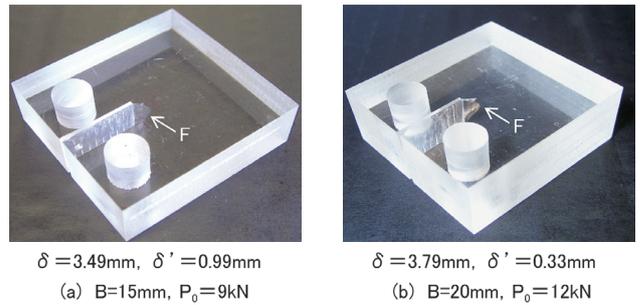


写真5 予き裂状態($\lambda=3\text{mm}$ 一定)

(4) 厚さBを変えた実験

写真5(a)(b)に $B=15\text{mm}$, 20mm のCT試験片に付与した予き裂の状態を示す。圧縮荷重 P_0 を $P_0=9\text{kN}$ と 12kN にし、間隔 λ は $\lambda=3\text{mm}$ として予き裂を付与した。図中には予き裂長さ δ 、逸れた距離 δ' の値も示している。予き裂は厚さ $B=15\text{mm}$, 20mm においても前述した $B=10\text{mm}$ ($B=W/4$)の場合と同様に、真直ぐに進展して間隔 λ 付近で停止している。また発生した予き裂は一樣に進展するのではなく、加圧板からの圧縮の摩擦力を受けて、加圧板と接する部分では、予き裂は進展を阻止されて試験片内部が先行している。一般に破壊靱性値を求める際には、き裂長さを正確に測定する必要がある。このため試験片の破面からき裂長さ測定法にしたがい平均して求める。しかし本報での目的は、CT試験片への予き裂付与であることからCT試験片の厚さBに関わらず、予き裂長さ δ を統一して評価することが有効であるため最大値を求めた。

表3に実験結果を示す。表中のBはCT試験片の厚さ、 P_0 は加圧板に負荷した圧縮荷重であり、圧縮応力 σ_0 の値も示している。 P_0 の値はいずれも右側に示した P_R の値を超えている。また P_F は破壊荷重、 δ は予き裂長さ、 δ' は逸れた距離であり、備考欄には予き裂先端の状態が分かるように、表1中で示した記号を付した。表中の δ と

表3 厚さBを変えた実験結果($\lambda=3\text{mm}$ 一定)

No.	B mm	P_0 kN	σ_0 MPa	P_F N	δ mm	δ' mm	P_R kN	備考
311	14.61	9	37.5	495	3.01	1.44		○
312	15.38	9	37.5	610	3.54	1.14	8.04	○
313	15.34	9	37.5	670	3.49	0.99		○
321	20.26	12	50.0	400	4.80	0.69		△
322	19.84	12	50.0	490	7.99	2.98	9.21	△
323	20.27	12	50.0	520	3.79	0.33		○

δ' の値から分かるように、予き裂は真直ぐに進展して停止しているが、中には間隔 λ よりも長く得られる場合もある。改良型予き裂長さコントロール法は、試験片厚さ $B = 20\text{mm}$ ($B = W/2$) 以内であれば、中には $\delta = 8\text{mm}$ と若干長い予き裂となる場合もあるが、あまり厚さ B に影響されることなく予き裂を付与することができる。

3.4 検討

改良型予き裂長さコントロール法を利用して、アクリル C T 試験片への予き裂付与の実験を行った。その結果、厚さ $B = W/4$ ($B = 10\text{mm}$) の C T 試験片では、図6と図8について述べたように、圧縮荷重 P_0 を R 点で示される P_R 以上の値で加圧板に負荷すると、予き裂を希望する長さで付与できることを実験により示した。また表3について述べたように、圧縮荷重 P_0 を P_R 以上の値で加圧板に負荷して、厚さ B を変化させた場合では、予き裂長さ δ と逸れた距離 δ' は、厚さを増すと値にばらつきがでて、中には大きな値を示す場合もあるが、厚さ $B = W/2$ ($B = 20\text{mm}$) 程度までは、改良型予き裂長さコントロール法を利用することにより、ほぼ希望する予き裂長さをアクリル C T 試験片に付与できることも実験により示した。

予き裂付与において基本となる材料の機械的性質は破壊靱性値 K_{IC} である。セラミックス材料における巨視的ノッチを有する試験片から K_{IC} を求める場合には、一般に曲げ試験片すなわち SENB法 (Single edge notched beam method) により試みられている。しかし、SENB法における切欠きから予き裂を付与する SEP法が開発されたことにより、SEP法はセラミックスの K_{IC} 測定的主流¹⁰⁾ になりつつある。

いま、C T 試験片において SENB法と同様にして破壊靱性値を求める。図5に示した $P_1 - \epsilon$ の関係における破壊荷重 $\bar{P}_F = 652\text{N}$ を用いて、アクリルの破壊靱性値 K_{IC} を知るために、後述する切欠きを有するアクリルの破壊靱性値を K_{IC}' として求めてみると、その結果は次式となる。

$$K_{IC}' = 1.468\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \quad (2)$$

ここで、き裂進展長さ a は図4から分かるように、き裂進展長さ $a = 9\text{mm}$ 、試験片幅 $W = 40\text{mm}$ 、厚さ $B = 10\text{mm}$ 、破壊荷重 $\bar{P}_F = 652\text{N}$ として求めた。

一方、改良型予き裂長さコントロール法の利用において、特に重要なことは、加圧板に負荷すべき圧縮荷重 P_0 の値を知ることである。幸い、本実験と類似する研究に摩擦による軟鋼板の降伏¹¹⁾がある。この研究は正方形、長方形、円形からなる3種類の形状の軟鋼板を試験片として用いて、2個のアクリル加圧板で軟鋼板を挟み、その加圧板を圧縮して軟鋼板を降伏させている。実験では降伏時における加圧板に負荷した圧縮応力を測定し、その圧縮応力を解析している。解析では、大きな変形に伴う材料間の接触面に働く摩擦力とひずみとを関係づける材料定数を提案して、降伏時の圧縮応力を計算した結果は実験結果とよい一致をみている。したがってアクリル C T 試験片に予き裂を

付与する際の加圧板に負荷する圧縮荷重、ならびに圧縮応力は、その降伏の研究と同様に接触面に働く摩擦力とひずみとを関係づける材料定数を考慮すれば求めることができると思われる。

4. 加圧板に負荷すべき圧縮荷重

ここでは、はじめに材料定数である接触面の摩擦係数について述べ、次いで、予き裂を希望する位置で停止されるために必要な加圧板に負荷すべき圧縮荷重について述べる。

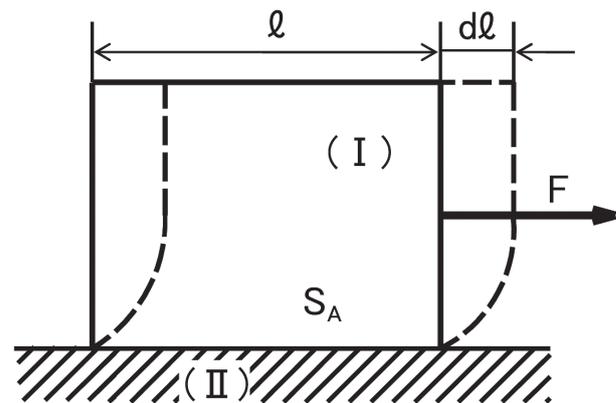


図9 λ の説明図

4.1 接触面の摩擦係数¹¹⁾

図9はヤング率の小さい変形しやすい材料(I)が、ヤング率の大きい変形しにくい材料(II)上に配置され、両者の材料がいずれも完全に固着状態にあり、力 F が働いて材料(I)が弾性変形した状態を破線で示したものである。また、材料(I)は材料(II)に対して滑り出す以前で、 dl だけ変形したとする。このとき材料(I)に対して材料(II)は面積 S_A で接触しているので、力 F は接触面積 S_A とひずみ dl/l に比例する。いま、比例定数を β とすれば力 F は次式となる。

$$F = \beta \frac{dl}{l} S_A \quad (3)$$

式(3)の比例定数 β は接触面に働く接線力とひずみとを関係づける定数で、 β を接触面の摩擦係数と呼んでいる。この接触面の摩擦係数 β は従来の摩擦係数とは異なるもので、アクリルと鋼における接触面の摩擦係数 β の値は、 $\beta = 2\text{GPa}$ と既に得られている。ここで、材料(I)をヤング率が小さいアクリルとし、材料(II)をヤング率の大きい鋼とすれば、材料(I)と(II)における両者は、完全に固着状態にあるので、表面粗さにはあまり影響しないと思われる。

4.2 負荷すべき圧縮荷重

アクリル C T 試験片 T に誘起する圧縮の摩擦力 F は、図10を用いて、次のように求めることができる。すなわち加圧板(幅 b 、長さ c)と接している C T 試験片 T の上下面において、加圧板外縁での接線力は $\beta \epsilon_T$ となり、中

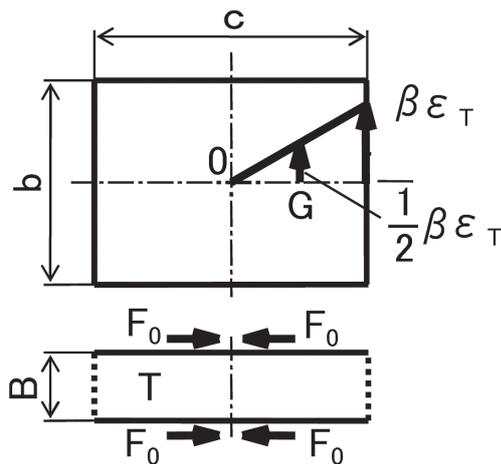


図10 摩擦力の説明

心Oでは零である。したがってCT試験片の中央縦断面に誘起する圧縮の摩擦力Fは中央で最大となる。いまCT試験片に誘起する中央縦断面での摩擦力Fを求めると次式となる。

$$F = 2 F_0 = \frac{1}{2} \beta \varepsilon_T bc \quad (4)$$

ここで ε_T はアクリルの横ひずみで、 $\varepsilon_T = \frac{\sigma_0}{E_T} \nu_T$ であり、 σ_0 はアクリルの圧縮応力、 E_T はアクリルの縦弾性係数、 ν_T はポアソン比である。加圧板に圧縮荷重を荷した際の加圧板と接するアクリル表面に誘起する圧縮の摩擦力Fは、式(4)より次式となる。

$$F = \frac{\beta \sigma_0 \nu_T}{2 E_T} bc \quad (4)'$$

一方、切欠き先端から発生する場合の破壊靱性値を K_{IC}' とすれば、 K_{IC}' は材料の破壊靱性値 $K_{IC}^{(7)}$ を用いて次式となる。

$$K_{IC}' = \alpha K_{IC} \quad (5)$$

ここで α は形状係数で $\alpha > 1$ である。 α の値が不明である時には、切欠きを予き裂と見なして次式より求める。

$$K_{IC}' = \frac{P_F \cdot f(a/W)}{B \cdot W^{1/2}} \quad (6)$$

ただし、 $f(a/W) = \frac{\{2 + (a/W)\}}{\{1 - (a/W)\}^{3/2}} \{0.886 + 4.64(a/W)$

$$-13.32(a/W)^2 + 14.72(a/W)^3 - 5.6(a/W)^4 \}$$

ここで P_F はCT試験片の破壊荷重、 B は試験片厚さ、 W は試験片幅である。式(6)によって発生した予き裂を停止させるためには、式(4)'で示される摩擦力Fで行うので、次の条件となる。

$$P_F < F \quad (7)$$

式(7)に式(4)'(6)を代入して、予き裂を希望する位置で停止させるための加圧板に荷すべき圧縮応力 σ_0 を求めれば、次式となる。

$$\frac{\sigma_0}{K_{IC}'} > \frac{B \cdot W^{1/2}}{f(a/W)} \cdot \frac{2 E_T}{\beta \nu_T bc} \quad (8)$$

式(8)から圧縮応力 σ_0 は加圧板の大きさ(幅 b 、長さ c)に依存することが分かる。また加圧板に荷すべき圧縮荷重 P_0 を求めれば、次式となる。

$$\frac{P_0}{K_{IC}'} > \frac{B \cdot W^{1/2}}{f(a/W)} \cdot \frac{2 E_T}{\beta \nu_T} \quad (8)'$$

したがって改良型予き裂長さコントロール法においては、式(8)から求められる圧縮応力 σ_0 、または式(8)'から求められる圧縮荷重 P_0 以上を加圧板に荷すれば、予き裂は希望する位置で停止することになる。

4.3 実験結果との比較

予き裂を付与させるための加圧板に荷すべき圧縮荷重 P_0 を求めて実験結果と比較する。厚さ $B=15\text{mm}$ 、 20mm のアクリルCT試験片の破壊荷重 P_F から切欠きを有する破壊靱性値 K_{IC}' を求めた結果を示せば、表4の通りである。表中には図5ならびに式(2)で示した厚さ $B=10\text{mm}$ の実験結果も示している。前報¹²⁾によれば、予き裂を付与したアクリルCT試験片から求めた破壊靱性値 K_{IC} の値は、 $K_{IC} = 1.27\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ と得られていることから形状係数 α は表4に示す通り、 $\alpha = 1.14 \sim 1.19$ 程度と思われる。したがって材料の破壊靱性値 K_{IC} と形状係数 α が分かれば、 K_{IC}' を求めることができる。

一方、実験に用いたアクリルCT試験片における材料定数、寸法などの各値は、それぞれ次のように求められている。

$$W = 40\text{mm}, a = 9\text{mm}, E_T = 3.4\text{GPa}, \nu_T = 0.35 \\ \beta = 2\text{GPa}, b = 12\text{mm}, c = 20\text{mm}$$

いま、式(8)(8)'に上述の各値を代入して、厚さ $B=10\text{mm}$ 、 15mm 、 20mm からなるCT試験片の加圧板に荷すべき圧縮応力 σ_0 と圧縮荷重 P_0 を計算した結果を表4中に σ_R と P_R で示す。表の上部に示した $K_{IC}' = 1.474\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ は、 K_{IC}' の平均値である。表4中の σ_R と P_R は、実は、 K_{IC}' の平均値 $K_{IC}' = 1.474\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ を用いて、各厚さ B につ

表4 K_{IC}' の測定結果と P_0 計算結果
($K_{IC}' = 1.474\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)

試験片 No.	B mm	測定結果		計算結果		
		P_F N	K_{IC}' MPa·m ^{1/2}	α	σ_R MPa	P_R kN
11	10.22	640	1.439	1.468	1.155	2.93
12	10.19					
13	10.20					
21	14.59	1030	1.622	1.444	1.137	3.35
22	14.99					
23	14.59					
31	19.99	1322	1.519	1.510	1.189	3.84
32	19.93					
33	20.23					

($K_{IC} = 1.27\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)

$W=40\text{mm}$, $a=9\text{mm}$, $a/W=0.23$, $f(a/W)=4.595$

いて、それぞれ算出した値である。図6中に示したR点における圧縮荷重 $P_R = 7.04\text{kN}$ ならびに、表1~3に示した P_R の値はいずれも表4中に示した σ_R と P_R の値である。この P_R が予き裂を希望する長さで停止させるか否かの境界の圧縮荷重であり、その P_R の計算結果は実験結果と一致することは、すでに述べた通りである。したがって材料の破壊靱性値 K_{Ic} の値、または切欠き有するCT試験片の破壊靱性値 K_{Ic}' の値と接触面の摩擦係数 β の値が分かれば、おおよその圧縮荷重 P_R の値を知ることができるので、CT試験片に希望する長さの予き裂を付与することが可能となる。

なお、発生した予き裂が湾曲することについて付言しておく。前章で示したように加圧板と接するCT試験片に誘起する圧縮の摩擦力は、加圧板の中央部で式(4)で示される F となる。しかし、この摩擦力は一樣に作用するのではなく、中央部で最大値 F となり加圧板端部で最小値0となる。また加圧板がCT試験片と接する面積は、実際には $b = 12\text{mm}$ 、 $c = 20\text{mm}$ と小さいため、摩擦力の分布はかなり急なものとなる。したがって、切欠き先端から発生した予き裂は中央部から逸れることになる。

また予き裂付与において、加圧板に圧縮荷重 P_0 を負荷すると、CT試験片には引張試験機による引張荷重の他に、圧縮荷重により誘起する内圧も重畳されることからCT試験片の破壊荷重 P_F は減少する。このことは式(8)'から求めた加圧板に負荷すべき圧縮荷重 P_0 は、予き裂進展の阻止に有効的に作用することとなり、好都合なことである。

5. 結 言

本報では脆性材料からなるCT試験片への予き裂付与法の開発として、アクリルを実験材料に選び、そのアクリルCT試験片への予き裂付与についての実験と解析について述べた。実験は希望する予き裂長さで付与するために、アクリルCT試験片の切欠き先端からある間隔離れた位置に、予め鋼製の加圧板を配置して圧縮荷重を負荷し、次いで引張試験機により直接に引張力をCT試験片に負荷して予き裂を進展させ、加圧板付近で予き裂を停止させるという改良型予き裂長さコントロール法を用いて実施した。改良型予き裂長さコントロール法において得られる予き裂は、希望する位置でほぼ真直ぐに付与することができることを明らかにした。また、発生した予き裂を希望する位置に付与させるための加圧板に負荷すべき圧縮荷重について、材料定数である接触面の摩擦係数を導入して解析を試みた。その結果、計算から求めた圧縮荷重は実験と良い一致を見た。

本文では実験材料としてアクリルを選んで実験を試みたが、改良型予き裂長さコントロール法では、予き裂を発生させるための引張力を試験機により負荷できるので、この他にガラス¹³はもちろん、岩石においてもアクリル同様に予き裂付与できることを確認している。このことはセラミックスなどのような脆性材料においても予き裂付与がで

きると思われる。

最後に、本報は平成22年度日本大学大学院設備拡充費ならびに平成22年度日本大学工学部長指定研究(特別研究)補助金による研究成果の一部であることを付記し、関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 日本セラミックス協会編, セラミック先端材料, オーム社, (1991), pp.42-73.
- (2) ASTM D-5045, Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness and Strain Energy Release Rate of Plastic Materials, (2002), pp.351-359.
- (3) JIS-R1607.
- (4) A.Hashimoto and D.Kovar, Controlled Precracking of Fracture Mechanics Specimens Using Contact Stresses, J. Am. Ceram. Soc., 85 9 (2002), pp.2251-2255.
- (5) 橋本・山下, ガラスCT試験片の摩擦による予き裂長さコントロール法, 日本大学工学部紀要, 第48巻, 第1号, (2006), pp.17-23.
- (6) A.Hashimoto and Y.Yamashita, A Technique for Introducing Precrack By Utilizing Frictional Forces on Glass CT Specimens and Fracture Toughness Values of Glass, J.Aust. Ceram. Soc. 44 [1] (2008), pp.13-16.
- (7) ASTM E-399-90, Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Materials, (1997), pp.509-538.
- (8) 田村・橋本, アクリル円筒の側圧切断, 日本機械学会論文集 (C編) 75-756, (2009) pp.249-256.
- (9) 佐藤・荒井, 中心穴をもった帯板の疲れにおける寸法効果, 機械学会論文集 (第1部), 34-267 (1968), pp.1871-1878.
- (10) 東京工業大学工学部無機材料工学科. セラミックス実験. 内田老鶴圃 (2001) pp.152-154.
- (11) 伊藤・橋本・佐藤, 摩擦による軟鋼板の降伏, 日本機械学会論文集 (A編) 57-533, (1991) pp.177-180.
- (12) 佐藤・橋本, CT試験片から求めたアクリルの破壊靱性値, 日本機械学会東北支部第45期秋季講演会講演論文集, No.2009-2, (2009), pp.127-128.
- (13) 山下・橋本, 脆性材料からなコンパクト引張標準試験片の予き裂付与法, 日本機械学会東北支部第42期秋季講演会講演論文集, No.2006-2, (2006), pp.25-26.

複数 LMS の学習データを統合したポータルサイトの開発

柿沼 上*, 渡邊 博之**

Development of Portal Site by Integration of Learning Data on Some LMS's

Suguru KAKINUMA and Hiroyuki WATANABE

Abstract

In the programming class, the score of some LMS's (Learning Management System), the report's evaluation system score, paper tests, and attendance, are used for learning data. However, these LMS systems have the problem that the learning data has not been integrated.

In this research, the portal site where some LMS was integrated based on the XOOPS (eXtensible Object Oriented Portal System) is developed. After using this system, there are several results. The LMS developed by our laboratory, and the Moodle which is one of the LMS were able to run not only on the standalone system but also on the portal site. In addition, the portal site was able to show a score that reflected both the LMS and Moodle data. Furthermore, it is not necessary now to take attendance data of the portal site when accessing the LMS log in class.

Key words : Portal Site, Learning data, LMS, XOOPS

1. はじめに

多くの授業において、実験・実習はレポートが成績の対象に、講義はペーパー試験が成績の対象になっている。しかし、プログラミングの授業はレポートの成績とペーパー試験の成績に加えて、LMS^{*1}による学習データが成績の対象になっている。実習と講義のどちらかを対象とした授業では、学習データは容易に管理できるが、両者を含む授業ではシステムの利用や学習データの管理が長時間におよぶ場合が多い。また、統合されていない学習データでは成績の確認や分析が容易に行えない。

授業で使用する複数のシステムやコンテンツ^{*2}を管理するためには、これらを一に統合し、ユーザ(教員や学生)の権限に応じて利用許可を提供するシステムが必要で、一般にはポータルサイト^{*3}やCMS^{*4}と呼ばれている。以下では、コンテンツのみならず、複数のLMSや学習データを統合することからポータルサイトを用いる。ポータルサイトの開発には幾つかの方法が考えられる。第1の方法はデータベースのテーブルを共有する従来法である。この方法は、全てのデータを一つのユーザテーブルで統合管理で

きる特徴がある。しかし、一つのユーザテーブルに各々のデータを移植しなければならない問題点がある。また、データベースに個別のユーザテーブルがないため、システム単独での運用が難しい問題点がある。第2の方法は各システムに個別のユーザテーブルをもたせ、それらを検索やリンクで統合化する方法である。この方法はシステムが独立しているため単独での運用が可能であり、かつデータベースを再構築することなく統合した運用も可能なため、汎用性や拡張性の高いポータルサイトが構築できる。しかし、従来の同期していない独立したユーザテーブルや学習データをシステム間でどのように関連付けるかが問題となる。

本研究では、第2の方法の問題点を解決するため、複数のLMS(自作LMS^{*5}とMoodle^{*6})、レポート管理システム、出席管理システムなどの各システムをそれぞれモジュール化^{*7}し、プラットフォーム^{*8}の一つであるXOOPS^{*9}を用いて統合化している。このため、システムごとに独立しているユーザテーブルをユーザ対応表によって関連付け、複数のLMSの成績をコンテンツ対応表によって統合している。プログラミングの授業で運用した結果、ポータルサイトで複数LMSの成績を総合することができた。また、授業中に自作LMSを問題回答した学習履歴を出席データとして利用することにより、学生の出席登録が不要となった。さらに、LMS単独での運用ができ、かつ統合した運用も可能となった。

平成22年4月3日受理

* 日本大学大学院工学研究科電気電子工学専攻

** 日本大学工学部電気電子工学科

2. 関連研究と本研究の位置づけ

本研究に関して、2. 1に示す論文が発表されている。2. 2に示すように本学部ではポータルサイトが運用されている。しかし、いずれも単独での運用と統合した運用の両者はできない。本ポータルサイトは2. 3の設計方針に特徴がある。

2. 1 関連研究

講義とeラーニングとのブレンディッド学習により、基礎学力不足の学生の理解度を高めるための論文がある¹⁾。しかし、ブレンディッド学習によるデータ管理は手作業で同期化する必要があるため、統合化のための作業負担が大きい問題点がある。Moodleとグループ活動の学習データは別々に管理されているが、学習データの統合は行われていない。Moodleを用いて自動的に出席管理を行うシステムの論文もある²⁾。講義を主体とする科目を対象に、出席管理モジュールを追加したシステムである。Moodleにはレポート提出機能と評価結果の表示機能はあるが、ユーザ認証はMoodleで行う必要があるため、レポート評価の機能だけを独立して利用することはできない。次に、XOOPSをプラットフォームとしてモジュールを開発した論文もある^{3,4)}。モジュールの機能を初めから運用する場合は良いが、従来のシステムで蓄積されたデータをそのまま利用したい場合については考慮されていない。また、XOOPSにMoodleをモジュールとして組み込んだシステムも開発されている⁵⁾。XOOPSとMoodleのユーザ認証が存在する場合、ユーザテーブルの統合が問題となる。一般には、XOOPSにMoodleをモジュールとして統合するため、XOOPSをベースに拡張される。しかし、この方法はMoodleでXOOPSのデータベースを読み込むため、Moodleも拡張する必要がある。また、Moodleだけを統合しており、複数のLMSを統合することについては考慮されていない。PCを使った講義において、どのスライドがプログラム実習の行き詰まりとなっているかを検討している論文もある⁶⁾。実習と講義のデータを別々に取得するのではなく、新しいシステムでデータベースを統合している。一つのシステムで処理するため、データベースのユーザの一元化やテーブルの統合の問題は生じないが、従来のシステムを引き続き活用できない問題点がある。

2. 2 本学部ポータルサイトの問題点

平成22年度から本学部のポータルサイトが更新され、講習会の受講後、教員と学生は一斉に学部指定のサイト⁷⁾を利用している。このポータルサイトは、主に学生調査書などの閲覧として利用する場合が多い。授業開始から5分間は、キャンパスカードで出席を読み取る装置と連携しているが、すぐに教室外に抜け出す学生が5%程度いる。このため、教員が独自に出席を管理している科目もある。本学部のポータブル型カード読取り装置では、1-2名の遅刻者のためにファイルのアップロードをしなければなら

ず、データの修正も容易ではない。筆者らは教室の座席表を回覧して、座席位置を学生に記入させている。

本学部のポータルサイトには学生の理解度を小テストするLMSの機能もあるが、利用している教員は3%程度にすぎない。これは、コンテンツ^{*9)}をポータルサイト内蔵のテンプレートで作成するため、SCORM^{*10)}対応ではなく、作成したコンテンツを他のLMSで再利用できないためである。新規に小テストを利用する教員は問題ないが、従来からLMSを利用している教員は、本学部指定のポータルサイトを利用すると、蓄積された過去の学習データが全く利用できなくなる問題点がある。

2. 3 ポータルサイト開発の設計方針

複数のLMSを運用する場合、LMSの学習データは個別に管理する必要がある。従来から利用している学習データを効率よく統合し、教員や学生が容易に成績を確認でき、成績の分析が行えるように、本ポータルサイトは次の設計方針を基に開発している。

- (1) 従来から利用している複数のLMSは単独でも、統合化したシステムでも運用できること。
- (2) 従来のデータベースは、移植することなくそのまま統合化後も利用できること。
- (3) 新規に必要な機能は一つのシステムとして開発すること。

学習データの統合を行うプラットフォームとしては様々なアプリケーションプログラムがある。中でもXOOPSはオープンソース(無料)であり、モジュールの追加による金銭的なコストの増加はない。ユーザの権限に応じて利用するシステムや表示画面を変えることが可能であるため、本研究ではXOOPSCube2.1をプラットフォームとしている。また、モジュールの開発言語にPHP2.9、データベースにMySQL5.1、Webサーバの提供にApache2.0を使用している。開発手順は、まず、一つのシステムを一つのモジュールにする。次に、いくつかのモジュールをXOOPSに組み込むことによって完成する。

LMSは英語や情報技術者資格試験などの分野で盛んに活用されている。C言語の学習もその一つであり、筆者らも従来から理解度を高めるために複数のLMS(自作LMSとMoodle)を利用している。更に、学生自身が持参したノートPCを授業中に利用できる科目には限りがある。このことを考慮して、プログラミングの授業を対象に複数の学習データを統合したポータルサイトを開発している。科目名が異なっても多くのモジュールはそのまま利用できるが、機能が不足する場合は本手順に示したモジュールの開発によってシステムに統合することが可能である。

3. ポータルサイトの構成

学習データには、レポートやペーパー試験の成績のように、教員によって成績が評価されるデータと、LMSによる問題回答や出席登録のように、学生のアクセスによって

自動で評価されるデータがある。以下では、これらの学習データの取扱いを従来法と提案法で統合する場合の特徴、問題点、及び解決策について述べる。

3. 1 プログラミング授業の学習データ

表1はプログラミング授業で用いられている学習データである。教員は1コマ135分の授業で講義と実習の説明を行い、学生に実習レポートの提出を課す。これを13コマ分繰り返される。さらに2コマ分は理解度確認のために、ペーパーによる中間試験と定期試験が行なわれる。講義では座席表や点呼による出席簿のデータが収集される。実習ではLMSによる問題回答で、直接データベースに成績が収集される。LMSは自作LMSとMoodleの2つを運用している。自作LMSは多人数が同時アクセスに対してもレスポンスは高速であるが、学生のPCにjavaをインストールしておく必要がある。これに対してMoodleはPHPで書かれているためレスポンスは遅いが、PCの操作に不慣れなためにアプリケーションをインストールしていない学生でも利用できる。但し、自作LMSでは問題名に日本語を使用できるが、Moodleでは英語に限定される問題点がある。これらの問題点を相互に解決するために2つのLMSを運用し、学生が自分のPC環境にあったLMSを選択できるようにしている。レポートやペーパー試験の成績はEXCELで利用可能なcsv^{*11}ファイルを用いている。

総合的な成績評価を行うためには、これらの様々な学習データを全てデータベース形式に統一する必要がある。このため、出席登録はWebによる座席表または自作LMSの学習履歴を用いてデータベースに直接保存する。また、レポート成績とペーパー試験の成績は、csvファイルでアップロードすることによってデータベースに保存する。

表1 プログラミング授業での学習データ

授業内容	データ項目	データ収集法	データ形式
講義	出席	座席表/点呼	出席簿
実習	LMS	自作LMS	DB (自作LMS)
		Moodle	DB (Moodle)
	レポート作成	レポート成績	csv
試験	中間・定期試験	ペーパー試験成績	csv

3. 2 ポータルサイトの形式

図1は従来のポータルサイトの構成図である。データベース内の□はテーブルを示している。自作LMS, Moodle, レポートや出席管理などのモジュールは一つのユーザテーブルを利用している。ユーザ認証によって、教員か学生のアクセス権に応じた機能が利用できる。この方法では各モジュールがXOOPSによるユーザ認証で統合管理しているため、XOOPSを経由しないモジュール単独での利用はできない。また、データベースのテーブルが共有化されるため、モジュールとして組み込む前にシステム単独で利用していたデータベースが再利用できず、新しい

データベースを再構築しなければならない問題点がある。

図2は提案法のポータルサイトの構成図である。データベースにはテーブルが3つある。自作LMS, Moodle, XOOPSの各ユーザテーブルが個別に用意されている。自作LMSやMoodleはXOOPSによるユーザ認証を経由せずに単独で利用できる。しかし、XOOPSで成績管理を行う場合、自作LMSやMoodleの成績が参照できない問題点がある。そこで、3つの独立したユーザテーブルをユーザ対応表で関連付ける。また、LMS間での成績管理はコンテンツ対応表で関連付ける。後者によって、自作LMS(またはMoodle)を利用すれば、Moodle(または自作LMS)を利用することなく学習データが関連付けられる。このことは、データベースを再構築することなく、これまでのデータベースがそのまま利用できることを意味している。

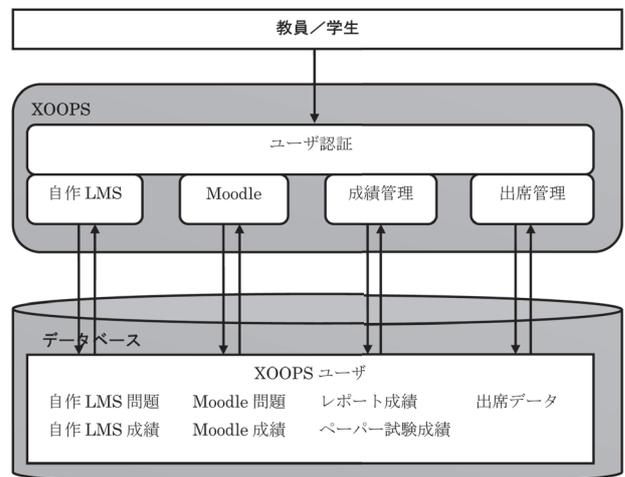


図1 従来のポータルサイト

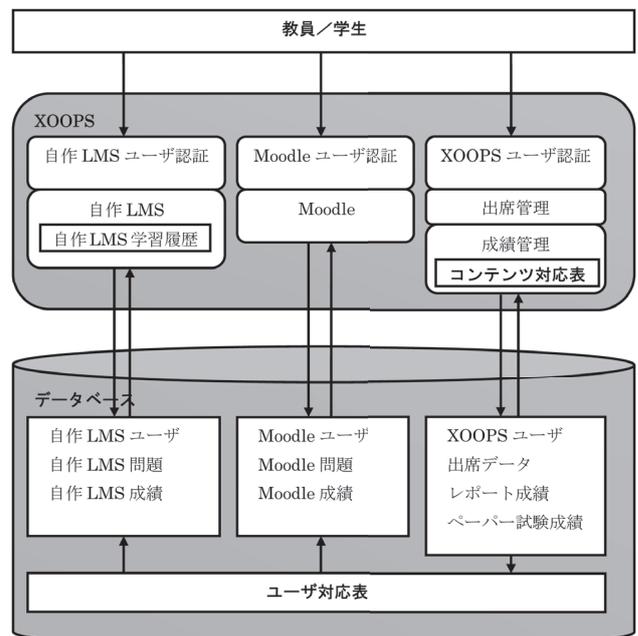


図2 提案法のポータルサイト

3. 3 ユーザの一元化

図3はユーザ認証の一元化の方法を示している。データベースには3つの独立したユーザテーブルがあり、それぞれのテーブルに識別ID、ユーザID、パスワードが格納されている。各モジュールは識別IDを取得して成績データを管理するため、モジュール単独での利用が可能である。しかし、他のモジュールの学習データ(表1)が参照できない。そこで、XOOPS ユーザのテーブルにおいて、XOOPS 識別ID を外部キー*¹²とし、ユーザID を主キー*¹²として他のテーブルと関連付け、自作LMS 識別ID と Moodle 識別ID を取得している。取得したユーザID と3つの識別ID を配列に格納することによってユーザ対応表を作成している。ファイルを作成し、利用しているわけではない。プログラムからデータベースを直接呼び出すと、テーブルの変更に伴ってプログラムの変更が必要となるため、外部関数として作成し、この関数を自作LMS, Moodle, XOOPS から呼び出している。外部関数として呼び出すことによって、従来のプログラムの変更やXOOPS のバージョンアップに容易に対応でき、汎用性のあるシステムが構築できる。

ユーザ対応表によって、成績管理モジュールの総合成績表示, LMS 最高点表示, LMS 合計点表示, 出席管理モジュールの自作LMS の学習履歴による出席登録が可能になる。

3. 4 自作LMSとMoodleの成績統合

LMS を利用する場合、クライアントのPCに必要な環境を設定しなければならない。PC の操作に不慣れな学生などは環境設定に手間取り、実習を満足に行えない。このため、2つのLMS を運用しているが、成績データが2つのテーブルに個別に存在する。LMS の最高点や合計点を

表示するためには2つの成績データを統合する必要がある。

図4は自作LMS と Moodle の成績の統合方法を示している。自作LMS と Moodle は SCORM 対応のLMS であるため、コンテンツが共有できる。しかし、自作LMS では問題名に日本語が使用できるが、Moodle では英語しか使用できない。そこで、自作LMS の問題名と Moodle の問題名を1対1で関連付けるコンテンツ対応表によって、2つのLMS の成績を統合し、LMS 間での最高点や合計点を表示している。問題名は問題作成者が決めるため、一意のID を付けることはできるが、2つの関連付けは機械的な方法ではできない。教員がコースウェア*¹³をマニフェストファイル*¹⁴に書いて登録する時に、手作業で関連付ける必要がある。そこで、自作LMS の問題名(日本語)と Moodle の問題名(英語)との対応をカンマで区切って一行に並べている。13コマ分の問題で一つのコースウェアの場合は13行で一つのコンテンツ対応表(csvファイル)ができる。

これに関連して、ユーザ対応表はデータベースで扱い、コンテンツ対応表はファイルで扱う理由を述べる。ユーザ対応表は各モジュールにユーザテーブルがあるため、別途テキスト形式のファイルを作成することなく、外部キーと主キーの参照によってデータベースが操作できる。これに対して、コンテンツ対応表は問題を一意に区別できるIDを付与することができないため、外部キーと主キーの対応としてデータベースのテーブルを参照することができない。データベースで扱うには新たにテーブルを追加する必要があるが、コンテンツの対応は数行であるため、テーブルの追加で行うよりはcsvファイル形式として、プログラムの変更を最小限としている。

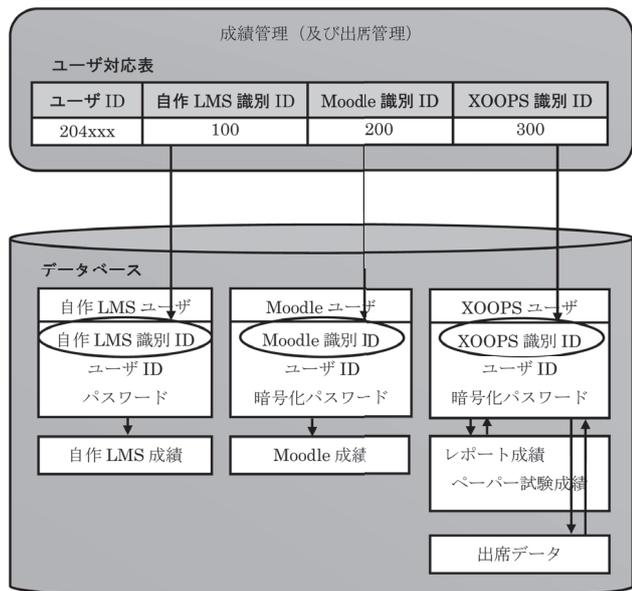


図3 ユーザ対応表によるユーザ認証の一元化

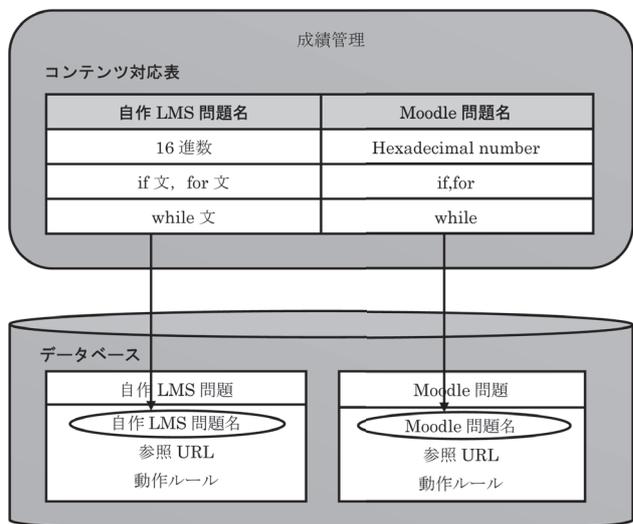


図4 コンテンツ対応表によるLMS間の成績統合

4. 開発モジュールの概要

図5はポータルサイト用に開発したモジュールの一覧である。本研究では自作 LMS, Moodle, 成績管理, 出席管理の各システムをそれぞれモジュール化している。メニューはモジュール単位で管理されるので, XOOPS のメインメニューにはユーザ (実線は教員, 破線は学生) の権限に応じて利用できるモジュールへのリンクが表示される。自作 LMS と Moodle はメインメニューを経由することなく, 直接モジュールにアクセスすることも可能である。

4.1 自作LMSモジュール

本研究で独自に開発したサーバ・クライアントで構成される LMS である。ポータルサイトの管理ユーザ画面から LMS のサーバの起動と停止を可能としている。教員はホームページ作成ツールを用いて問題を作成し, 問題をどのように制御してコースウェアとするかをマニフェストファイルに記述する。問題とマニフェストファイルを自作 LMS のサーバにアップロードし, データベースにマニフェストファイルの URL を登録する。学生はコースウェアを選択すると, マニフェストファイルに従って問題が提示されるので, 回答を行う。回答結果は自作 LMS 成績としてデータベースに保存される。また, 学習履歴がログとして保存される。

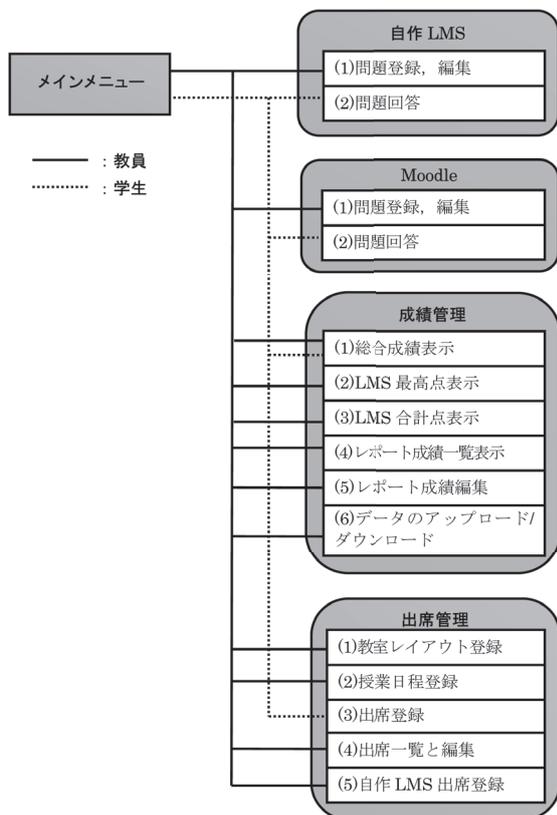


図5 開発モジュールの一覧

4.2 Moodleモジュール

SCORM2004 に対応している LMS であるため, 自作 LMS で使用する問題が共有できる。サーバ・クライアントの構成ではなく, PHP 言語でプログラムされているため, ライブラリを読み込むことによって LMS 機能が提供される。教員が問題とマニフェストファイルを Moodle にアップロードすることによって, データベースにコースウェアが登録される。学生が回答を行うと, 最高点が Moodle 成績としてデータベースに保存される。

4.3 成績管理モジュール

ユーザ対応表 (図3) とコンテンツ対応表 (図4) を用いて自作 LMS 成績, Moodle 成績, レポートやペーパー試験の成績を管理統合するモジュールである。教員は(1)総合成績表示, (2)LMS 最高点表示, (3)LMS 合計点表示, (4)レポート成績一覧表示, (5)レポート成績編集, (6)データのアップロード/ダウンロードが利用可能である。学生は(1)総合成績表示が利用可能である。

(1) 総合成績表示

教員や学生が XOOPS ユーザとしてログインし, 授業名と学生名を入力すると, ユーザ対応表から自作 LMS 識別 ID と Moodle 識別 ID を取得し, 自作 LMS 成績, Moodle 成績, レポートやペーパー試験の成績が一覧表示される。

(2) LMS 最高点表示

教員がコースウェア名を入力すると, ユーザ対応表から自作 LMS 識別 ID と Moodle 識別 ID を取得し, 自作 LMS の成績からコースウェアの各問題の最高点を抽出する。また, コンテンツ対応表から自作 LMS の問題名に対応する Moodle の問題名を取得し, Moodle の成績を抽出する。Moodle の成績は最高点であるため, 自作 LMS の最高点と Moodle の最高点の高いほうの成績が表示される。

(3) LMS 合計点表示

授業回数が増えるとコースウェアも増加する。最高点表示は一つのコースウェアを対象にした成績表示のため, いくつかのコースウェアからなる授業ではコースウェアを統合する必要がある。LMS の成績とレポートの成績との関係を分析するためにも, LMS の成績の合計点を表示する必要がある。そこで, データベースから授業で利用する全てのコースウェアの問題名を取得する。また, ユーザ対応表を用いて自作 LMS 識別 ID と Moodle 識別 ID を取得する。次に, コンテンツ対応表を用いて各問題の2つの LMS を統合した最高点を求め, コースウェアごとに合計した最高点を一覧表示する。

(4) レポート成績一覧表示

提出の有無と成績の確認を容易にするため, 実習ごとのレポートの成績を一覧表示する。また, 出席回数とレポート提出回数との関係を把握するため, レポート成績の最後尾に出席回数を付加している。

(5) レポート成績編集

レポート成績 (ペーパー試験を含む) や出席データを大

量に登録する場合は「データのアップロード」が用いられる。しかし、アップロードしたデータの一部を編集したい場合や、少量のデータを登録したい場合は、元となる csv ファイルを書き換え、アップロードする作業は使いにくい。そこで、登録されているレポート成績を一覧表示し、成績を編集（変更、追加、削除）することによってデータベースの書き換えを行う。新規ユーザを追加する場合はユーザ ID と成績を入力することによってデータベースに追加できる。

(6) データのアップロード／ダウンロード

レポート成績（ペーパー試験を含む）や出席簿のデータをデータベースに登録する場合や、システム障害に備えてバックアップをコマンドラインから行なうと、作業時間がかかる。そこで、教員が授業で利用している csv ファイルのアップロードによってレポート成績や出席データの登録が可能である。また、授業名を入力することにより、レポート成績や出席データをテキストファイルとしてダウンロードできる。

4. 4 出席管理モジュール

出席の管理と登録が提供される。教員は(1)教室レイアウト登録、(2)授業日程登録、(4)出席一覧と編集、(5)自作 LMS 出席登録が利用可能である。学生は(3)出席登録が利用可能である。

(1) 教室レイアウト登録

座席表による出席登録を行うためには、あらかじめ教室のレイアウトを登録する必要がある。教室名、座席の行数、列数を入力し、通路や柱などの入力禁止位置の設定を行い、教室レイアウトをデータベースに登録する。登録後の編集も可能である。

(2) 授業日程登録

出席登録を行うためには授業日程を登録する必要がある。授業名、教室名、授業実施日、出席開始・終了時刻を入力すると、授業日程がデータベースに登録される。登録後の編集や追加も可能である。また、コースウェア名と出席時刻を入力することにより、自作 LMS の問題に回答すると学習履歴を基に自動で出席登録を行うことも可能である。

(3) 出席登録

学生が授業名を入力すると、授業名に対応する教室の座席表が表示される。自分の座席位置をチェックすると、出席開始・終了時刻内であるかが判定され、授業名、ユーザ ID、出席時刻、座席位置をデータベースに登録する。授業時間外に登録ボタンを押した場合や、既に出席が登録されている場合は、警告のメッセージが表示される。

(4) 出席一覧と編集

教員が授業名を入力すると、データベースから出席データ（ユーザ ID、授業実施日、出席時刻、座席位置）が取得され、ユーザ ID ごとに授業実施日の出席時刻が一覧表示される。授業実施日を入力すると、データベースから教室レイアウトが取得され、座席位置にユーザ ID が表示さ

れる。

出席登録を忘れた学生や遅刻者などを出席扱いにする場合、データベースからコマンド操作で変更する作業は時間がかかるため、一覧の表示によって、該当箇所の直接編集が可能である。履修中止の学生は、ユーザ ID を入力すると出席データが削除される。追加欄にユーザ ID 名と授業実施日を入力することで追加も可能である。補講などによる授業実施日の編集も可能である。

(5) 自作 LMS 出席登録

座席表や点呼による出席登録は、授業内容と直接関係のない作業である。出席登録の作業を省略するため、LMS による問題回答後の学習履歴を基に、ログを用いた出席登録が可能である。ログを用いた出席登録は、まず、自作 LMS の成績データから対象となるコースウェアの学習履歴を読み取り、自作 LMS 識別 ID、実施時刻を抽出する。次に、ユーザ対応表（図 3）から自作 LMS 識別 ID に対応する XOOOPS 識別 ID を取得し、実施時刻が出席時刻を過ぎていなければ出席として自動登録する。

5. 運用と効果

開発したポータルサイト⁸⁾にアクセスするとメニューが表示され、学内からプログラミングの授業で運用できる。全てのモジュールは XOOOPS ユーザ認証のログインで動作が確認できる。教員と学生とはログイン後のメインメニューが異なる。また、自作 LMS と Moodle は単独での動作も可能である。

5. 1 自作LMSの動作

図 6 は自作 LMS の問題回答画面である。単独で運用した場合も同じ画面となる。学生が左フレームのコースウェア名を選択すると、中央と右フレームにそれぞれ問題と回答選択肢が表示される。学生は問題に回答することで授業内容の理解を深めることができる。また、プログラミングの作成のヒント、実習後の問題回答として利用できる。

5. 2 Moodleの動作

学生がコースウェアを選択すると、図 6 と同様の画面が表示される。但し、図 6 の左フレームのコースウェア名と

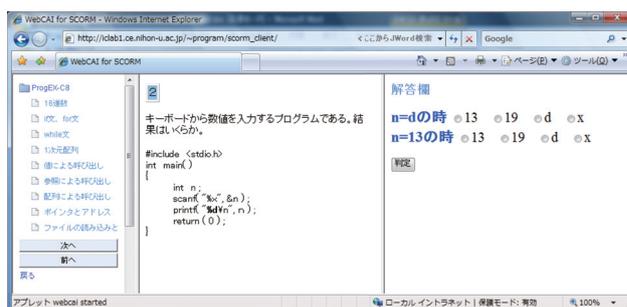


図 6 自作LMSの動作



図7 総合成績表示 (学生:204XXX)

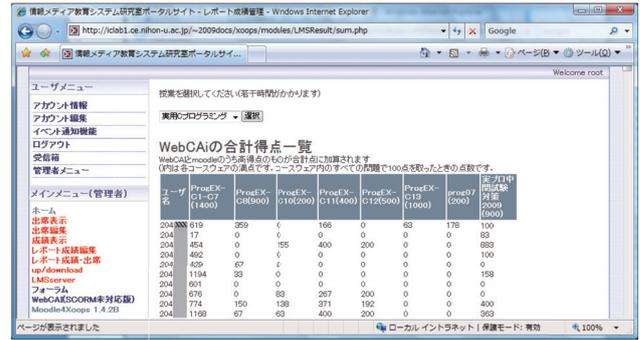


図9 LMS合計点表示 (教員)

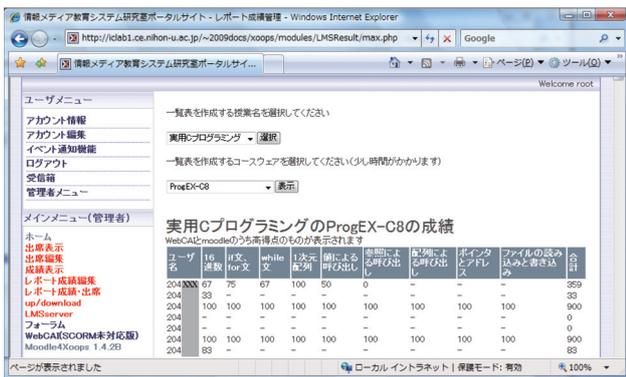


図8 LMS最高点表示 (教員)



図10 レポート成績表示 (教員)

問題名は英文で表示される。自作 LMS と同一の問題が登録してあるため、中央と右フレームには図6と同一内容の問題と回答選択肢が表示される。PC 環境によって自作 LMS の利用できない学生でも利用できる。

5. 3 成績管理の動作

ログイン後、学生は(1)総合成績表示だけが利用できる(図7左フレームのメインメニュー参照)。教員は(1)総合成績、(2)LMS 最高点、(3)LMS 合計点、(4)レポート成績一覧が利用できる。また、メインメニューからアップロード/ダウンロードを選択すると、レポート成績や出席データがデータベースに登録/取得できる(図8左フレームのメインメニュー参照)。

(1) 総合成績表示

図7の右フレームは学生(204XXX)の総合成績を示している。上段から自作 LMS 成績、Moodle 成績、レポート成績と出席回数が一元的に表示されている。自作 LMS 成績は16進数を2回試行し、1回目は16.67点、2回目は66.67点である。これに対して Moodle 成績は Hexadecimal number の問題から Call by reference の問題までの最高点 (Moodle では試行回数は不明) が表示されている。レポート成績 (ペーパー試験を含む) は全て提出され、最後尾の出席回数は13回を示している。これによって、学習状況や提出物が確認でき、得意分野や不得意分野が把握できる。

(2) LMS 最高点表示

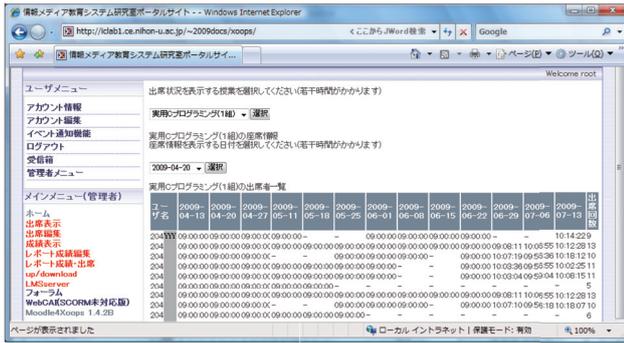
図8の右フレームはコースウェア名 ProgEX-C8 の LMS 最高点表示の画面である。自作 LMS と Moodle とを統合した問題ごとの最高点が表示されている。図7の学生(204XXX)の16進数は、自作 LMS の66.67点と Moodle の Hexadecimal number の問題の33.33点を比較し、自作 LMS の67点が表示されている。また、if 文 for 文から参照による呼び出しまでは、Moodle の成績である。それ以降は回答していないためハイフンが表示されている。これによって、教員は学生の LMS 成績を容易に把握できる。最後尾には最高点を合計した359点が表示されている。

(3) LMS 合計点表示

図9は LMS 合計点である。(a)の学生(204XXX)のコースウェア名 ProgEX-C8 (900)の合計点は359点である。(900)は(問題数×100点)を示している。これによって、教員はコースウェアの難易度が把握でき、LMS 総得点率とレポート成績との関係が分析できる。

(4) レポート成績一覧表示

図10はレポート成績一覧(ペーパー試験を含む)である。レポート成績は5点満点であるが、P08、P13、P14には100点満点のペーパー試験の成績が表示されている。空欄は未提出や未受験である。レポート成績の最後尾に出席回数が表示されている。これによって、出席回数とレポートの提出回数の確認、学生全体の学習状況が把握できる。



(a) 出席一覧



(b) 出席表

図11 出席表示(教員)

5. 4 出席一覧の動作

図 11 (a)は出席一覧の画面である。教員が授業名を入力すると、ユーザ名ごとに、授業実施日の出席時刻が一覧表示される。出席登録されていない場合はハイフンが表示され、最後尾には出席回数が表示されている。2009-04-13 から 2009-06-22 までは出席簿のデータをアップロードし、出席時刻を 09:00:00 として登録している。2009-06-29 から 2009-07-13 は自作 LMS の学習履歴による出席である。表 2 は出席登録の条件である。コースウェアと締め切り日を記述したデータベースとログを LMS サーバで読み取るにより、自動で出席が登録される。204YYY の学生は ProgEX-C8 のコースウェアを 11:15 以内 (10:14) に回答しているため、2009-07-13 は出席となっている。これによって、授業中の出席登録の作業が省略できる。通常の出席登録は出席表や点呼など、授業内容と無関係な作業

表 2 出席登録条件の例

開講日	コースウェア	締め切り
2009-06-29	String1	11:15
2009-07-06	String2	11:15
2009-07-13	ProgEX-C8	11:15

が必要である。自作 LMS の学習履歴を出席登録と結びつけることにより、LMS による学習の機会が増加した。また、データの不整合がなくなり、効率良い学習管理ができた。

図 11 (b)は「授業実施日」を入力した画面である。2009-07-13 の座席位置であり、出席人数は 56 人である。教員は遅刻者、早退者、騒々しい学生の座席位置が容易に把握でき、授業中に学生を指名できる。出席人数は授業資料の印刷枚数に役立てられる。

5. 5 LMSの学習効果

2009 年前学期の終わりに、100 人の学生に対して LMS が「講義、レポート、ペーパー試験」にそれぞれどの程度役立ったかという 4 段階評価のアンケートを行った。図 12 はその結果である。縦軸は合計人数に対する 4 段階評価の割合を示している。中間値を 3 とする 5 段階評価では、3 を「役に立つ」「役に立たない」のどちらに含めるかで問題となるため、中間の無い 4 段階評価にした。濃い ■ は役に立たない。やや濃い ■ はどちらかと言えば役に立たない。薄い □ はどちらかと言えば役に立つ。□ は役に立つを示している。LMS は講義の理解にどちらかと言えばを含めて役立つが全体の 80% である。レポートに関しては 75%、ペーパー試験に関しては 61% である。この結果、LMS は毎週の講義やレポートの作成に役立っていると考えられる。

復習として用いた LMS の成績と、授業内容の理解を示すレポート成績を用いることで、LMS の学習効果を確認できる。そこで、LMS の総得点率とレポートの総得点率とを次式で求めた。

$$\text{LMS の総得点率} = \frac{\text{ある学生の LMS 合計点}}{\text{全コースウェアの問題数} \times 100 \text{点}} \quad (1)$$

$$\text{レポートの総得点率} = \frac{\text{ある学生のレポート成績の合計点}}{\text{総レポート数} \times 5 \text{点}} \quad (2)$$

式(1)は 1 問を 100 点としたときの、ある学生の 1 問当りの正規化得点 (最高で 1.0) を示している。この値が高

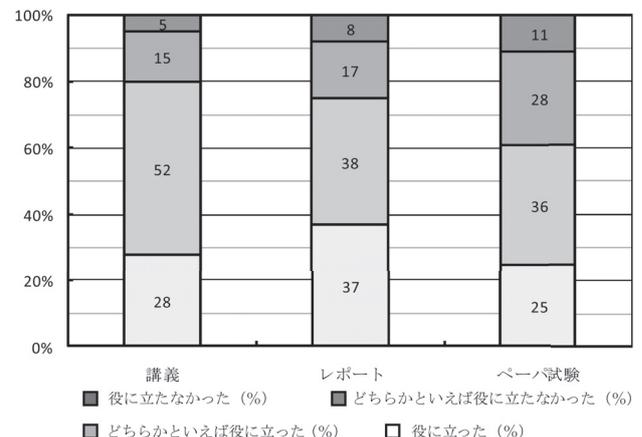


図12 LMSは何に役立つか？

い学生は LMS 学習を得意とするため、講義内容を理解している指標となる。式(2)はレポート1通の最高点は5点として、分母は最高で12回×5点/回=60点満点、分子は学生の合計点を示している。従って、式(2)はある学生のレポート1通当たりの正規化得点(最高で1.0)を示している。この値が高い学生は、授業内容を理解した上でオリジナルなプログラムやレポートを書いている指標となる。

図13はLMSの総得点率とレポートの総得点率との関係である。図中の破線は式(1)の平均値(35%)と、式(2)の平均値(55%)のラインである。LMSの総得点率が35%以上の学生の多くは、レポートの総得点率が55%以上となっている。これらの学生は、LMSの得点が高く、レポート成績も高い学生で、講義と実習を得意とする学生である。またLMSでの学習結果がレポート成績に反映されている学生である。LMSの総得点率が35%未満で、かつレポートの総得点率が55%以上の学生は、LMSの学習を行わなくてもレポート成績が高い学生である。これらの学生はレポートを得意とする学生であるが、他人から教わって、プログラミング実習を行った学生なども含まれる。また、LMSの問題回答後に表示される解説が、よりよいレポート作成の手助けになった学生と考えられる。次に、LMSの総得点率が35%未満で、かつレポートの総得点率が55%未満の学生は、学習効果の上まらないプログラミングの講義と実習を不得意とする学生である。講義及びLMSでの学習がレポート作成の手助けにならず、理解力が不十分な学生と考えられる。これらの学生の理解度を向上させるためには、LMSコンテンツの内容などをよりわかりやすいものにする必要があると考えられる。以上のことから、レポートの総得点率が55%以上の学生に対してはLMSによる学習が理解度の向上に貢献していると考えられる。

学生に対するアンケートの結果と、LMSの総得点率とレポートの総得点率との関係から、LMSによる学習が理解度の向上に有効であることが確認できた。

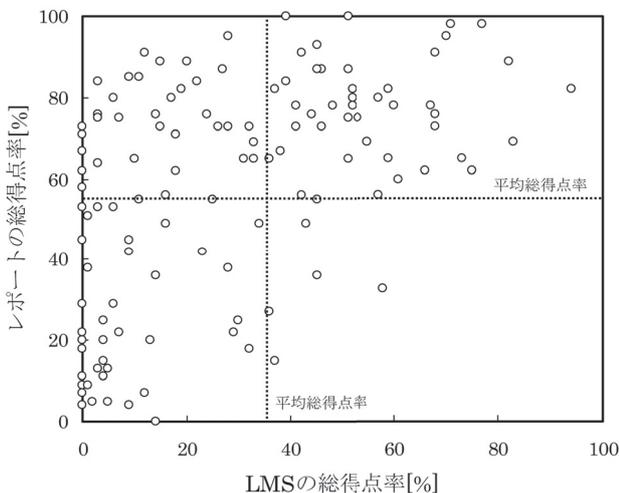


図13 LMSの総得点率とレポートの総得点率との関係

6. まとめ

自作LMS, Moodle, XOOPSのユーザテーブルを個別に扱うことによって、複数のシステムが独立しているため、従来のシステムをそのまま利用することができた。また、ユーザ対応表を用いてユーザテーブルを一元化し、コンテンツ対応表を用いて複数LMS(自作LMSとMoodle)の成績を統合化したシステムとして利用することができた。プログラミングの授業を対象に運用した結果、自作LMS成績とMoodle成績、レポート成績、出席回数を一元的に表示することによって、得意分野や不得意分野が容易に把握できるようになった。最高点と合計点を表示することによって、教員は学生全体の学習状況の把握が容易になった。更に、授業中に自作LMSを用いて問題回答した学習履歴を出席データとして利用することにより、出席登録が省略できた。

学習支援システムの普及に伴い、様々な学習データがPC上で扱われているが、データを統合するためには、従来のシステムの独立性と再利用が犠牲になっている。本大学のポータルサイトでもLMSや出席管理などの学習データは管理できる。しかし、システムが変更される度に学習データの更新と利用法の習得を行わなければならない、普及につながらない。本研究で述べた対応表を用いた提案法は、システムの独立性を保ちながら従来の学習データが統合管理できるため、今後のポータルサイトの開発、運用に大いに役立つものと考えられる。

参考文献

- 1) 加藤, 江木: “ブレンディッド学習による情報リテラシー教育”, 東京農工大学大学教育ジャーナル, 5, pp.9-16, 2009年3月.
- 2) 井関, マッキンケネスジェームス: “Moodle用自動・半自動出席ブロックの作成”, 東京情報大学研究論集, 12, 1, pp.33-37, 2008年9月.
- 3) 藤原, 島宗: “教育用Webサイト構築におけるコンテンツ・マネージメント・システム(CMS)の利用”, 鳴門教育大学学校教育実践センター紀要, 19, pp.173-176, 2005年2月.
- 4) 龍昌治: “LMSを活用した授業実践”, 愛知大学情報メディアセンター紀要, 20, 1, pp.40-51, 2010年2月.
- 5) 米満, 他13名, “MoodleとXOOPSを基盤とし大学の要求を考慮した学習管理システムの開発と運用”, 情報処理学会, 48, 4, pp.1710-1720, 2007年4月.
- 6) 田口, 他4名: “プログラミング演習評価と講義反応を連携させた理解の契機の抽出”, 電子情報通信学会論文誌D, J91-D, 2, pp.345-357, 2008年2月.
- 7) 日本大学工学部, Webページ, <http://www.ce.nihon-u.ac.jp/>
- 8) 情報メディア教育研究室ポータルサイト, Webページ, <http://iclab1.ce.nihon-u.ac.jp/~2009docs/xoops>

付 録

本論文で記述した用語についての解説を以下に示す。

- * 1 LMS (Learning Management System) : e ラーニング学習教材の配信や成績の管理を行う学習管理システムを示す。
- * 2 コンテンツ : e ラーニングにおいては一つ一つの教材を示す。
- * 3 ポータルサイト : 複数のシステムや学習データを入り口として, アクセス権をユーザに与えたプラットフォームを示す。
- * 4 CMS(Contents Management System) : 教材を含む学習データを統合・管理するシステムを示す。
- * 5 自作 LMS : 本研究で開発したサーバとクライアントの各プログラムが java で作成された世界標準規格である SCORM2004 対応型の LMS である。
- * 6 Moodle : オープンソースの SCORM 対応の LMS の一つであり, PHP 言語で開発されている。従来, BlackBoard という有料システムで提供されていたが, オープンソースとなって, 無料で自由に利用できるようになった。
- * 7 モジュール : XOOPS は統合化を目的としたシステムを構築するためのアプリケーションプログラムの一つである。一つの機能をもったシステムの単位はモジュールと呼ばれる。従って, 一つのモジュールは一つのシステムで構成される。
- * 8 プラットホーム : LMS などのソフトウェアを動作させるために必要な基盤となるソフトウェアを示す。
- * 9 XOOPS (eXtensible Object Oriented Portal System) : XOOPS とは, GNU 一般公有使用許諾書に基づいて開発されたオープンソースの CMS の一つであり, ユーザが必要とする機能をモジュールとして開発することによってシステムが完成する。
- * 10 SCORM(Sharable Content Object Reference Model) : LMS の総合的な運用性を高めるために策定された, e ラーニングにおける共通化のための標準規格である。SCORM1.2 と SCORM2004 が存在し, 最新バージョンは SCORM2004 で, 学習の順序付けやデータの共有が可能である。
- * 11 csv(Comma Separated Values) ファイル : EXCEL など用いられているファイルの保存形式で, データがカンマで区切られたテキストファイルを示す。
- * 12 外部キーと主キー : データベースのテーブルにおいて, 他のテーブルの主キーとなっている項目が外部キーである。テーブルが個別となっているデータベースでは, 外部キーを介して他のテーブルが参照できる。
- * 13 コースウェア : ある特定分野を体系的に修得できるようにした問題や教材の集合を示す。
- * 14 マニフェストファイル : LMS で提示する複数のコンテンツの提示順番を並べたコースを構成するための XML(eXtensible Markup Language) ファイルである。

Au/PMMA/Ta 構造の電流－電圧特性と電気伝導

池田 正則*, 末永 勝也*, 清水 博文*, 鈴鹿 敢**, 吉沢 友和***

Current - voltage characteristics and electric conduction of Au/PMMA/Ta structure

Masanori Ikeda, Katsuya Suenaga, Hirofumi Shimizu
Isamu Suzuka and Tomokazu Yoshizawa

Abstract

The current-voltage (I - V) characteristics and the electric conduction of Au / poly methyl methacrylate (PMMA) /Ta sandwich structure were investigated. The PMMA thin films prepared by spinner method were annealed at 80, 130 and 180°C. For the PMMA thin film annealed at 180°C, the I - V characteristic showed symmetrical behavior with direction of applied bias. On the other hand, for the PMMA thin film annealed at 80 and 130°C, the I - V characteristics of Au / PMMA /Ta displayed features dependent on bias direction. For the reverse bias condition, when the Au electrode was negative with respect to the Ta base, the current was much less than that for the forward bias condition, implying that larger energy barrier existed at the Au/PMMA interface. The electrical conduction for the reverse bias was Schottky - type and the barrier height at the Au/PMMA interface was calculated to about 0.93eV.

1. はじめに

近年、導電性^{1,2)}、光導電性²⁾、発光²⁻⁴⁾など、さまざまな機能性を持つ有機材料が生み出され、小型固体コンデンサ、太陽電池、液晶や有機 EL ディスプレイ、有機薄膜トランジスタ⁵⁻⁷⁾などへの応用がなされている。このような有機エレクトロニクスは液体材料を用いることから製造コストが低く、フレキシブルな基板上に作製することができる特徴を持つ。この中でポリメタクリル酸メチル(poly methyl methacrylate : PMMA)は、非線形な光学特性を持ち光ファイバー材料として研究⁸⁻¹⁰⁾されているほか、電気的には比誘電率^{2.63²⁾}、ギャップエネルギー^{5.6eV¹¹⁾}をもつ絶縁体(誘電体)であり、スピンコート法により薄くピンホールのない薄膜作製が可能ことから有機薄膜トランジスタのゲート絶縁層やバッファ層への適用が報告^{6,7)}されている。ところで、電気電子材料として用いられている誘電体薄膜の電気的特性は、デバイスに用いる場合、電極材料によって大きく異なってくる¹²⁻¹⁴⁾。小型固体コンデンサ

の誘電体層に用いられている、陽極酸化法で作製したタンタル酸化物(Ta_2O_5)やニオブ酸化膜(Nb_2O_5)を金属材料で挟み込んだ金属/ (Ta_2O_5, Nb_2O_5) /金属構造素子では、電極金属の仕事関数および電極金属の酸化により金属/ (Ta_2O_5, Nb_2O_5) 界面の電位障壁の大きさに違いが生じる。このため、素子の電流－電圧(I - V)特性は使用する電極金属に依存して整流特性またはバイアス方向依存性の無い特性を示す¹²⁻¹⁴⁾。有機エレクトロニクスにおける誘電体材料としてPMMA薄膜の利用を考えたとき、その電気的特性を明らかにすることは非常に重要である。本研究では、スピンコート法によって形成したPMMA薄膜によりAu/PMMA/Ta構造を作製し、その I - V 特性について調べた。その結果、PMMA薄膜形成におけるアニール温度によって I - V 特性に違いが生じ、アニール温度80°Cおよび130°Cで作製したPMMA薄膜を用いたAu/PMMA/Ta構造では整流性を示した。さらに、Au/PMMA/Ta構造における電気伝導機構としてショットキー型伝導について検討した。

平成22年11月8日受理

* 日本大学工学部電気電子工学科

** 日本大学工学部生命応用化学科

*** 北海道大学創成研究機構

2. 実験

試料基板には、石英板上にスパッタ法で厚さ約4000ÅのTa薄膜を形成したものをを用いた。PMMA薄膜の形成

はスピコート法で行った。PMMA 溶液は、平均分子量 11,000 の PMMA 粉末 100 mg をジクロロエタン 2 mL に溶解して作製した。この PMMA 溶液をスピナーに設置した試料表面に塗布し、スピナー回転速度を所望の値にセットして 10 秒間回転させ、基板上に均一な膜を形成した。また、塗布後に温度 80°C、130°C、または 180°C でアニールを行って溶媒を揮発させた。その後、PMMA 薄膜上に円形 Au 電極を形成し Au/PMMA/Ta 構造とした。

PMMA 薄膜の膜厚および屈折率は、溝尻光学工業所社製のエリプソメータ DVA-36S を用い、He-Ne レーザ(波長 $\lambda = 632.4$ nm) を光源として測定した。この測定には、石英板上に PMMA 薄膜を形成したものをを用いた。Au/PMMA/Ta 構造の $I-V$ 特性測定は、接地した銅の暗箱中に試料を設置し、Keithley614 エレクトロメータを用いて行った。ここでは、Au 電極に正電圧を印加した場合を順方向バイアス、負電圧を印加した場合を逆方向バイアスと定義する。測定に使用した円形 Au 電極の半径は 0.45 mm である。

3. 実験結果および考察

3.1 スピナー回転数による膜厚制御

図 1 に、スピコート法にて PMMA 溶液を塗布後、80°C で 20 分間のアニールをして形成した PMMA 薄膜について、スピナー回転速度と PMMA 膜厚および屈折率の関係を示す。PMMA 薄膜の膜厚は回転速度の増大と共に減少しており、回転速度によって膜厚の制御が可能である。屈折率は回転速度によらず約 1.2 であり、光学的な膜質の違いはみられない。バルクとしての PMMA の屈折率は 1.49 と報告²⁾されており、今回作製した PMMA 薄膜の屈折率はバルクの値よりも小さく、膜の緻密度が低いことを示している。ローレンツ-ローレンツの式¹⁵⁾を用いて PMMA 薄膜の緻密度を計算したところ、0.36~0.53 と

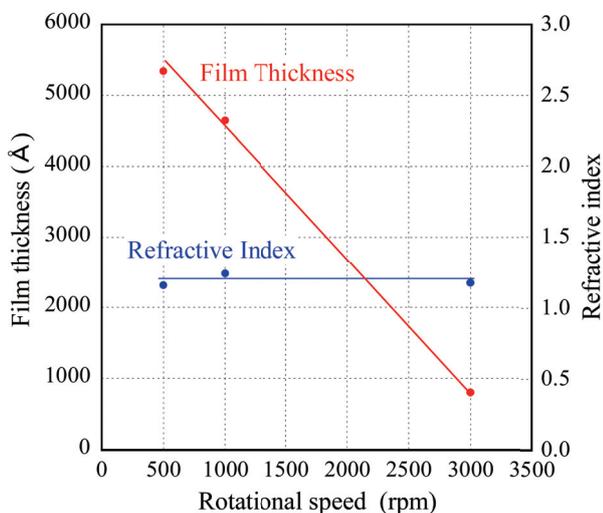


図1 スピナー回転速度とPMMA薄膜の膜厚および屈折率の関係

計算された。アニール温度 80°C で形成した PMMA 薄膜の構造はアモルファスであることから、薄膜内において PMMA 高分子の配向性は無く、それぞれの高分子で異なった回転や曲がりも生じていると推察される。また、溶媒に使用したジクロロエタンの沸点は約 57°C であり、膜中には残存していない。これらの理由から、緻密度が低いことは PMMA 薄膜内に多くの空孔が存在していることを示している。このように空孔が多く存在している膜の誘電率は小さい値になることが懸念される。

3.2 Au/PMMA/Ta構造における $I-V$ 特性

図 2 に、スピナー回転速度 500rpm で塗布し、温度 80°C、130°C および 180°C でアニールした PMMA 薄膜を用いて作製した Au/PMMA/Ta 構造の $I-V$ 特性を示す。PMMA 薄膜の膜厚は、アニール温度 80°C、130°C および 180°C で、それぞれ 5290Å、4830Å、および 4730Å、また屈折率はそれぞれ 1.17、1.21、および 1.23 であった。アニール温度の増大と共に膜厚は減少、屈折率はわずかに増大した。このことは、PMMA 薄膜内の空孔がアニール温度の増大により減少していることを示している。

順方向バイアスにおいて、アニール温度 80°C の試料では、印加電圧の増大により電流は緩やかに増大した。アニール温度 130°C の試料では印加電圧約 1V までは非常に小さい電流値であるが、電圧 1V を超えると電流は急激に増大した。また、アニール温度 180°C の試料では、約 2V で電流の急激な立ち上がりが生じている。

一方、逆方向バイアスにおいては、アニール温度 80°C および 130°C の試料において、電流は順方向バイアスに比較して小さく、印加電圧依存性は少ない。アニール温度 180°C の試料では、順方向バイアスと同様に約 2V で電流

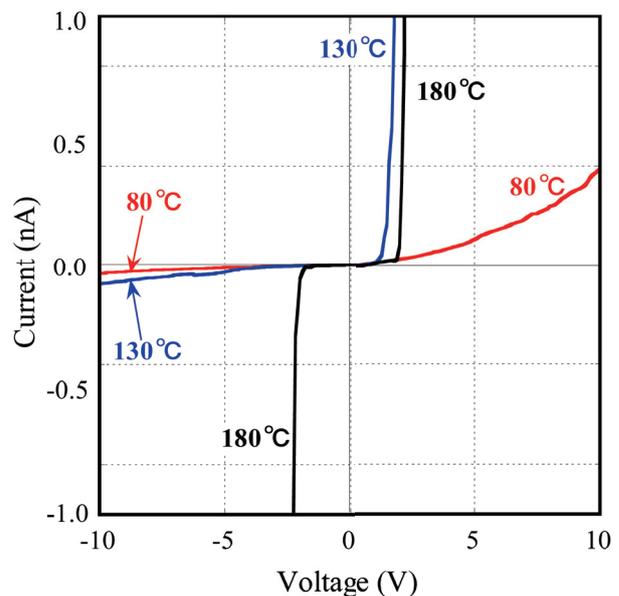


図2 Au/PMMA/Ta構造における $I-V$ 特性のアニール温度依存性

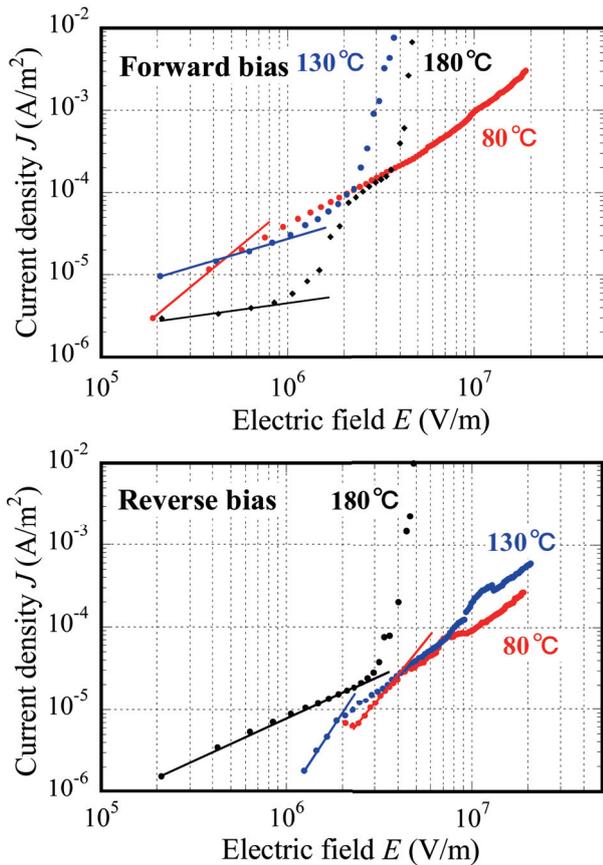


図3 Au/PMMA/Ta構造における J - E 特性の
アニール温度依存性

の急激な立ち上がりが生じており、バイアス方向による違いは見られない。

図3に、Au/PMMA/Ta構造における電流密度－電界(J - E)特性を順方向バイアスと逆方向バイアスに分けて示す。逆方向バイアスの電流密度と電界は絶対値で示した。図中に直線で示したように、いずれの特性においても低電界領域における電流密度は電界に比例して増大している。このオーミックな特性を示す低電界領域では電極からのキャリア注入が生じていないため、PMMA膜内に存在するキャリアの移動による電流である。このオーミック特性からずれてくる電界は、順方向バイアスおよび逆方向バイアスでそれぞれ $5 \sim 9 \times 10^5$ V/mおよび $2 \sim 3 \times 10^6$ V/mとなっており、逆方向バイアスの方が大きい値となっている。このことは、逆バイアスの方が、電極からPMMA薄膜へのキャリアの注入が高電界の印加で生じていることを示している。

以上のように、Au/PMMA/Ta構造における I - V 特性はPMMA溶液塗布後のアニール温度によって大きく異なる。アニール温度80°Cおよび130°Cの試料において I - V 特性は整流性を示した。この I - V 特性のバイアス電圧方向による違いは、PMMA薄膜を流れる電流が電子性伝導であり、Ta/PMMAおよびAu/PMMA界面に電位障壁が存在していることを示している。すなわち、順方向バイア

ス(Au電極に正電圧印加)において流れる電流は、Ta電極からPMMA薄膜への電子の注入によるものであり、逆方向バイアス(Au電極に負電圧印加)における電流は、Au電極からPMMA薄膜に注入された電子によるものであるが、Ta/PMMAおよびAu/PMMA界面の電位障壁の大きさの違いにより I - V 特性に差が生じていると考えられる。

順方向バイアスにおける I - V 特性において、アニール温度80°Cの試料に比べて130°Cおよび180°Cの試料では大きな電流が流れている。これは、アニール温度の増大によりTa/PMMA界面の電位障壁が小さくなり、低い電圧印加でTaからPMMAへ容易に電位障壁を越えて電子が注入されるようになったことを意味している。すなわち、アニール温度の増大によりPMMA薄膜またはTa/PMMA界面の電子状態に変化が生じていることを示している。また、このアニール温度130°Cおよび180°Cの試料における印加電界強度2～4MV/mでの急激な電流の立ち上がりは絶縁破壊を生じさせる降伏現象と考えられる。実際、これらの試料について再度 I - V 特性を測定したところ、オーミック特性となり絶縁膜としての機能は無くなった。この絶縁破壊電界強度2～4MV/mは報告されているPMMAバルクの絶縁破壊強度1000 MV/m¹⁶⁾に比較して非常に小さく、薄膜にした場合には絶縁破壊強度が低下している。この降伏現象については、TaからPMMA薄膜へ注入された電子が高電界の印加によって加速され、電子雪崩を生じさせたと推察される。

逆方向バイアスでは、アニール温度80°Cおよび130°Cの試料において、順方向バイアスに比べて電流は小さい。この事実はAu/PMMA界面に存在する電位障壁の大きさがTa/PMMA界面に存在する電位障壁に比べて大きく、Au側に存在する電子は容易にこの電位障壁を超えられないことを示している。このAu/PMMA界面とTa/PMMA界面における電位障壁の大きさの違いの要因の一つとして、AuとTaの仕事関数¹⁷⁾の違いが挙げられる。AuおよびTaの仕事関数は、それぞれ5.1eVおよび4.25eVである。界面における電位障壁の大きさは、電極金属とPMMA薄膜の仕事関数差により決まるため、Au/PMMA界面にはTa/PMMA界面よりも大きい電位障壁が存在していると考えられる。しかしながら、アニール温度180°Cでは、約2Vの電圧印加で大きな電流が流れるようになり、Au/PMMA界面の電位障壁が低下している。アニール温度の増大によるAu/PMMAおよびTa/PMMA界面の電位障壁の低下や降伏現象については薄膜内のPMMA高分子の配向・曲がり・軸方向の回転などがアニール温度で異なってくることで、または電極との界面における電子状態の変化が考えられる。今後、吸光率測定や原子間力顕微鏡での表面観察、X線光電子分光法等による表面分析により明らかにしていきたい。

3.3 電気伝導機構の検討

電子性伝導の機構には、界面に存在する大きな電位障壁が電極から誘電体中へのキャリア放出を律速するショット

キー型伝導機構, および誘電体内の欠陥や不純物による準位がキャリアのトラップとなり, この準位で生じる電位障壁の大きさが電気伝導を支配するプール・フレネル型電気伝導の二つがある。Au/PMMA/Ta 構造において流れる電流は印加電圧方向により異なるため, 電極として用いた Au および Ta が電気伝導に関わっていると考えられる。ここでは, 降伏現象の生じた特性を除いた $I-V$ 特性について, ショットキー型電気伝導機構^{16,18)}を検討した。

ショットキー型伝導は, 電極金属から絶縁体(誘電体)薄膜への熱電子放出によるものである。この熱電子放出は, 電極金属-PMMA 薄膜界面に存在する電位障壁(ショットキー障壁)を越えて電子が移動することを意味する。このときの電流密度 J は, ショットキー障壁高さを ϕ_D , 電界を E とすると,

$$J = \frac{4\pi m_e k_B^2 T^2}{h^3} \exp\left(-\frac{\phi_D}{k_B T}\right) \exp\left(\frac{\beta_s E^{1/2}}{k_B T}\right)$$

と表される。ここで, m_e は電子の質量, k_B はボルツマン定数, T は絶対温度, h はプランク定数, β_s はショットキー係数である。この式は以下の様に変形することができる。

$$\ln(J) = \frac{\beta_s}{k_B T} \sqrt{E} + \ln AT^2 - \frac{\phi_D}{k_B T}$$

ただし, A はリチャードソン-ダッシュマン係数

$$A = \frac{4\pi m_e k^2}{h^3}$$

である。つまり, 縦軸を $\ln(J)$, 横軸を \sqrt{E} としたショットキープロットを行ったとき, ショットキー型伝導であれば線形の関係を得る。

図4に, アニール温度 80°C および 130°C の逆方向バイアスにおけるショットキープロットを示す。高電界領域において \sqrt{E} と $\ln(J)$ は線形の関係にある。このショットキー型伝導と考えられる領域は逆方向印加電圧 5V 以上(電界

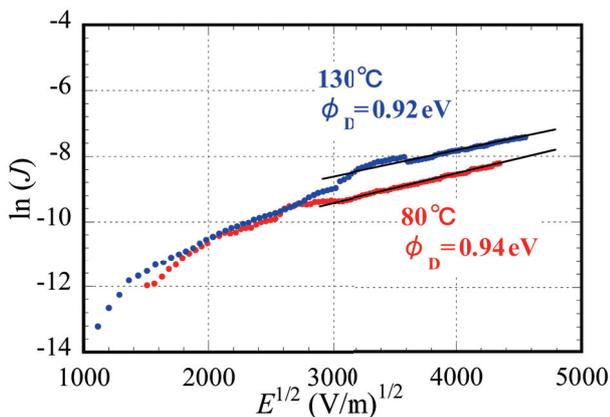


図4 逆方向バイアスにおけるショットキープロット

10 MV/m) であり, 印加電圧 5V を超えると Au 電極から PMMA 薄膜へ電位障壁を越えて電子が注入していると考えられることができる。Au のリチャードソン-ダッシュマン係数を $A = 40 \times 10^4 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deg}^{-2}$ とし¹⁶⁾, ショットキープロットの直線部分を用いて求めた Au/PMMA 界面における電位障壁の大きさ ϕ_D は, アニール温度 80°C および 130°C で, それぞれ 0.94 eV および 0.92 eV となった。

図5に, アニール温度 80°C で作製した試料の順方向バイアスにおけるショットキープロットを示す。逆方向バイアスと同様に, 高電界領域で線形の関係が確認できる。この直線領域のデータから求まる電位障壁の大きさ ϕ_D は 0.88 eV である。この値は逆方向バイアスにおける Au/PMMA 界面の電位障壁高さ約 0.93 eV と比較して小さいものの, 図3に示した $J-E$ 特性において順方向バイアスと逆方向バイアスでの電流密度の差が 1 桁あることや, Au と Ta の仕事関数差 0.85 eV を考えると Ta/PMMA 界面の電位障壁高さを示しているとは考えにくい。つまり, ショットキープロットにおける \sqrt{E} と $\ln(J)$ の線形関係のみではショットキー型電気伝導と判断できない。Ta/PMMA 界面に存在する電位障壁が小さい場合, 電界印加により Ta から PMMA へ電子は容易に放出される。アモルファスの PMMA 薄膜の場合, PMMA 高分子間には電位障壁が, 膜中には不純物による準位が存在すると推察されるため, 順方向バイアスにおける電気伝導は, 膜中に存在する電位障壁を乗り越えながらキャリアが移動するホッピングモデルや不純物準位を介してキャリアが移動するプール・フレネル型伝導を考慮する必要がある。

図6は, 本実験で得られた結果から考えられる Au/PMMA/Ta 構造 (PMMA 薄膜のアニール温度 80°C および 130°C) におけるエネルギーバンドモデルを示す。測定された $I-V$ 特性では, 逆方向バイアスにおける電流が順方向バイアスに比べて小さい。このことから, Au/PMMA 界面には Ta/PMMA 界面にくらべて大きい電位障壁が存在しており, 容易に Au から PMMA へ電子の注入は起こらない。この電流はショットキー型電気伝導であり, ショット

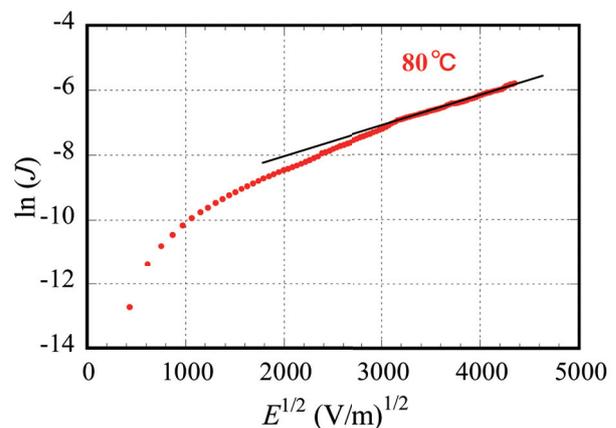


図5 アニール温度80°Cの試料における順方向バイアスのショットキープロット

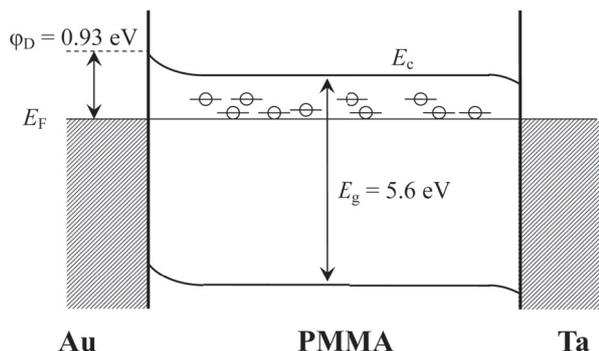


図6 Au/PMMA/Ta構造試料におけるエネルギーバンドモデル(アニール温度80℃および130℃)

トキープロットから電位障壁の大きさは約0.93 eVと見積もられた。報告されているPMMAのギャップエネルギーは5.6 eVであり、電位障壁の大きさ0.93 eVを考慮すると、作製したPMMA薄膜はn型半導体的なエネルギーバンド構造となり、図中に示したように、PMMA薄膜内には多くのドナー準位が存在していると考えられる。順方向バイアスを印加した場合には、Ta/PMMA界面に存在する電位障壁が小さいため、比較的小さい電圧印加でTaからPMMAへ電子が注入される。PMMA薄膜がn型半導体的でありPMMA薄膜内に多くのドナー準位が存在すると仮定すると、順方向バイアスの電気伝導はドナー準位によるキャリアのトラップと放出に電流が律速されるプール・フレネル型伝導となるものと推察される。

4. まとめ

PMMA薄膜の電気的特性を明らかにするため、Au/PMMA/Ta構造を作製し、そのI-V特性を調べた。PMMA薄膜形成におけるアニール温度によってI-V特性は異なり、アニール温度80℃および130℃で作製したPMMA薄膜を用いたAu/PMMA/Ta構造では整流性を示した。これは、Ta/PMMA界面に存在する電位障壁と比較してAu/PMMA界面の電位障壁が大きいことを示している。逆方向バイアスにおける電気伝導はショットキー型であり、Au/PMMA界面の電位障壁高さは約0.93 eVと求められた。アニール温度180℃の試料では、順・逆方向バイアス共に2～4 MV/mの電界強度で絶縁破壊挙動が見られた。アニール温度による電気的特性の違いはPMMA膜およびTa, Au/PMMA界面の電子状態に深く関わっていると考えられるため、今後物性面を含めた検討を行っていく。

謝 辞

本研究の一部は、平成21年度日本大学学術研究助成金一般研究(共同研究)助成を受けて行いました。関係各位に

感謝いたします。

参考文献

- 1) 小林征男：導電性高分子の応用展開，シーエムシー出版，2009.
- 2) 堀江一之，谷口彬雄：光・電子機能有機材料ハンドブック，朝倉書店，p. 14, p.408 (1995).
- 3) Y. Sakuratani, M. Asai, M. Tokita, S. Miyata : Enhanced electron injection and electroluminescence in poly(N-vinyl carbazole) film doped with ammonium salt, *Synthetic Metals*, 123, pp. 207-210 (2001).
- 4) C. C. Yang, C. -J. Hsu, P. -T. Chou, H. C. Cheng, Y. O. Su, and M. Leung : Exited State Luminescence of Multi-(5-phenyl-1,3,4-oxadiazole-2-yl) benzenes in an Electron-Donating Matrix : Exciplex or Electroplex, *J. Phys. Chem. B*, 114, pp. 756-768 (2010).
- 5) L. L. Chua, J. Zaumseil, J. F. Chang, E. C. -W. Ou, P. K. -H. Ho, H. Sirringhaus, and R.H. Friend : General observation of n-type field-effect behaviour in organic semiconductors, *Nature*, 434, pp. 194-199 (2005).
- 6) S. Z. Bisri, T. Takahashi, T. Takenobu, M. Yahiro, C. Adachi, and Y. Iwasa : Ambipolar Field-Effect Transistor of High Photoluminescent Material tetraphenylpyrene(TPPy) Single Crystal, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 46, pp. L596-L598 (2007).
- 7) P. Liu, Y. Wu, Y. Li, B. S. Ong, and S. Zhu : Enabling Gate Dielectric Design for All Solution-Processed High-Performance, Flexible Organic Thin-Film Transistors, *J. Am. Chem. Soc.*, 128, pp. 4554-4555 (2006).
- 8) M. G. Kuzyk, U. C. Paek, and C. W. Dirk : Guest-host polymer fibers for nonlinear optics, *Appl. Phys. Lett.*, 59, pp. 902-904 (1991).
- 9) A. Skumanich, M. Jurich, and J. D. Swalen : Absorption and scattering in nonlinear optical polymeric systems, *Appl. Phys. Lett.*, 62, pp. 446-448 (1993).
- 10) X. Xingsheng : Stimulated Raman spectrum threshold in poly(methyl methacrylate) optical fibers, *Opt. Commun.*, 199, pp. 89-93 (2001).
- 11) D. I. Son, C. H. You, J. H. Jung, and T. W. Kim : Carrier transport mechanisms of organic bistable devices fabricated utilizing colloidal ZnO quantum dot-polymethylmethacrylate polymer nanocomposites : *Appl. Phys. Lett.*, 97, pp. 13304 1-3 (2010).
- 12) H. Shimizu, F. Sugeno, S. Nishimura, H. Endo, and M. Honda : Electrical Characterization of Anodically Oxidized Ta₂O₅ Films, *J. Electrochemistry*, 72, pp. 737-742 (2004).
- 13) 菅野不二男，清水博文，池田正則：陽極化成法により形成したTa₂O₅薄膜の電気的特性，日本大学工学部

- 紀要, 第45巻, 第2号, pp. 83-89 (2004).
- 14) 柳沼寛寿, 佐藤裕史, 池田正則, 清水博文, 飯田和幸, 遠藤英治, 濱良樹, 柴崎陽子: Au/Nb₂O₅/Nb 構造における電流 - 電圧特性の温度依存性, 日本大学工学部紀要, 第47巻, 第2号, pp. 17-23 (2007).
 - 15) T. Nishide, and M. Shibata: Orientation and Surface Properties of Sol-Gel Derived Y₂O₃ Films, J. Sol-Gel Science and Technology., 21, pp. 189-193 (2001).
 - 16) 田中守也: 誘電体現象論, 電気学会, pp. 230~233, p. 274 (1995).
 - 17) H. Michaelson: The work function of the elements and its periodicity. J. Appl. Phys. 48, p. 4729 (1977).
 - 18) P. Hesto: Instabilities in Silicon Devices, Silicon Passivation and Related Instabilities, ed. G. Barbottin, A. Vapaille (North-Holland), pp. 263-314 (1986).

表面光電圧法による多結晶シリコン薄膜の結晶性評価

池田 正則*, 清水 博文*, 高松 弘行**, 迫田 尚和**

Evaluation of crystallinity of poly-Si thin film with surface photovoltage method

Masanori Ikeda, Hirofumi Shimizu, Hiroyuki Takamatsu and Naokazu Sakoda

Abstract

We investigated the new evaluation method due to surface photovoltage (SPV) to characterize the crystallinity of poly-silicon (Si) thin films with the thickness of 50nm. SPV was detected by irradiating the blue (wavelength $\lambda=470\text{nm}$) or ultraviolet ($\lambda=365\text{nm}$) photon beam onto the poly-Si thin films. The obtained SPV corresponded to the grain size of poly-Si thin films and was closely related with the reflective microwave intensity measured by the microwave photoconductive decay method. A schematic energy band diagram was proposed to explain the above-mentioned experimental results.

1. まえがき

近年、フラットパネルディスプレイ (Flat Panel Display : FPD) 型のテレビが急速に普及し、大画面化、画素の細密化、画面表示の高速化が進められてきた。これらの FPD には、液晶、有機 EL、無機 EL、およびプラズマディスプレイ等のタイプがある。アクティブマトリクス型の FPD¹⁾における各画素の動作は、厚さ 50nm ほどの半導体シリコン (Si) 薄膜内に作り込んだ薄膜トランジスタ (Thin Film Transistor : TFT)²⁾により行われるため、TFT は FPD の性能を左右する大変重要な素子となる。現在、TFT を構成する材料の主流はアモルファス Si である。アモルファス Si 薄膜はプロセス温度 100 ~ 300°C で大面積のガラス基板上に一樣で容易に低コストで形成できる。しかし結晶粒径が小さいため電子移動度²⁾が $0.1 \sim 1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ と小さく、高性能 FPD は実現しにくい。一方、電子移動度が $300 \sim 700 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ である単結晶 Si は 800 ~ 1000°C の高温形成であるために石英ガラス基板上にしか形成できず、コストなどの点から一般向け FPD への使用は難しい。このことから結晶粒径が比較的大きく、プロセス温度が 100 ~ 1000°C であり、電子移動度が $100 \sim 150 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ である多結晶 Si が注目を集めている。TFT を多結晶 Si 薄膜中へ形成した場合、アモルファ

ス Si に比べて電子移動度が優れていることから配線幅や配線量を減少でき、また TFT の小型化による光透過率の向上が可能であり、高精度で低消費電力の FPD を実現できる。また低温形成が可能であることから、基板に安価な無アルカリガラスが使用でき、幅広い製品に適用できる。今後は特に中型、及び小型の携帯ディスプレイ装置において多結晶 Si TFT が主流になっていくと考えられる。

多結晶 Si 薄膜は、アモルファス Si 薄膜を基板に堆積させた後、エキシマレーザアニールによって結晶化して形成される。この結晶化工程は、FPD の画像の質に大きく関わるため、均一な結晶粒径の薄膜を大面積で実現することが要求される。この多結晶 Si 薄膜の結晶性の評価には、現在、キャリア生成による反射マイクロ波強度の変化から結晶性評価を行うマイクロ波光導電減衰 (Microwave Photoconductive Decay : μ -PCD) 法³⁻⁶⁾が用いられているが、ボトムゲート型構造の TFT²⁾ではマイクロ波の反射強度の変化が検出できないため、多結晶 Si 薄膜の結晶性評価に高感度の新しい評価方法が必要とされている。

交流表面光電圧 (Alternating Current Surface Photovoltage : AC SPV) 法⁷⁻⁹⁾は、半導体集積回路製造における単結晶 Si ウェーハの表面状態、金属汚染検出を非接触で間接的に与える手法である。AC SPV 法では、Si 表面に励起光を照射したときに発生する少数キャリアの挙動 (生成と再結合) から表面ポテンシャルを求めることが出来る。もし、FPD に用いられる多結晶 Si 薄膜に光照射したとき、発生したキャリア (電子正孔対) が膜の厚さ方向で分離し、そのキャリア密度が多結晶 Si 薄膜の結晶粒径に依存するなら

平成22年11月8日受理

* 日本大学工学部電気電子工学科

** (株)神戸製鋼所

ば、AC SPV 法による多結晶 Si 薄膜の結晶性(結晶粒径)の評価が可能である。

本研究では、Si 単結晶ウェーハの表面状態評価用として作製した SPV 測定装置を用い、結晶性の異なる領域を持つ厚さ約 50nm の多結晶 Si 薄膜について SPV 測定を行った。その結果、発生する SPV は多結晶 Si 薄膜の結晶性に対応しており、また、 μ -PCD 法による測定結果とも良い対応を得た。本手法により、多結晶 Si 薄膜の結晶性評価が可能であることを示した。

2. 実験

2.1 実験装置

図1は本研究で使用した SPV 測定装置の模式図⁵⁾を示す。この SPV 測定装置は、Si 単結晶ウェーハにおける表面状態の評価用に作製したものであり、Si 単結晶ウェーハ全面を検出部である石英板で覆って SPV を測定する構造となっている。SPV 励起光源には波長 $\lambda = 470\text{nm}$ の青色発光ダイオード(Light Emitting Diode : LED)及び波長 $\lambda = 365\text{nm}$ の紫外 LED を用い、これをファンクションジェネレータから出力した周波数 $f = 1\text{kHz}$ の矩形波により動作させた。励起光は試料表面に焦点が合うようにレンズで収束される。SPV は試料表面とそれに対向した膜厚約 1250\AA のインジウム・錫・酸化膜(ITO膜)透明電極で構成されるコンデンサを介した容量結合により検出される。透明電極は $20\text{cm} \times 10\text{cm}$ 角で厚さ 2cm の石英板の上下面に形成されている。上面は接地されていてシールドの役目を果たしており、下面は試料表面と対向した SPV 検出用電極である。測定は、ステンレス試料台に試料を置き、試料に厚さ $16\mu\text{m}$ のマイラフィルムを被せ、更に透明電極をのせて行った。下部透明電極で検出した SPV をプリアンプで 100 倍した後、オシロスコープを用いて波形観察、またはロックインアンプで AC SPV を測定した。本論文で示した SPV は、すべてプリアンプで 100 倍した値で示している。今回の測定では、波長 470nm 及び 365nm の LED 共に励起電圧の最大値を 4.0V として動作させた。このときの光パワーは、波長 470nm の LED では 0.27mW 、波長 365nm の LED では 0.30mW であった。SPV の検出は接地した暗箱中で行い、外部からの光によるノイズの影響を極力抑制してある。

2.2 試料

図2は、本研究で用いた多結晶 Si 薄膜試料の模式図である。ガラス基板の上に堆積された膜厚約 50nm のアモルファス Si 薄膜にエキシマレーザーアニールを行い、結晶性の異なる5つの多結晶 Si 領域(領域①~⑤)が形成されている。また、領域⑥はレーザーアニールを施していないアモルファス Si 領域である。

図3は、電界放射走査型電子顕微鏡(日本電子社製 JSM-6500F)を用いて、加速電圧 5kV で得た各領域における5万倍の試料表面像である。黒く見られる領域が結

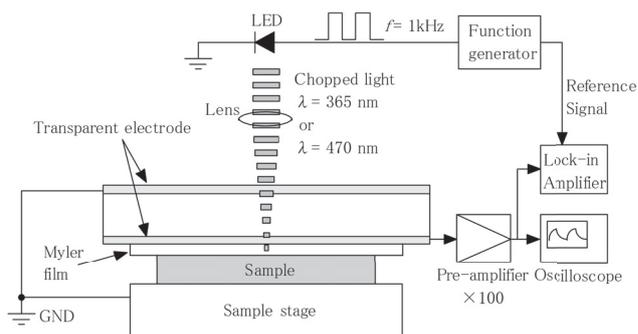
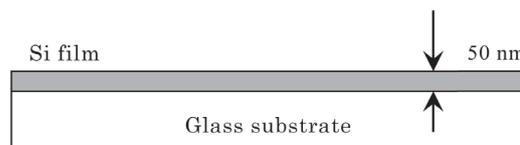
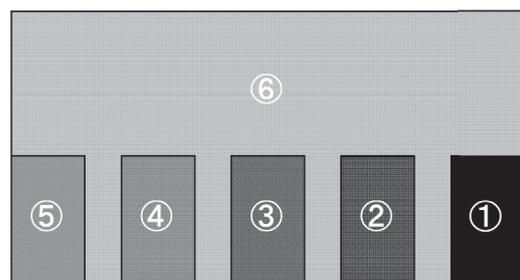


図1 SPV測定システムの概略



(a)断面図



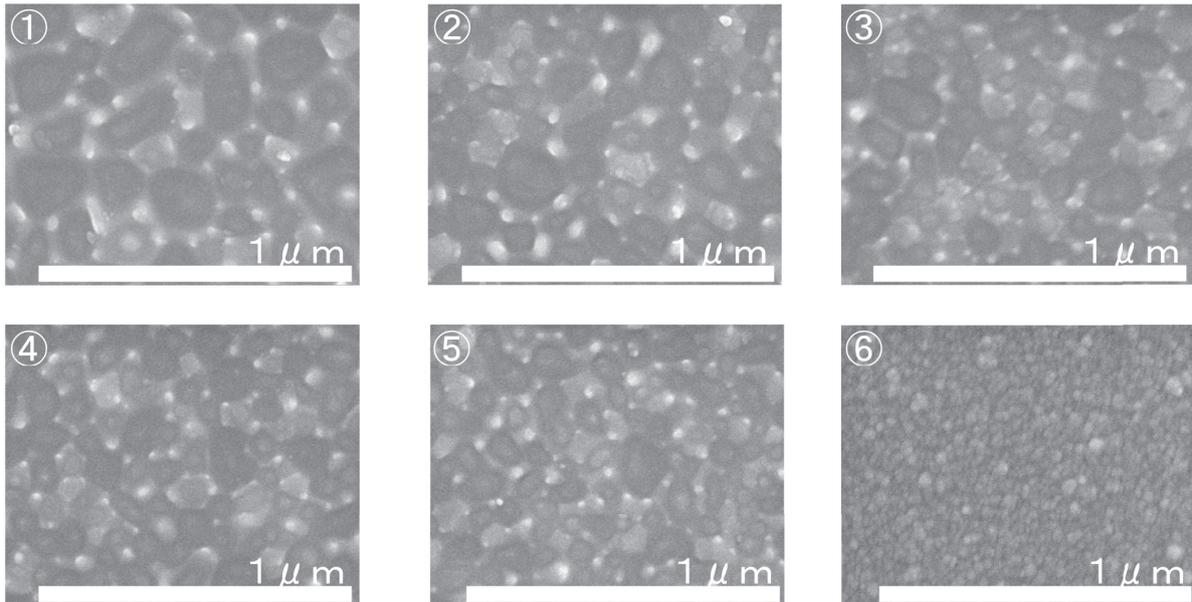
(b)平面図

図2 測定試料

晶化した部分であり、領域①が最も結晶粒径が大きく $100 \sim 200\text{nm}$ 、最も結晶粒径の小さい領域⑤で $50\text{nm} \sim 100\text{nm}$ である。したがって領域①~⑤においては結晶粒径が膜厚約 50nm よりも大きく、膜厚方向では単一の結晶粒になっていると推察される。それぞれの領域において結晶粒径にばらつきがあるものの、領域①→②→③→④→⑤の順番に結晶粒径が小さくなっていることが見て取れる。また、領域⑥はレーザーアニールを施していないアモルファス Si 領域であり、膜厚に比べて小さなサイズの結晶粒による膜構造であることが分かる。

3. 結果及び考察

図4及び図5に、それぞれ波長 470nm 及び 365nm の励起光を用いて得られた各領域における SPV 波形を示す。SPV 波形の比較を容易にするため、縦軸の SPV 値は等間隔でシフトさせて示した。LED 光を照射していない(LED OFF)時の SPV はほぼ 0V であり、光照射(LED ON)によって SPV は増大し、ある一定値で飽和する。これは光



結晶粒径 大①>②>③>④>⑤>⑥小

図3 多結晶Si薄膜(①から⑤)及びアモルファスSi薄膜(⑥)表面の電界放射走査型電子顕微鏡像

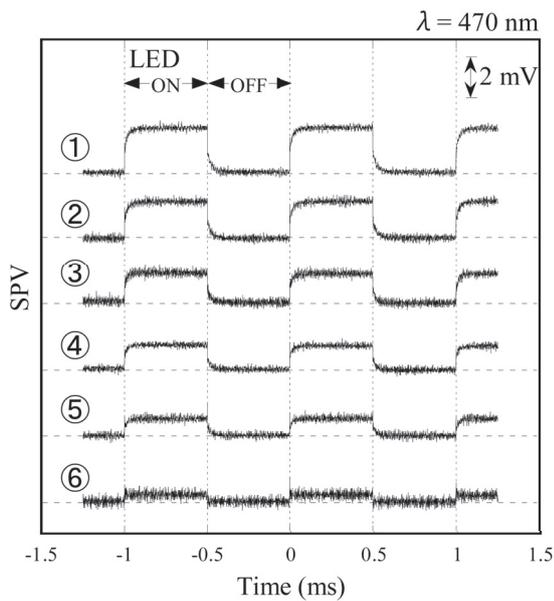


図4 結晶性の異なる各領域で得られたSPV波形 (励起光波長 $\lambda = 470 \text{ nm}$)

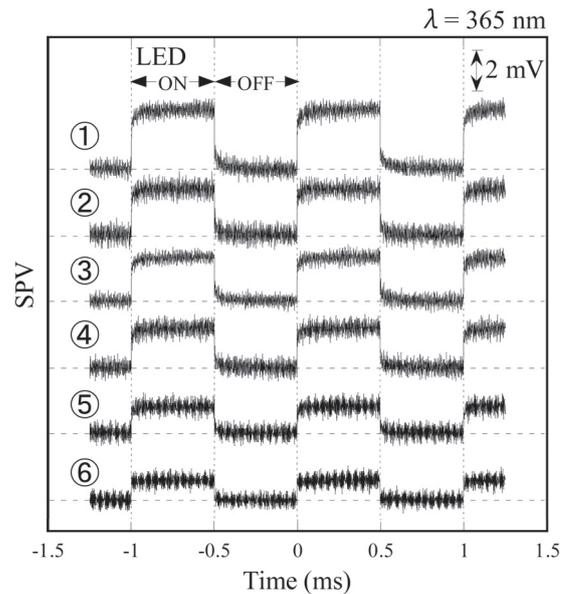


図5 結晶性の異なる各領域で得られたSPV波形 (励起光波長 $\lambda = 365 \text{ nm}$)

照射によって多結晶 Si 薄膜内に生成されたキャリア(電子正孔対)の電荷分離が生じていることを示している。また、光照射を止めると(LED OFF)、生成された電子正孔対は再結合によって消滅し、SPVは減衰し0Vとなった。励起光照射による正のSPV発生は、表面が空乏・反転状態となったn型SiウェーハにおけるSPV波形と同様である。すなわち、励起光照射によって生じた電子正孔対の内、正電荷の正孔は多結晶Si薄膜表面に移動し、負電荷の電子は表面から膜厚方向に遠ざけられて電荷分離し、正の

SPVが発生している⁹⁾。したがって、多結晶Si薄膜におけるエネルギーバンドは、空乏・反転したn型Si単結晶表面と同様であり、多結晶Si表面から厚さ方向に下に曲がっていると判断できる。図4及び図5から分かるように、波長470nm及び365nm、いずれの励起光を用いた場合でも光照射開始から0.1msec未満でSPVは増大し、ある一定のSPVに飽和した。飽和時のSPVは、結晶粒径の大きい領域①において最も大きく、②、③、④、⑤の順に小さくなっている。また、アモルファス領域である領域⑥の

SPVは非常に小さい。更に、SPV波形の立ち上がり及び立ち下りの部分では、結晶粒径が大きいほど飽和するまでの時間が長い傾向が伺える。

図6は、各多結晶Si領域における、照射した時のSPV波形のピーク電圧SPV_{p-p}を示している。波長470nm及び365nmの励起光を用いたいずれの場合でも、結晶性に依存したSPV_{p-p}が得られている。また、波長365nmの励起光を用いた場合の方が、波長470nmの場合に比べてSPV_{p-p}は大きい。これは、Si薄膜への励起光の侵入長の違いによるものと考えられる。Si中への光の侵入長は光の波長に比例しており、光の波長が長いほど大きい。本研究で使用した波長470nm及び365nmの光のSi

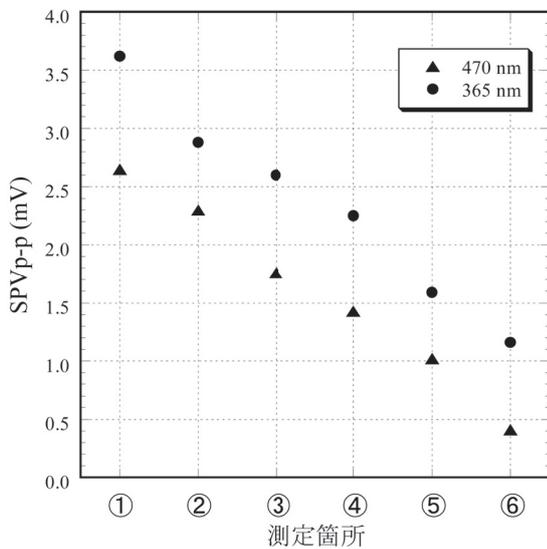


図6 結晶性の異なる各領域におけるSPV_{p-p}とその励起光波長による差

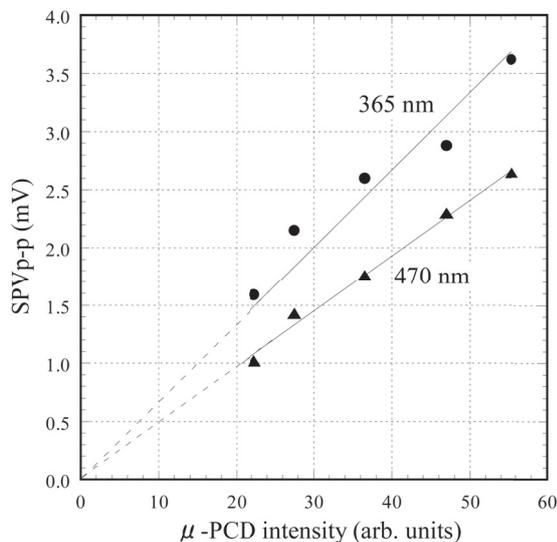


図7 差動μ-PCD法による反射マイクロ波強度とSPV_{p-p}の関係

への侵入長は、それぞれ約300nm及び10nmである。¹⁰⁾測定試料のSi薄膜の厚さは約50nmであり、波長470nmの光はSi薄膜内で電子正孔対を発生させるものの、一部はSi薄膜を透過する。一方、波長365nmの励起光を用いた場合は、多結晶Si薄膜内において効率よく電子正孔対を発生でき、より大きいSPVが得られたといえる。

図7は、現在、FPD製造において多結晶Si薄膜の結晶性評価に使用されている差動μ-PCD測定³⁾による反射マイクロ波強度とSPV_{p-p}の関係を示す。波長470nm及び365nm、いずれの励起光においても反射マイクロ波強度とSPV_{p-p}はほぼ比例関係にあり、SPV法により結晶性評価が可能であることが示された。また、波長365nmの励起光を用いた場合のSPV_{p-p}の方が反射マイクロ波強度の変化に対する変化量は大きく、結晶性の検出分解能は波長365nmの光源の方が高い。

図8は、多結晶Si領域における厚さ方向のエネルギーバンドモデルを示している。図4及び図5に示したSPV波形から、多結晶Si薄膜の結晶粒内ではn型Si単結晶と同様の電荷分離が生じており、多結晶Si表面から厚さ方向にバンドは下がっている。多結晶Si薄膜の厚さは結晶粒径よりも小さい約50nmであることから、バンドの傾きは直線的と推察され、このバンドの傾きは多結晶Si薄膜表面に形成された自然酸化膜中や自然酸化膜/多結晶Si薄膜界面に負電荷が存在することにより生じていると考えられる。このバンドの傾きは照射によって生じるSPVに直接関係するため、表面に存在する負電荷量を変えるように様々な表面処理を施した試料や異なる構造の試料についてデータを取得していき、SPVとの関係を明らかにしていきたい。

図9は、多結晶Si薄膜表面における平面方向のエネルギーバンドモデル²⁾を示している。図8と同様の理由で、多結晶Siの結晶粒内をn型Siとして描いてある。多結晶

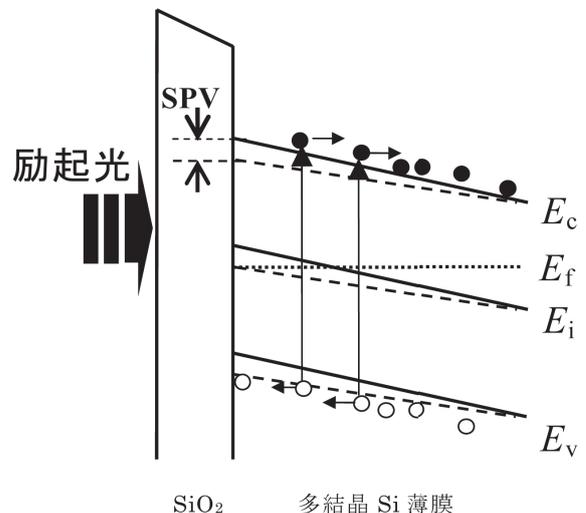


図8 多結晶Si薄膜における厚さ方向のエネルギーバンドモデル

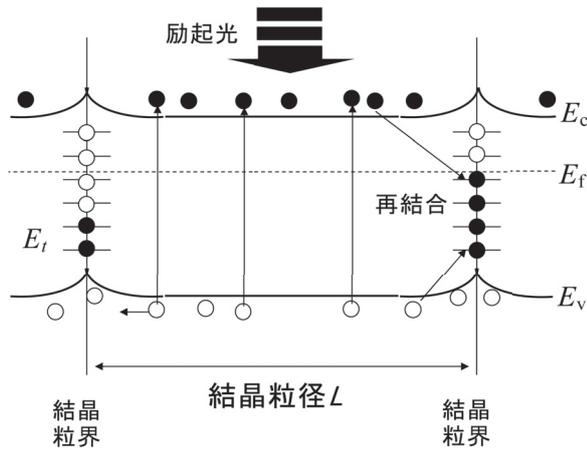


図9 多結晶Si薄膜表面における平面方向のエネルギーバンドモデル

Si 薄膜は、レーザーアニールによる結晶化の際、始まりとなる核が膜内にランダムに発生し、成長した結晶粒と結晶粒の間には結晶粒界が存在する。この結晶粒界では Si 原子の結合が不完全であり、多くの未結合手が存在することから、再結合中心として働く捕獲準位 E_t が禁制帯中に多く存在する。この捕獲準位 E_t はアクセプタとして働き、結晶粒界は p 型 Si 的なエネルギーバンドをとる。励起光照射によって発生した電子正孔対の内、正孔は多結晶 Si 薄膜表面へと移動する。この正孔は、薄膜表面の SiO_2/Si 界面に存在する再結合中心で一部は消滅するものの、正孔密度の低い結晶粒界方向へと拡散していく。したがって、結晶粒径が大きいほど (結晶性が良いほど) 生成された正孔が拡散により結晶粒界まで達する時間が長くなり、すなわち正孔の寿命は長くなることから、大きな SPV を発生すると考えられる。このキャリアの挙動については AC SPV 周波数特性を取得して調べていく予定である。

図10は、少数キャリア (正孔) の寿命と SPV の関係を説明している。前述したように、SPV は光照射によって励起された電子正孔対の分離によって生じ、分離されたキャリアは多結晶 Si 薄膜の結晶粒界に多く存在する再結合中

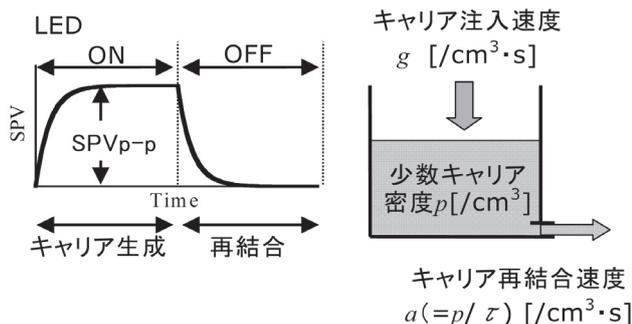


図10 SPV波形とキャリアの挙動、および少数キャリア密度 p と寿命 τ の関係

心において再結合により消滅する。光照射によるキャリアの生成速度を g [$\text{cm}^3 \cdot \text{s}$], キャリア再結合速度を a [$\text{cm}^3 \cdot \text{s}$], 及び膜内のキャリア密度 (正孔密度) を p [cm^3] とすると、正孔密度 p の時間変化は、

$$\frac{dp}{dt} = g - a = g - \frac{p}{\tau}$$

となる。ここで τ は、正孔の寿命である。SPV は、正孔密度 p に比例することから、

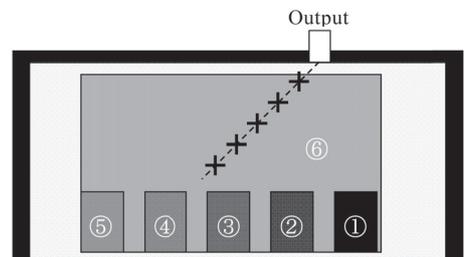
$$\text{SPV} \propto g\tau \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right)$$

となる。ここで、励起光のパルス幅が寿命 τ に比較して大きい ($\tau \ll t$) と、

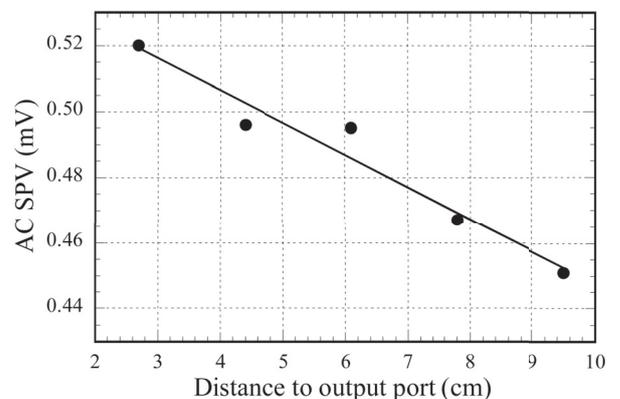
$$\text{SPV} \propto g\tau$$

となり、SPV はキャリア生成速度 g と寿命 τ に比例する。測定条件として励起光のパワーを一定とすれば、キャリア生成速度 g は一定値となるため、測定される SPV は寿命 τ に比例することになる。アモルファス Si 薄膜では、膜厚に比較して小さい結晶粒であるため、膜厚方向及び膜の面内方向で多くの界面準位が存在しており、容易に少数キャリアは再結合によって消滅する。したがって、少数キャリアの寿命は小さくなることが理解できる。

図11は、試料で最も広い面積を持つアモルファス Si 薄膜部分における石英電極の SPV 出力端子からの距離と AC SPV (ロックインアンプにより測定) の関係を示してい



(a)アモルファスSi領域におけるAC SPV測定位置(+印の点を測定)



(b)出力端子からの距離とAC SPVの関係

図11 出力端子からの距離とAC SPVの関係 (アモルファスSi領域)

る。図11(a)には測定位置の模式図を示した。図中の+印が測定箇所を示しており、SPV 出力端子から一直線上で端子からの距離を変えて測定を行った。図11(b)はその測定結果である。出力端子からの距離が大きくなるにしたがい、AC SPV は小さくなった。本来、アモルファス部分における SPV は一定であるべきだが、測定位置によって SPV に影響を及ぼすことを示している。これは、出力端子までの ITO 薄膜の抵抗に関係していると考えられる。ITO 薄膜を形成した石英板電極は、図中の黒色部分で示したように三方をアルミニウム箔で ITO 膜と接触させている。したがって、SPV 信号は励起光照射位置から最も近いアルミニウム部分までの距離に依存した ITO 薄膜の抵抗値に直接関係づけられると考えられる。装置の都合上、励起光照射位置を自由に選ぶことが出来ないため、図11(b)は出力端子からの距離による SPV の変化としているが、アルミニウム電極からの距離としても同様の傾向を示す。本研究で用いた SPV 測定装置は、Si 単結晶ウェーハ全面を石英板で覆う構造となっているため測定における自由度が少なく、光照射位置を固定(例えば図4から図7のデータを取得したように、石英板中心に測定箇所を固定)する必要がある。FPD に使用される大面積の多結晶 Si 薄膜の評価には、本研究で使用した装置では対応できないため、今後、励起光源と SPV 検出部を一体化して、非接触で平面走査が可能な小型の SPV プローブの開発を進めていく。

4. 結 言

SPV 法を用いて厚さ約 50nm の多結晶 Si 薄膜の結晶性評価を行った。得られた SPV は結晶粒径が大きいほど大きい。また、従来結晶性評価に用いられている μ -PCD 法による結果とも良い対応が得られ、SPV 法を用いた多結晶 Si 薄膜の結晶性評価が可能であることを示した。これらの結果についてエネルギーバンドモデルを用いて検討し、結晶粒径が大きいほど励起された少数キャリアが再結合中心の多く存在する結晶粒界までの拡散に要する移動時間が長くなる、すなわち少数キャリア寿命が長くなることを示した。また、SPV が少数キャリア寿命に比例することから、SPV と結晶粒径を関係づけた。キャリア励起に用いる光源の波長として、Si への光の侵入長と Si 薄膜の厚さを同程度とすることで、効果的に Si 膜内でキャリア励起することができ、感度の良い SPV 測定が可能である。今回用いた SPV 装置では試料位置や光照射位置に依存した SPV の差が生じる。今後、大面積の FPD における多結晶 Si 薄膜の結晶性評価に対応できるよう、非接触で平面走査可能な SPV プローブの開発を進めていく。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(C)(一般) No. 20560308 の助成により行われました。関係各位に感

謝いたします。また、電界放射走査型電子顕微鏡観察を行っていただいた次世代工学研究センター分析センターの菅島奈美さんに感謝いたします。

参考文献

- 1) B. J. Lechner, F. J. Marlowe, E. O. Nester, and J. Tufts: Liquid Crystal Matrix Displays, Proc. IEEE, 59, pp. 1566-1580 (1971).
- 2) 薄膜材料デバイス研究会: 薄膜トランジスタ, コロナ社, (2008).
- 3) 住江伸吾: TFT 用低温ポリシリコン薄膜の結晶性評価装置, こべるにくす, 14, pp. 13-15 (2005).
- 4) 住江伸吾, 高松弘行: 半導体プロセスにおける重金属汚染の検出—キャリアライフタイム測定装置—, 神戸製鋼技報, 52 (2), pp. 87-93 (2002).
- 5) 清水博文, 池田正則, 高松弘行: 光プローブを用いた酸化膜電荷の解析, 日本大学工学部紀要, 45(1), pp. 81-88 (2003).
- 6) 池田正則, 小泉勲, 吉田敏之, 石川卓磨, 清水博文: マイクロ波光導電減衰法及び表面光電圧法による熱酸化した Au 析出 n 型 Si ウェーハの少数キャリアライフタイムの評価, 日本大学工学部紀要, 49(1), pp. 55-60 (2007).
- 7) C. Munakata, S. Nishimatsu, N. Honma and K. Yagi: AC Surface Photovoltages in Strongly-Inverted Oxidized P-type Silicon Wafers, Jpn. J. Appl. Phys., 23, pp. 1415-1461 (1984).
- 8) H. Shimizu and C. Munakata: Nondestructive Diagnostic Method Using AC Surface Photovoltage for Detecting Metallic Contaminants in Silicon Wafers, J. Appl. Phys., 73 (12), pp. 8336-8339 (1993).
- 9) H. Shimizu, R. Shin, M. Ikeda: Behavior of Metal-Induced Negative Oxide Charges on the Surface of N-type Silicon Wafers Using Frequency-Dependent AC Surface Photovoltage Measurements, Jpn. J. Appl. Phys. 44, pp. 3778-3783 (2005).
- 10) E. D. Palik: Handbook of Optical Constants of Solids, Academic Press, (1985).

総合教育編

近交系ラットの行動比較

— 能動的回避学習 —

中津山英子*, 増井誠一郎**, 藤田 統***

Behavioral comparison in inbred strain rats

-Active Avoidance Learning-

Eiko NAKATSUYAMA, Seiichiro MASUI and Osamu FUJITA

Abstract

This study characterizes differences among five inbred strains of rats in active avoidance learning task. Data from five strains were compared: Tsukuba High Emotional (THE), Tsukuba Low Emotional (TLE), Spontaneously Hypertensive Rat (SHR), Wistar-Kyoto (WKY), and Brown Norway (BN). The TLE rats demonstrated the highest avoidance performance, while the WKYs, THEs, and SHRs demonstrated lower avoidance performance than that of the TLEs. The BN rats demonstrated very poor performance in this learning task. The strain difference in active avoidance learning was not consistent with the difference in reactivity to novel experimental environments.

Keywords : 近交系、ラット、能動的回避学習、情動性

1. 緒言

小動物であるラットは本来、地下に巣穴を作って生活する穴居性の動物であり、巣穴から外へ出る際の移動は、外敵に遭遇する可能性がある点で潜在的な捕食危険を伴う反応である。ラットの行動測定装置として長年用いられてきたオープンフィールド場面での行動には、隠れ場所のない開かれた場面内の探索と、場面からの逃避としての情動反応の2つの成分が含まれる¹⁾。

自然場面を模して考案された装置であるランウェイは、狭くて暗い巣穴にあたる出発箱と、広く明るい外にあたる走路部分から構成されている。ラットははじめ幅20cm、長さ25cm、側壁45cmで蓋をされた出発箱に30秒間閉じ込められる。次に走路部へのドアがあげられ、幅20cm、長さ125cm、側壁の高さ45cmの天井がない走路部への移動が自由になる。実験においてはドアがあげられてから5分間、走路部を25cmごとに通過区画数を測定した。この手

続きによって測定された通過区画数を指標として、Wistar系を母集団として選択交配が行われた。その結果として分離された2系統のラットが、Tsukuba高情動系(Tsukuba High Emotional strain: THE)とTsukuba低情動系(Tsukuba Low Emotional strain: TLE)である¹⁾。すなわち、広くて明るい外にあたる場面への移動反応が少ない系統がTHE、多い系統がTLEである。両系統は完全に分離しており、THEは出発箱からほとんど出ないのに対して、TLEの通過区画数は100以上であった。

Tsukuba情動系ラットについて、多数の行動比較がなされ²⁾、ランウェイだけでなくオープンフィールド、走路両端に暗い箱が設置されたI迷路でも系統差が示されている³⁾。Tsukuba情動系ラットの多数の行動比較結果については、Fujita, Annen, & Kitaoka⁴⁾が詳細に報告している。

Spontaneously Hypertensive Rat (SHR)は、Wistar-Kyoto系(WKY)より分離された系統である。SHRはヒトの本態高血圧モデル動物であり、成長にともなって、無処置で高血圧を発症する⁵⁾。

SHRは血圧の変異だけでなく行動にも特徴があり、正常血圧ラットとは異なる行動特性を示す。たとえばSHR^{6) 7)}はWKYよりもオープンフィールドでの移動活動量が多い。宮崎・畑山⁸⁾によれば、こうした行動特性と高血圧に関し

平成22年5月19日受理

* 日本大学工学部総合教育

** 日本ケミファ株式会社

*** 上武大学

て2つの考察がなされている。1つは行動特性と高血圧が無関連とし、行動特性は選択交配の過程で生じた偶然的産物とみなす説である⁹⁾。もう1つは何らかの生理機構を介して関連するとする説で、橋の青斑核ニューロンの機能的差異が心臓血管系と移動活動量の双方に影響するという見方¹⁰⁾と、高血圧自体が高移動活動量をもたらすという見方⁶⁾がある。さらに、WKYとBrown Norway系(BN)の行動を比較検討すると、オープンフィールドでの移動活動量はWKYでBNよりも多いことから、この2系統の行動を比較した例がある^{11) 12)}。

BNは他の実験用ラットから最も遠い遺伝学的な距離を持つという特徴が遺伝解析に便利な点や腫瘍がでやすい、アレルギーになりやすいなどの特徴からその感受性研究や遺伝研究に用いられることが多い^{13) 14)}。一方で、行動研究ではそう頻繁には使われていない^{15) 16)}。

他に、新奇場面での脱糞数を指標として選択交配されたMaudsley Reactive系(MR)、Maudsley Non Reactive系(MNR)¹⁷⁾、回避学習の成績を指標として選択交配されたRoman High Avoidance系(RHA)、Roman Low Avoidance系(RLA)等も近交系ラットとして存在するが、本研究では上記のTHEとTLE⁴⁾、SHRとWKY^{6) 7)}、およびWKYとBN^{11) 12)}というペアの比較研究を参考に、入手可能なこれらの5系統を比較検討する。オープンフィールド等の新奇場面とは異なる強度の嫌悪性の情動刺激である電気ショックを用いて、能動的回避学習場面における上記5系統のラットの行動を比較し、その特性を検討する。2系統ずつの行動比較は散見されるものの^{6) 7) 11) 12)}、5系統を一度に比較した例はこれまでにないため、各系統の特性を記述し近交系ラットの行動特性を知るものとする。すなわちこれまでの2系統ずつのペアで示された差異が、さらに多くの系統の中の比較においてどのように示されるかを知ることができる。またこれまでのところ、Tsukuba情動系の2系統間の比較は多数なされてきたものの、他系統との比較による特異性について検討が多くは試みられなかったので、特にTsukuba情動系ラットの嫌悪性学習場面での行動特性を他系統と比較検討する。

Matsuo & Tsuji¹⁸⁾、牧野¹⁹⁾が指摘するように、一般に近交系動物の行動比較としては歴史的にマウスの研究例が多く^{20) 21) 22) 23)}、ラットではそう多くなかった。^{24) 25) 26)}今後さらなる比較研究により各系統の行動特性の位置づけを示し、将来の実験目的に合う系統を選択できるよう備える必要がある。

2. 実験方法

今回の実験方法を被験体、装置、条件刺激および手続に分類して以下に述べる。

被験体：90日齢のTHE、TLE、WKY/CrJ、SHR/NCrJ、BN/CrJ各5系統の雄ラット各15匹、計75匹を用いた。各系統ともに集団ケージ内で飼育され、餌水は自由に摂取できた。照明は8～20時が明条件の12時間サ

イクルだった。

装置：40×20×19cmのシャトル式能動的回避学習装置を用いた。中央には仕切り用の壁があり、20×20×19cmの2つのコンパートメントに仕切られた。仕切り用の壁には7×7cmの出入り口が開いていた。条件刺激(CS)、無条件刺激(US)の提示、反応時間の測定などはNEC製パーソナルコンピュータPC-8801で制御、記録した。

手続き：CSとしてブザー音を5秒間提示し、CS消失と同時にUSとして床面のグリッドに2.0mAの電流を流した。被験体がCS提示中に出入り口を通過して隣のコンパートメントへ移動した場合、それを正の回避反応とし、CS、USを停止した。電気ショックが与えられてから隣のコンパートメントへ移動した場合、逃避反応として記録された。被験体は反応によって電気ショックを回避または逃避できるが、被験体がまったく反応しない場合には、25秒間電気ショックを受ける。試行間間隔は21～29秒になるように設定し、その間の試行間反応(ITR)としてコンパートメント間の移動を記録した。

訓練初日には、被験体を装置に馴化させるため15分間電気ショックなしで装置に入れ、移動反応と脱糞数を記録した。その後引き続き、回避学習の訓練を行った。1日50試行、連続3日間で合計150試行を行い、正反応数と反応潜時、脱糞数を記録した。

3. 実験結果

3日間の回避学習試行における正反応数について、10試行を1ブロックとし、その方法をFig.1に示した。

分散がほとんどないBNを除く4系統について、系統×日×ブロックの分3要因の分散分析を行った。その結果、系統($F(3,56)=13.46, p < .01$)、日($F(2,112)=54.18, p < .01$)、ブロック($F(4,224)=240.81, p < .01$)の有意な主効果、系統×ブロックの有意な交互作用が見られた($F(12,224)=3.33, p < .01$)。以降のすべての指標について、多重比較にはRyanの方法を用いた。

系統の主効果について多重比較の結果、TLEとSHR、THE、WKYとの間に有意差がみられ($p < .01$)、THEの正反応数が突出して高かった。同様に日の主効果について比較したところ、1<2、2<3、1<3日目間に有意差が見られ($p < .01$)、日ごとに正反応数が増えた。ブロックの主効果について比較した結果、ブロック1と2、3、4、5間、2と3、4、5間、3と4、5間、4と5間に有意差が見られ($p < .01$)、ブロックの経過ごとに正反応数が増えた。

系統×ブロックの交互作用についての単純主効果の検定の結果、ブロックごとの系統間(ブロック1から5まで順に $F(3,280)=6.43, p < .01, F(3,280)=14.13, p < .01, F(3,280)=16.86, p < .01, F(3,280)=13.41, p < .01, F(3,280)=8.80, p < .01$)、系統ごとのブロック間すべてに有意な主効果が見られた(THE、TLE、SHR、WKY、BNについて順に $F(4,224)=78.65, p < .01, F(4,224)=73.93, p < .01, F(4,224)=52.17, p < .01, F(4,224)=46.99, p < .01$)。多重比較の結

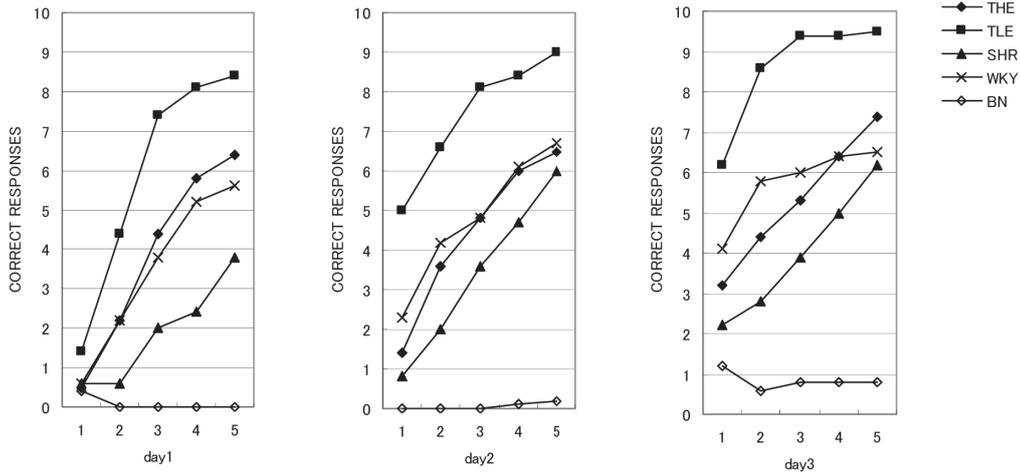


Fig.1 Mean number of correct avoidance in each strain.

果, ブロック 1, 3, 5 ではTLEと他の3系統との間に有意差があり ($p < .01$), ブロック 2, 4 ではそれに加えてWKYとSHR間にも有意差が見られた ($p < .01$)。THEではブロック 4-5間以外のすべてのブロック間に有意差が見られた ($p < .01$)。TLEでは3と5, 3と4, 4と5間以外のすべてのブロック間に有意差が見られた ($p < .01$)。SHRでは1と2間以外のすべてのブロック間に有意差が見られた ($p < .01$)。WKYでは4と5間以外のすべてのブロック間に有意差が見られた ($p < .01$)。THE, SHR, WKYもブロック経過にしたがって正反応数が増大したが, TLEに比較して増大の傾きが大きくなかった。

全体としてTLEで正反応数をもっとも多く, BNの正反応数が極めて少なかった。間に位置する3系統内の1日目の正反応数を見ると, THEがやや高く, 次いでWKY, 少し下にSHRが位置した。

Fig.2に3日間のITRを示した。ITRについて系統×日の2要因の分散分析を行ったところ, 系統の主効果 ($F(4,70) = 4.22, p < .01$), 日 ($F(2,140) = 6.45, p < .01$)の主効果, 系

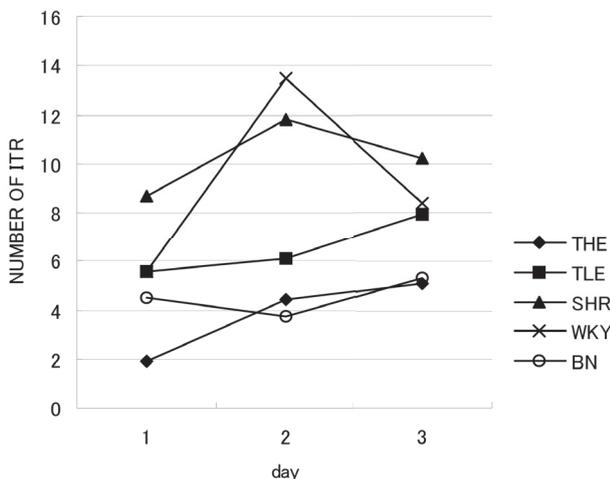


Fig.2 Mean number of ITR in each strain.

統×日の交互作用が有意だった ($F(8,140) = 2.28, p < .05$)。系統の主効果について多重比較したところSHR>THEおよびSHR>BNに有意差が見られた ($p < .05$)。日の主効果について多重比較の結果1<2日目, 1<3日目間に有意差が見られた ($p < .05$)。系統×日の交互作用について単純主効果の検定を行ったところ, 系統ごとではWKYにおいて有意な日の主効果が見られた ($F(2,140) = 10.72, p < .01$)。日ごとでは2日目に系統の主効果が有意だった ($F(4,210) = 6.94, p < .01$)。多重比較の結果, WKYで1<2日目間, 2>3日目間に有意差が見られた ($p < .05$)。他の系統に有意な日間差は見られなかった。日ごとに系統比較すると, 1, 3日目には有意な系統差が見られず, 2日目にはWKY>BN, WKY>THE, WKY>TLE, SHR>BN, SHR>THE, SHR>TLE間に有意差が見られた ($p < .05$)。

Fig.3に3日間の脱糞数を示した。脱糞数について系統×日の2要因の分散分析を行ったところ, 系統×日の有意な交互作用が見られた ($F(8,140) = 7.57, p < .01$)。系統×日の交互作用について単純主効果の検定を行ったところ, 1,

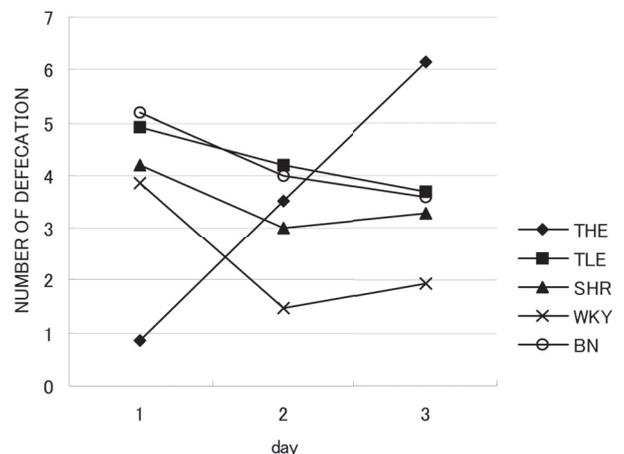


Fig.3 Mean number of defecation in each strain.

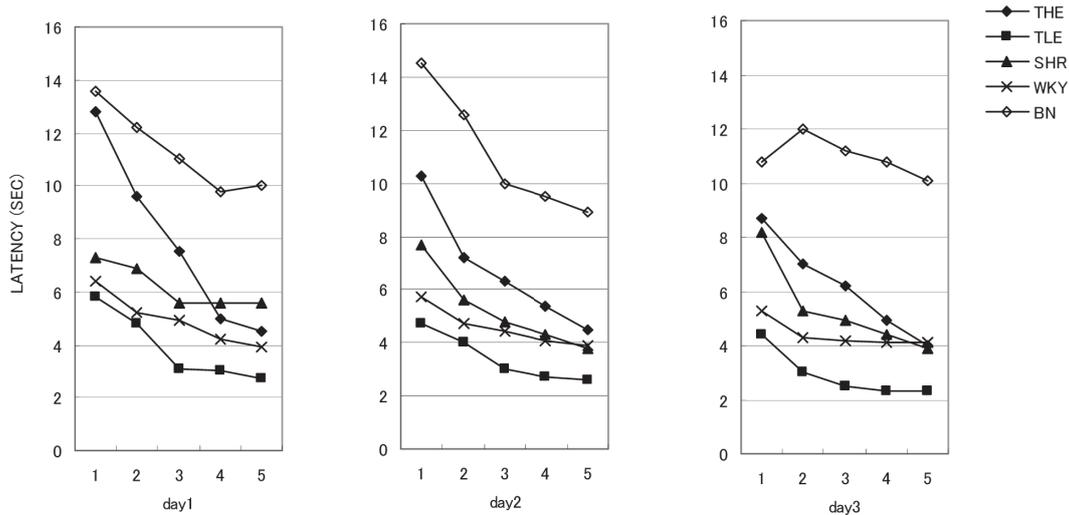


Fig.4 Mean latency to respond in each strain.

2, 3日目すべてに有意な系統の主効果が見られた(順に $F(4,210)=6.49, p < .01, F(4,210)=2.59, p < .05, F(4,210)=4.99, p < .01$). 系統ごとに見るとTHEとWKYで有意な日の主効果が見られた(それぞれ $F(2,140)=18.98, p < .01, F(2,140)=4.43, p < .05$). 1日目にTHE>他の4系統の間に有意差が見られた($p < .05$). 2日目にはTHE>WKY間に有意差が見られた($p < .05$). 3日目はTHE>他の4系統間に有意差が見られた($p < .05$). またTHEでは1<2, 2<3, 1<3日目の間($p < .05$), WKYでは1>2, 1>3日目の間に有意差が見られた($p < .05$).

TLE, SHR, WKY, BNでは日ごとの脱糞数が同程度か減少するのに対し, THEでは日ごとに脱糞数が増加した。

次にFig.4に3日間のコンパートメント間の回避・逃避移動反応潜時を示した。系統×日×ブロックの3要因の分散分析の結果, 系統($F(4,70)=29.29, p < .01$), 日($F(8,140)=4.23, p < .01$), ブロック($F(4,280)=92.80, p < .01$)の有意な主効果, 系統×ブロック($F(16,280)=4.55, p < .01$), 日×ブロック($F(8,560)=2.53, p < .01$), 系統×日×ブロック($F(32,560)=1.91, p < .01$)の有意な交互作用が見られた。

二次の交互作用が有意だったため, ブロックごとの系統と日の単純交互作用を比較したところ, ブロック1でのみ系統と日の有意な交互作用が見られ($F(8,700)=2.83, p < .01$), 他のブロックでは有意な交互作用はなかった。そこで系統ごとのブロック1における日の単純・主効果を見ると, THEとBNで有意な日の主効果が見られた(それぞれ $F(2,700)=9.07, p < .01, F(8,700)=8.02, p < .01$)。多重比較の結果, ブロック1においてTHEでは1>2日目, 2>3日目間に, BNでは2>3日目間に有意差が見られ($p < .05$), この点が二次の交互作用に反映された。

TLEは最初の1ブロックから短い潜時で反応を示すこと, BNの反応潜時は3日目にやや短くなるものの他の4系統に比較して極めて長く, 正反応に達しなかった。

訓練初日の馴化期間中のコンパートメント間の移動反応数の平均値はTHEで8.4, TLEで24.8, SHRで24.7, WKYで20.4, BNで24.1だった。この移動反応数について系統を要因とする1要因の分散分析を行った結果, 系統の有意な主効果がみられた($F(4,70)=21.77, p < .01$)。多重比較の結果, THEと他の4系統との間に有意な差異がみられ($p < .05$), THEの移動反応が他よりも極めて少なかった。

訓練初日の馴化期間中の脱糞数の平均値はTHEで2.5, TLEで0, SHRで0, WKYで0, BNで0.3だった。この脱糞数について系統を要因とする1要因の分散分析したところ, 系統の有意な主効果があり($F(4,70)=12.11, p < .01$), 多重比較の結果THE>他の4系統間に有意差が見られた($p < .05$)。

4. 考察

能動的回避学習の正反応数はTLEでもっとも多く, BNでもっとも少なかった。その間に位置するWKY, THE, SHRには差異は認められなかった。先行研究では能動的回避学習の正反応数は相対的にSHRでWKYより多く, WKYでBNより多かったが^{6) 7) 11) 12) 27)}, 本研究の結果はそれとは一致せず, むしろWKYの正反応数がSHRを上回った。能動的回避学習課題でTLEの正反応数がTHEよりも高かった点は, 回避学習, 回転輪走行課題の先行研究²⁸⁾と一致した。BNで回避学習成績が極端に低い点を含めて, 以下に他の指標との関連を検討する。

SHRと, 2日目のWKYのITRが比較的多く, 適切な回避行動ではない移動活動が比較的多く見られた。THEとBNのITRは同様に低いがこの2系統の回避学習の正反応数は大きく異なり, ITRに示される移動活動量が回避学習の正反応数の系統差を説明するものではなかった。THEとTLEの間に有意な差異がない点は先行研究²⁸⁾と異なった。

新奇場面での移動活動量に関して増井(未公刊)はこれら

5系統のランウェイ・テストおよびオープンフィールドテストを実施した。結果、両テストともに移動活動量はTLE, SHR, BNの順で多く、WKYとTHEは極めて少なかった。ランウェイ・テストにおけるTLE, SHRの通過区画数(1区画25cm)は100以上、BNは80であり極めて多く、WKYの10, THEの2程度との差異が大きかった。TLE, SHR, BNは新奇場面の移動活動量の多さに関して類似するものの、それが回避学習の正反応数に反映されたわけではなかった。

新奇場面とホームケージの活動量の差異について、以下の検討がなされている。宮崎・畑山⁸⁾は高食塩食によりダール食塩感受性ラット(DS)に高血圧を発症した群と、低食塩食により正常血圧を維持した群のオープンフィールドでの移動活動量とホームケージでの移動活動量を比較した。結果、オープンフィールドでの移動活動量には差異がなかったが、ホームケージでの活動の概日変動に差異が見られたことから、心臓血管系と自発活動量の調節に関連があらうと考えられた。

本実験で比較した5系統について、群大式アンビュロドリノコメーター(小原医科工業製)に居住させて、活動期である暗期の移動活動量を10日間連続測定したところ、THEとSHRで多くWKYとBNで少なく、TLEはそれらの中間に位置した(増井, 未公刊)。SHRとWKYのホームケージの活動量の差異は上述の見解に一致する。THEとTLEの血圧の差異は不明だが、WKYとBNの血圧には差異がないとする見解と³⁰⁾、WKYとBNのホームケージの活動量が同様に低かった点も矛盾しない。新奇場面とホームケージの移動活動量は質的に大きく異なるものの、いずれも回避学習の正反応数との関連性を示唆するものではなかった。

THEだけは脱糞数が日ごとに増えるのに対して、他の系統では日の経過を通じて同様に低下するという、THEだけが大きく異なる特徴を示し、嫌悪性刺激に対する反応性が他の4系統と大きく異なることが示唆された。1日目のTHEの脱糞数が少なかったのは同日の訓練開始前の馴化期間の脱糞数が多かったためと考えられる。馴化期間の移動反応数、脱糞数という新奇場面への情動反応性、および学習訓練中の脱糞数という嫌悪場面での情動反応性に関して、THEだけが他の4系統と異なり強い反応を示した。

回避・逃避反応潜時は、TLEで試行の最初から短く、BNでは長かった。BNの回避学習成績が極端に低かった点に関して、どのような反応が優勢だったのかさらに観察を行う必要があるが、BNの反応潜時が日とブロックを通してわずかに改善したことから、わずかではあるが学習が見られたといえる。BNは受動的回避学習の成績も良好でないが³¹⁾、一方でMorris型水迷路では良好な成績を示すため³²⁾、少なくとも水迷路での逃避学習、空間学習に関しては困難がなく、学習全般に関して困難を示すとは結論できない。

電気ショックに対する痛みの感受性が低い場合に、痛みの知覚の遅れから電気ショックからの回避、逃避反応を示しにくいとする見解がある³³⁾。刺激の種類により異なる報

告があるが、熱刺激に対する痛みの感受性がWKYよりも低いSHR³⁴⁾で1日目のブロック1の回避学習成績が低い点を、痛みの知覚が遅いためと解釈することも可能である。しかしながらブロック1の回避・逃避反応潜時がSHRよりもさらに遅いTHE, BNに関して同様の説明が成り立つか否かは不明である。BNはFawn Hooded Hypertensive系(FHH)と痛み感受性が同様であるが³⁵⁾、本実験で用いた他の4系統と同一方法で比較していないため相対的な差異が不明であり、またTHEとTLEに関しては痛み感受性の直接的な測定結果がないためである。したがって痛みの感受性と5系統全体の学習成績の関係を論じることができず、今後の課題として残される。

痛み感受性とは異なるものの、電気ショックに対する超音波発声がTHEでTLEより多い³⁶⁾。これを電気ショックへの情動反応性の一つととらえ、情動反応性が回避学習動機づけを高めるとみなせば、THEの正反応数がTLEよりも高くなるべきであり今回の結果と一致しない。他の系統の電気ショックへの超音波発声は不明であり、これも今後の課題となる。

新奇場面への情動反応性、居住場面の移動活動量、回避学習場面への情動反応性のいずれも、回避学習成績の5系統の差異に対応するものではなかった。電気ショックが痛みの知覚と情動反応性を惹起するものであり、電気ショックを予告する音刺激がそれらを想起させて回避反応を促すとみなすと、回避学習装置への馴化期間の反応性から考えて情動反応性が他の4系統に比較して高いと考えられるTHEの回避学習成績がもっとも良いわけではなかった点で矛盾する。そこで情動反応性と学習成績との差異を説明するために、Fanselow³⁷⁾が示した嫌悪性場面の媒介モデルのうち、認知媒介モデルの適用を検討する。

Fanselow³⁷⁾が恐怖条件づけに関わる行動の説明として示した2つのモデルのうち、認知的媒介モデルでは、恐怖の予告刺激が認知的媒介過程と情動的媒介過程の双方を惹起し、それぞれ別個の防御行動を喚起するものと予測する。一方、情動的媒介説では、恐怖の予告刺激が認知的媒介過程を喚起し、それが情動的媒介過程を喚起した結果、防御行動を喚起すると予測する。いわば並列と直列の違いが想定される。ここで本研究の回避学習場面に適用すると、5系統の情動反応性の差異が回避学習に反映されたとは言いがたく、情動反応性が学習行動遂行を引き起こす情動媒介モデルでは説明しにくい。したがって嫌悪事象の予告刺激を知覚した結果、認知媒介過程により学習行動が、情動媒介により脱糞などの情動反応が示されるとする認知媒介モデルを想定すべきであろう。飲水行動の条件性抑制³⁸⁾、条件性鎮痛の検討³⁹⁾からも、情動反応性と学習性反応の背景に異なるメカニズムがあるとする見解がある。

認知媒介モデルを想定したうえで、痛み感受性の精査や電気ショックへの発声などの反応性、嫌悪事象の予告刺激への行動全体の観察、学習課題による行動遂行の差異などの検討が今後の課題として残される。

5. 結 論

THE, TLE, SHR, WKY, BNの5系統の近交系ラットの能動的回避学習の系統差について検討した。90日齢の雄ラット各系統15匹, 計75匹を用いて, シヤトルボックスにおける能動的回避学習課題における正反応数を記録した。結果, 正反応数はTLEで高く, BNで極めて低かった。THE, SHR, WKYは間に位置した。5系統の能動的回避学習課題における正反応数の相対的位置づけが示された。TLEで正反応数が高く, THEでは他の4系統と異なり脱糞数が日ごとに多くなった点が他系統と大きく異なった。

参考文献

- 1) 藤田統: ラットの情動反応性の測度としてのランウェイ・テストにおける諸反応の行動遺伝学的分析 I: 一表現型変異と子-親回帰に基づく遺伝率推定値—心理学研究, 46, 281-292 (1975) .
- 2) 藤田統, 中村則雄, 宮本邦雄, 片山尊文, 鎌塚正雄, 加藤宏: 選択交配により作られた高・低情動反応性系ラットの行動比較 筑波大学心理学研究, 2, 19-31 (1980) .
- 3) 北岡明佳, 藤田統: 両端部屋付き直線走路におけるTsukuba 情動系ラットの行動 筑波大学心理学研究, 10, 69-78 (1988) .
- 4) Fujita, O., Annen, Y., & Kitaoka, A.: Tsukuba high- and low emotional strain of rats (*Rattus norvegicus*): An overview. Behavior Genetics, 24, 389-415 (1994) .
- 5) Okamoto, K. & Aoki, K.: Development of a strain of spontaneous hypertensive rats. Japanese Circulation Journal, 27, 282-293 (1963) .
- 6) Sato, T., Shimizu, K., & Hatayama, T.: Effects of transient painful heat stimulation on open-field behavior in SHR. Tohoku psychological folia, 54, 6-11 (1995) .
- 7) Tucker, D., & Johnson, A.: Behavioral correlates of spontaneous hypertension. Neuroscience and behavioral reviews, 5, 463-471 (1981) .
- 8) 宮崎章夫, 畑山俊輝: ラットの高血圧発症に伴う活動性の変化 —高血圧自然発症とダール食塩感受性ラットによる検討— 動物心理学研究, 48, 23-31 (1998) .
- 9) Hendley, E. & Ohlsson, W.: Two new inbred rat strains derived from SHR: WKHA, hyperactive, and WKHT, hypertensive rats. American Journal of physiology, 261, 583-589 (1991) .
- 10) 三ツ林裕己, 河村博, 波多野道信: 意識下高血圧自然発症ラットにおける青班核の血圧と行動への影響 日大医学雑誌, 50, 675-682 (1991) .
- 11) Girard, M. & Jimerson, D.C.: Models of adaptation of peripheral neuroendocrine mechanisms of the sympatho-adrenal system to short term stress as studied in two inbred rat strains. Brain Research, 206, 83-93 (1981) .
- 12) Gilad, M. & Shiller, I.: Differences in open-field behavior and learning tasks between two rat strains differing in their reactivity to stressors. Behavioural Brain Research, 32, 89-93 (1989) .
- 13) Konno T, Graham, A.R., Rempel, L. A., Ho-Chen, J. K., Alam, S.M., Bu, P., Rumi, M.A., & Soares, M.J.: Subfertility linked to combined luteal insufficiency and uterine progesterone resistance. Endocrinology, 151, 4537-50 (2010) .
- 14) Rice, K.K., Wu, M., & Blough, E.R.: Aortic aging in the Fischer 344/NNiaHsd × Brown Norway / BiNia rat. Journal of Pharmacological Sciences, 108, 395-398 (2008) .
- 15) van der Staay, F.J., Schuurman, T., van Reenen, C.G., Korte, S.M.: Emotional reactivity and cognitive performance in aversively motivated tasks: a comparison between four rat strains. Behavioral and Brain Functions, 15, 50 (2009) .
- 16) Carter CS, Leeuwenburgh C, Daniels M, Foster TC.: Influence of calorie restriction on measures of age-related cognitive decline: role of increased physical activity. Journal of Gerontology, A: Biological Sciences and Medical Sciences, 64, 850-859 (2009) .
- 17) Broadhurst, P.L.: The Maudsley reactive and nonreactive rats: a survey. Behavior Genetics, 5, 229-319 (1975) .
- 18) Matsuo, M. & Tsuji, K.: Strain difference of the light-dark preference in inbred strains. Behavior Genetics, 19, 457-466 (1989) .
- 19) 牧野順四郎: 心理学研究における近交系使用の意義 アニテックス, 1, 208-212 (1989) .
- 20) Defries, J.C., Hegman, J.P., & Wier, M.W.: Open-field behavior in mice: Evidence for a major gene effects mediated by the visual system. Science, 154, 1571-1579 (1966) .
- 21) McClearn, G.E.: Strain differences in activity of mice: Influences of illumination. Journal of comparative psychology, 53, 142-143 (1960) .
- 22) Defries, J.C.: Pleiotropic effects of albinism on an open-field behavior in mice. Nature, 221, 65-66 (1969) .
- 23) Blizard, D.A., and Baley, D.W.: Genetic correlation between open-field activity and defecation: analysis with the CXB recombinant-inbred strains. Behavior Genetics, 9, 349-357 (1979) .
- 24) Broadhurst, P.: Determinants of emotionality in rats. I. Situational factors. British Journal of Psychology, 48, 1-12 (1957) .
- 25) Fujita, O.: Selection for high and low emotional

- reactivity based on the runway test in the rat: The first seven generations of selection. *Hiroshima forum psychology*, 3, 57-62 (1976) .
- 26) Harrington, G.M. The Har strains of rats: origins and characteristics. *Behavior Genetics*, 11, 445-468 (1981) .
- 27) Grentch, C., Lichtsteiner, M., & Feer, H. : Genetic and environmental influences on behavioral and neurochemical aspects of emotionality in rats. *Experientia*, 44, 482-490 (1988) .
- 28) 藤田統, 片山尊文 : 高・低情動反応系ラットの行動比較 : 5 —能動的回避学習と受動的回避学習— 筑波大学心理学研究, 3, 1-6 (1981) .
- 29) Iso, H., Brush, F.R., Fujii, M., & Shimazaki, M. : Running-wheel avoidance learning in rats (*Rattus norvegicus*) : Effects of contingencies and comparisons of strains. *Journal of comparative psychology*, 102, 350-371 (1988) .
- 30) McCarty, R., Kirby, R.F., & Garn, P. G. : Strain differences in sympathetic-adrenal medullary responsiveness and behavior. *Behavioral and Neural Biology*, 40, 98-113 (1984) .
- 31) van der Staay, F.J., & Bloakland, A. : Behavioral differences between outbred Wistar, inbred Fischer 344, Brown Norway, and hybrid Fischer 344 × Brown Norway rats. *Physiology and Behavior*, 60, 97-109 (1996) .
- 32) van der Staay, F.J., Schuuman, T., van Reenen, C. G., & Korte, S. M. : Emotional reactivity and cognitive performance in aversively motivated tasks: a comparison between four rat strains. *Behavioral Brain Functions*, 5, 50 (2009) .
- 33) Luszczki, J.J., Wojcik-Cwikla, J., Andres, M. M., & Czuczwar, S.J., : Pharmacological and Behavioral Characteristics of Interactions between Vigabatrin and Conventional Antiepileptic Drugs in Pentylentetrazole-Induced Seizures in Mice: An Isobolographic Analysis. *Neuropsychopharmacology*, 30, 958-973 (2005) .
- 34) Taylor, B.K., Roderick, R.E., St Lezin, E., & Basbaum, A.I. : Hypoalgesia and hyperalgesia with inherited hypertension in the rat. *American Journal of Physiology: Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 280, 345-354 (2001) .
- 35) Jarome, T.J., Kwapis, J.L., Nye, S.H., & Helmstetter, F.J. : Introgression of Brown Norway chromosome 1 onto the fawn hooded hypertensive background rescues long-term fear memory deficits. *Behavior Genetics*, 40, 85-92 (2010) .
- 36) Naito H, Inoue M, Suzuki Y, Tohei A, Watanabe G, Taya K, Makino J. : Ultrasonic vocalization responses in genetically high- and low-emotional rats. *Experimental Animals*, 50, 285-291 (2001) .
- 37) Fanselow, M. S. : Analgesia as a response to aversive Pavlovian conditional stimuli : cognitive and emotional mediators. In *Fear, avoidance, and phobias : a fundamental analysis* . Ed. By R. Denny. Lawrence Earlbaum Associates, Inc. Pp.61-86 (1991) .
- 38) Fujii, M., Asada, M., Takata, N , Yamano, A., & Imada, H. : Measurement of emotional reactivity and association ability of the Tsukuba emotional strains of rats (*Rattus norvegicus*) in licking and lever-pressing conditioned suppression situation. *Journal of comparative psychology*, 103, 100-108 (1989) .
- 39) 高砂美樹, 岩崎庸男 : 条件性鎮痛に及ぼすナロキシンの効果— Tsukuba 情動系ラットを用いて— 第50回動物心理学会大会要旨 : 動物心理学研究, 40, p58 (1990) .

A Study of College Student Perceptions of a CALL Program in Japan

John Fiedeldy*

Abstract

This study examines the way students perceive the use of computers when learning English as a foreign language. Their views are monitored prior to a semester long CALL course, and then again upon the completion of the course. The CALL class uses multimedia software specifically designed for EFL learning.

Data have been obtained through questionnaires, which provide the basis for statistical and qualitative analysis. The subjects of this study are second and third year EFL learners studying at the College of Engineering, Koriyama Japan. Literature covering the history of CALL, the factors which make CALL successful and the history of CALL in Japan are also described.

Prior to the course, it was found that students had little or no experience using computers for the specific purpose of EFL learning. They tended to hold negative views toward using computers for this aim. However upon completion of the course, a positive acceptance to CALL was reported. The students rated the use of multimedia highly in terms of interest and usefulness. Despite a number of technical problems, the software was relatively easy to use and required little instruction. The students could use their background knowledge of computers to undertake EFL learning tasks. One shortcoming however, was the lack of authentic communication being generated in class, which contributed to some negative views.

It was also found that CALL can in turn have a positive impact on learners' attitudes toward EFL learning. CALL is a useful tool for reinforcing existing knowledge. Students with negative attitudes towards English can develop a greater degree of interest in EFL learning and become motivated to succeed. Despite the restrictive nature of the material, the students maintained enthusiasm, were capable of studying at their own pace and were capable of studying independently.

Introduction

The purpose of this study is to gather empirical data relating to the way college students view computers as a resource in learning English as a foreign language (EFL). Japanese EFL students are sometimes regarded as lacking self-direction, and unable to make effective use of appropriate language learning strategies. Although students generally possess competent computer skills, most lack confidence in using English for a range of tasks, such as using the Internet, email or English language software. In light of this, the present study looks at the way learners perceive computer assisted language learning (CALL).

The participants are second and third year EFL learners studying at the College of Engineering, Koriyama, Japan.

The study covers a period of one semester of CALL. Many of the participants undertake a range of additional English language courses such as English reading, written expression and TOEIC preparation.

The present study also aims to offer insight into the impact that CALL has on learners' attitudes toward EFL. Developing a positive perception of EFL can lead to effective self-directed learning, greater motivation and performance in class, with the ultimate outcome of enhanced EFL competence.

Quantitative and qualitative self report data have been collected to analyse various changes in perceptions. Two questionnaires were given to the students, at the beginning and end of the course. To analyse the data, the following questions were asked:

1. What place do computers have as a useful EFL learning tool prior to CALL communication classes?

平成22年10月27日受理

* 日本大学工学部総合教育 非常勤講師

2. What changes occur in the perception of computers as a learning tool after one semester?

The grounding on which the present study is based relates to historical developments in CALL as well as current issues. For the purposes of this study, the term “foreign language” is defined as a language spoken outside its native country. It is neither used as a language of communication at home nor as a language of survival in the community (Richards 1993: 124, 209).

The study covers two levels of CALL, namely classes undertaken by second and third year students. Second year students take English language study as a mandatory subject, while third year students take English study as an elective. The present study makes the assumption that the students are of similar English language proficiency within each of these stages. Despite this, wide variations in language proficiency were observed.

Literature Review

The review of the following literature describes the development of CALL and its implementation in Japan. This review has been divided into three areas:

- a. **The history of CALL** which describes how CALL has evolved through three stages, namely behavioristic, communicative and integrative CALL;
- b. **Effective CALL** which describes the factors making CALL successful, namely teacher involvement and commitment, and institutional support;
- c. **CALL and Japan** which looks at issues unique to Japan, and one college’s experience of an email exchange program.

History of CALL

The use of computers in language learning can be traced back to the 1960s. Since its beginnings CALL has progressed through stages, each of which has followed advances in computer technology and changes in language teaching methodologies. By the mid 1990s personal computers had become so widespread that educators needed to consider more carefully how they could be employed in language learning (Warschauer 1996).

Computers were first used in the 1960s, in a period known as behavioristic CALL. Initially repetitive language drill

programs were used, with the computer being the medium for delivering content. The computer could also be used as a tutor, offering the benefits of carrying out repetitive drills without getting bored, providing non-judgmental feedback and allowing students to learn at their own pace (Warschauer 1996).

However by the early 1980s it became increasingly evident that the repetitive drill and practice approach of behavioristic CALL did not promote authentic and meaningful communication. With the rise of communicative language learning methodologies and advances in computer technology, a new approach to CALL was needed. As a consequence, communicative CALL approaches were developed. Underwood (1984) described communicative CALL as:

- focusing on using language forms rather than on the forms themselves;
- teaching grammar implicitly rather than explicitly;
- encouraging students to generate original utterances rather than memorized expressions;
- allowing students to offer a variety of responses (1984 cited in Warschauer 1996).

Communicative CALL not only extended the idea of the computer being a tutor but also viewed it as a stimulus of second language (L2) production. Rather than having learners give single correct responses, activities could be designed to stimulate discussion, writing or critical thinking. Additionally the computer could be used as a tool whereby existing L2 knowledge would be used. For instance students could use word processors and desk-top publishing programs (Warschauer 1996).

The 1990s saw the introduction of integrative approaches to CALL. These followed advances in multimedia technology and the development of the Internet. Multimedia technologies, such as the CD-ROM, allowed text, graphics, sound, animation and video to be displayed. Additionally, simulation programs allowed learners to take part in role play situations.

Multimedia allowed students to use their senses of listening and seeing authentically. Students now had great control over their learning, and the ability to learn at their own pace. They could also focus on content and language forms (Warschauer 1996). Presentation software, such as Microsoft PowerPoint also proved to be highly motivating. Multimedia allowed students to use authentic work tools such as text editing tools, photo, sound and video files

(Hanson-Smith 2001).

Despite the benefits, the use of multimedia in language learning raised a number of concerns. For instance many programs were designed by commercial developers with no teacher training or little understanding of pedagogical principles. As a result many programs could not effectively be used in the classroom. The degree to which these programs were intelligent enough to be truly interactive was a further issue (Warschauer 1996).

In addition to multimedia, the Internet would greatly impact language learning. Users could access huge volumes of information, making it a valuable resource to both teachers and learners. Learners could gain cultural experience, and use higher order thinking skills, such as searching for specific information, scanning and making evaluative judgments. Teachers could also use the Internet to create supplemental language activities such as reading tests, grammar exercises and cloze tests (Singhal 1997).

Fox (1998) argued that the intrinsic motivation for language learning which the Internet offers is more beneficial than the extrinsic motivation of tests and homework. By simply learning how to use the Internet, language students would begin to understand how the world is interconnected. Because English is the dominant language of Internet, many would appreciate the importance of acquiring EFL skills. In addition, as the Internet is largely text driven, learners would be exposed to complex and authentic English, which would further enhance their reading skills (Fox 1998, Hanson-Smith 2001).

Along with the Internet, innovations in Computer Mediated Communication (CMC) or email and instant messaging also occurred. CMC would have a significant impact on language learning as it allowed language learners to communicate directly, inexpensively, and conveniently (Warschauer 1996). Email exchanges would allow L2 students to authentically communicate with other people from virtually anywhere in the world. Instant messaging would stimulate authentic communication and help students to develop specific communication skills such as arguing or persuading (Singhal 1997).

These technologies are useful tools in that they make the content open ended. To supplement this, software programs stressing accuracy would continue to have an important place in CALL. For these programs to be effective however, they would need to be used to satisfy

particular learning needs (Ioannou-Georgiou 2006).

Ways of Making CALL Effective

Despite advancements in CALL technologies, limited research has been undertaken in evaluating CALL's effectiveness. Chapelle (1997) claimed that one possible reason for this was the lack of knowledge about second language acquisition (SLA). Chapelle (1997: 19, 21) argued, "that our understanding of CALL would benefit from addressing questions similar to those posed about other L2 classroom learning... Such knowledge could advance the development and evaluation of current CALL activities".

One essential factor in making CALL effective is the role of the teacher. Fox (1998) recommended that teachers become actively involved by providing support, especially at the beginning of a course. This might involve preparing instructional handouts, setting up a home page where students could look for help, post comments and check for homework assignments and class information. Teachers could also provide useful support in the early stages of Internet use, such as helping students find web sites which match their interests. Teachers could facilitate learning by having students correspond with each other. They could also offer to correct student emails before sending them (Fox 1998). In order for support to be given, the teachers themselves must become familiar with using computers, the Internet and email (Singhal 1997).

However Jones (2001) found a divide in the way teachers and their students perceived CALL. In a study of EFL students at the University of Canberra, most students believed that computers could help to improve their English skills. Indeed most wanted to develop their computer skills in order to learn English. On the other hand teachers generally held negative attitudes toward CALL. Some feared that administrators simply wanted to introduce CALL to replace them with computers. Others were either hostile or simply uninterested in using CALL. Jones (2001) claimed that lack of time was the biggest reason preventing teachers from taking a greater interest in CALL. As they were already over burdened with teaching and administrative work, implementing CALL would be too difficult.

Despite the barriers, Jones (2001) concluded that the effectiveness of CALL depends greatly on teacher involvement and commitment. Whenever students use CALL, it is essential that teachers provide adequate training and supervision. Teachers should integrate

units of CALL into syllabi, identify appropriate levels for students and select tasks beforehand. Planning and preparation would also be required for any kind of Internet instruction. This would involve the additional step of evaluating the quality of EFL Internet websites. In regards to email and messaging training, teachers need to choose appropriate software, prepare instructional handouts, train students and monitor their progress (Jones 2001).

As in Jones's study, Timucin (2006) also observed a reluctance by teachers to adopt CALL. In a study of an English preparatory college in Turkey, many teachers also feared they would be replaced by computers as a result of reduced student-teacher interaction. Compounding the problem was a lack of instructional reference material for teachers. After the college decided to adopt CALL, the software provider gave the teachers a 5 day seminar. Upon implementation, a number of ongoing steps were taken to engage the teachers. These included conducting regular teacher interviews with the students, creating teacher teams to prepare support material for the software, arranging sessions to monitor student progress and arranging regular meetings with colleagues and administration.

Upon completion of the 34 week program, Timucin (2006) found a shift in teacher attitudes towards CALL. Many now viewed the role of teacher as essential. The most important reason the teachers reported was that they were able to prepare support material. Discussions and meetings with their colleagues and administrators, and monitoring student progress were also rated highly. (Timucin 2006).

Timucin (2006) suggested that in order to implement CALL successfully, educational institutions need to acknowledge the skills and abilities of teaching staff. They need to take advantage of their expertise in areas such as support material preparation and course evaluation. "An innovation can only flourish if the teachers become vigorous engaging participants" (Timucin 2006: 269).

Jones (2001) concluded that educational institutions play a critical role in ensuring the success of CALL. Institutions need to:

- recognize the critical importance of teacher instruction and supervision;
- respond to the fact that language learners are likely to be interested in computers, and ready to learn through CALL;

- integrate CALL into the curriculum;
- give teachers adequate training.

Furthermore, Ioannou-Georgiou (2006) recommends that institutions:

- implement a 'Top down' policy where management requires teachers to use the equipment;
- integrate the technology into all aspects of the syllabus, not just as an extra add-on. (IATEFL 2006 cited in Ioannou-Georgiou 2006).

Despite the negative teacher views toward CALL as described above, most research indicates that students and teachers are highly motivated to use computers (Hanson-Smith 2001). Ioannou-Georgiou (2006) believes that in future CALL will reach a stage of "normalization". At this point CALL will be fully integrated into all aspects of classroom learning. Attaining normalization however, will not simply depend on having well-equipped schools, access to technology and technical support. Teacher enthusiasm and motivation to promote CALL will be critical (Ioannou-Georgiou 2006).

CALL and Japan

A number of problems unique to Japan have been obstacles to the development of CALL. From a technological perspective, Japanese colleges were initially slow in implementing CALL (Galloway and O'Brien 1998). In the 1990s EFL classes often had to compete for space in computer labs, instead of using dedicated CALL labs. Additionally, little or no English CALL software was installed on computers, presenting further problems to teachers who could not read Japanese. Though CALL technology would advance considerably in the following decade, other difficulties remain.

Galloway and O'Brien (1998) identified a number of pedagogical and cultural barriers, which relate to the idea that Japanese students are neither independent nor self-motivated learners. As CALL is a learner centered activity, it requires students to take responsibility for their own learning. Despite this, many students wait for the teacher to direct them. Galloway and O'Brien (1998) also believe that EFL students experience difficulties in intercultural email exchange projects because of their cultural reticence to self-disclose.

As Japanese EFL students have limited exposure to

English outside the classroom, they often become less motivated towards learning English (Rooks 2008). To identify ways in which perceptions of EFL could be improved, Rooks (2008) investigated an email exchange program between groups of university EFL students in Japan and Thailand. The program included three mandatory email exchanges. These involved a self-introduction, an introduction of aspects of their respective cultures and a discussion of current news stories.

Upon completion of the exchange, the participants gave both positive and negative feedback. Many commented that the exchange increased their language learning motivation, improved their English skills and broadened their sense of cultural awareness. On the other hand negative reactions included unreturned emails and invalid email addresses for exchange partners.

Overall the exchange allowed students to see that learning a foreign language could be an exciting and rewarding experience. Rooks (2008) concluded that “EFL and ESL researchers and instructors need to continue to develop effective ways of using technological resources as a means of communicatively connecting English language learners throughout the world”.

The way in which learners view computer technology as a language learning tool will be the basis of investigation in the present study. In particular changes in student perceptions will be examined.

Data Collection Methodology

Information has been gathered from two questionnaires providing qualitative and quantitative data. These were given at the beginning and completion of the semester (see Appendices A and B). The following is a brief description of the data collection instruments:

1. The Pre-Semester Questionnaire describes how frequently the students use computers, the Internet and email;
2. The Post Semester Questionnaire includes self-report data about the course and future intentions.

The subjects included more than one hundred sixty college students enrolled in English Communication I and III classes at the College of Engineering, Nihon University. Five classes were selected for data collection in Semester 1 2009. ECI is a second year course, while ECIII is for

mostly third year students. These classes covered all four language skills of listening, speaking, reading and writing, with emphasis on oral skills.

The students' majors included engineering, information technology, chemistry and architecture. EFL study is mandatory for second year studies but an elective for third year. They undertook ninety minutes of EFL study in dedicated CALL labs per week. Each student had their own computer console equipped with microphones and headphones, in addition to a monitor which they used to follow the teacher's instructions. The course used the “Top Notch” series textbook (Saslow and Ascher 2006) which includes an interactive multimedia CD-ROM for individual study. The tasks of “Top Notch” tend to be restrictive, in that single correct answers are given with instant feedback.

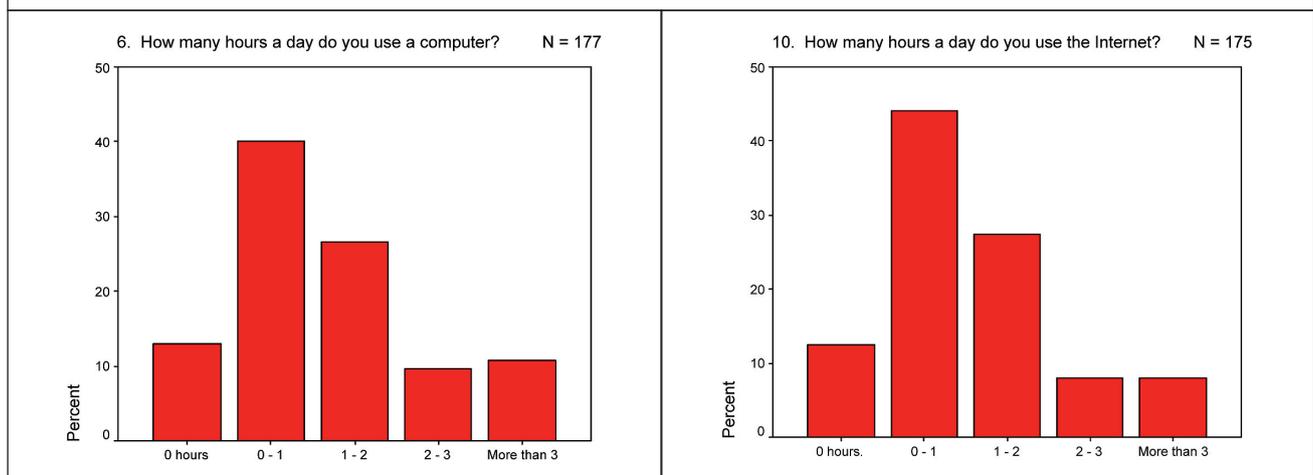
Data Collection Instruments

Pre-Semester Questionnaire: The students were asked to describe their attitudes toward learning EFL and reasons for taking the course. The survey also examined how frequently they used computers, the Internet and email communication in their daily lives. Using rating scales, the students reported the frequency with which they used these technologies for the specific purpose of EFL study.

Post-Semester Questionnaire: Upon the completion of the course, the students were asked to critically evaluate their own EFL progress and attitudes toward CALL, again using rating scales. They evaluated the effectiveness of the textbook, the interactive CD-ROM and general use of computers in class. They were also asked if they felt satisfied with the frequency of CALL activities in class. The final three questions requested comments about the course, its strengths and weaknesses and how future courses could be improved.

With the exception of the final three items, all questions were in English. The assumption was made that the students had attained enough English language proficiency to comprehend the questions. After the students had completed the self-report questionnaires, responses were stored on the statistical database, the ‘Statistical Package for the Social Sciences 7.5’ (SPSS). Most of the questions used three or five point rating scales, in which students chose one answer. Mean scores were then calculated for each question. For three point questions, mean scores of 1.0 to 3.0 were calculated. Likewise for five point questions,

Chart 1: General Computer and Internet Usage



scores between 1.0 and 5.0 were calculated. Generally high scores indicated positive attitudes towards EFL or CALL study, while low scores indicated negative attitudes.

For some questions, the students were allowed to choose multiple answers. Frequencies of responses were then calculated for each of these questions. Separate calculations were also carried out for the variable of course level, in the categories of 'English Communication I' and 'English Communication III'. The final three questions relating to comments about the course, were written in the students' first language.

Analysis of Data

The findings of this study describe the pre-course and post-course questionnaire results, and students comments. Quantitative data is presented for the questionnaires, followed by qualitative analysis for student comments.

Pre-Course Results

At the beginning of the semester, many students reported negative views toward EFL. As they were undertaking majors other than EFL, English learning tended to be given a low priority. 72.9 percent of the respondents reported English as being "Very difficult" or "Difficult" while 78.5 percent either did not like English or regarded it as "So-so". The students also had limited opportunity to use their English language skills. 77.4 reported "Never" or "Rarely" speaking English and the little English that was spoken was confined to classroom practice. Less than one percent reported speaking English "Often" or "Everyday".

When asked why they were studying EFL, the results

tended to confirm the negative perceptions. 54.8 percent of the respondents reported "for college", an indication that they were studying EFL because it was compulsory. Many respondents had however, expressed favorable views towards studying English. 49.2 percent were studying EFL simply to be able to speak English, 36.2 percent to improve their job prospects and 33.3 percent to be able to use English for traveling.

In regards to computer technology, most students rated themselves as being reasonably computer competent. 87 percent indicated that they used a personal computer for at least one hour a day. Likewise 87.4 reported using the Internet for at least one hour (see Chart 1). When asked what Internet websites (Japanese or English) they liked to visit, the students were allowed to choose more than one answer. Generally they preferred using the Internet for entertainment rather than as a reference source (see Chart 2). The most common response given was "music/video" websites (71.2 percent). This figure was significantly ahead of other responses, such as news websites (39.2), social networking (32.2) and shopping (30.5).

Chart 2: Internet Interests

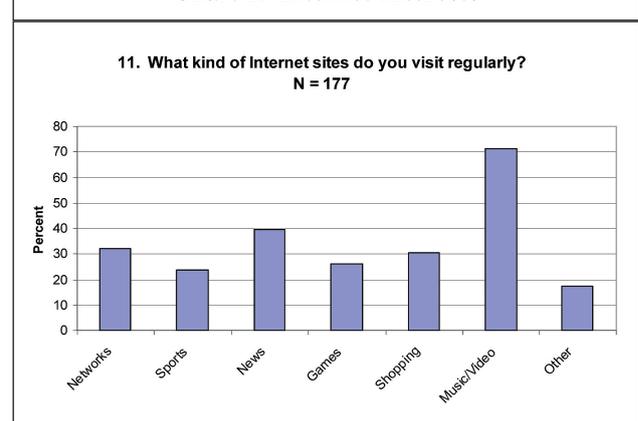


Table 1: Self-Rating of Time Engaged in Daily Activities by Subject Course

Subject Course		Speaks English	Uses a Computer	Uses the Internet	Visits English websites
English Communication I	Mean	1.75	2.56	2.44	1.62
	N	135	135	133	130
English Communication III	Mean	1.83	2.93	2.88	1.79
	N	42	42	42	42
Total	Mean	1.77	2.65	2.55	1.66
	N	177	177	175	172

Despite their heavy use of the Internet, 83.1 percent reported never or rarely visiting English language websites. Furthermore 82.8 percent said they never wrote English emails. When comparing the results of ECI and ECIII students, ECIII students reported visiting English websites more often, and writing English language emails more frequently than ECI students (see Table 1). As the third year ECIII students were taking the course as an elective, their motivation to practice English in authentic contexts may have been high. English language web sites would have presented an ideal opportunity to use existing L2 knowledge.

When asked if they had ever used a computer with the specific intention of studying English, 92.1 percent of the respondents said "No". Those who gave an affirmative response mentioned they watched English language movies, listened to music, did Google searches in English, read E-books or used bilingual dictionaries. The students were also asked if they had ever used an English language software program. More than 18 percent said they used English language CAD, while 10 percent used a freeware program. Other programs included DVD copying software, Skype, PC games, Photoshop and Microsoft Office.

Despite the low usage of English language software, most students indicated that that they would be interested in using computers as a medium for EFL learning. 35 percent revealed that they would like to use the Internet to learn English. This implies that a large number of motivated students would benefit from training in CALL software, the Internet and email exchanges.

Post-Course Results

During the thirteen week semester the typical lesson procedure consisted of formal teacher instruction with the aid of the teacher's center monitor, student-to-student interaction and individual self-directed CALL. The "Top Notch Interactive CD-ROM" contained simple language tasks and activities. These included conversation and

pronunciation exercises, grammar tasks, information gap exercises, puzzles and games. On average the students were assigned about thirty minutes of individual CALL per lesson.

As most students were familiar with personal computers and the Windows XP format, little training was required to instruct them how to use the CD-ROM. Occasionally the teacher demonstrated tasks that needed to be completed, using the visual aid of the students' center monitors. During the self-directed CALL sessions the teacher's role largely consisted of helping students with technical problems such as computers freezing, boot problems and CD drives locking. The teacher observed how well the students were comprehending and completing the tasks. The students also helped each other with technical problems and language tasks.

Upon completion of the semester, the students were asked to reflect on the course. They were asked to evaluate their own progress and performance, the appropriateness and difficulty of the material used, and ways in which the course could be improved. Generally a positive acceptance of CALL was observed.

When they were asked to rate their own progress, 60.6 percent felt their English had improved a little, 10.3 percent said it was better, while 15.8 percent said that it had improved significantly. Overall ECIII students felt their English had improved more than ECI students. On a five point scale, ECIII students rated their improvement as 3.68, while ECI students gave an overall rating of 3.08 (see Table 2).

Table 2: Perception of English Improvement by Subject Course

English Communication I	Mean	3.08
	N	134
English Communication III	Mean	3.68
	N	31
Total	Mean	3.19
	N	165

The students were then asked to evaluate the overall course, the textbook and the CD-ROM, in terms of level of interest and usefulness. Generally speaking, a positive reaction was observed in each category. In regards to level of interest, the students rated the CD-ROM and overall course equally, with the textbook receiving a slightly lower rating (see Table 3). Some differences were observed between the course levels though, with the ECIII students finding the course more interesting than did the ECI students.

When asked to rate the usefulness of course material a number of categories were examined. The students rated the textbook and CD-ROM, reported how frequently they used the CD-ROM for speaking and whether they were satisfied with the time allocation for individual CALL (see Table 4). Generally the CD-ROM and the textbook both received positive responses, with the CD-ROM recording a slightly higher rating than the textbook. However the students gave the CD-ROM a low rating as a resource for practicing conversation. The spoken component of the CD-ROM largely consisted of listen and repeat exercises, information gap conversations, and voice recording exercises where the students could compare their pronunciation with a native speaker's. The CD-ROM did not promote truly meaningful two way interaction. As a result the students tended to under utilize the spoken function of the CD-ROM, and instead use it for grammar exercises, fill-in-the-blank tasks, puzzles and quiz exercises. The students were generally satisfied with the time allocation for the CD-ROM during the lesson (see

Table 4 and Chart 3).

In terms of usefulness of course material, differences between ECI and ECIII students were minor. As a tool for speaking practice, both groups reported using the CD-ROM with the same frequency. However the ECIII students thought the textbook was slightly more useful than did the ECI students.

Generally the students had little difficulty in learning to use the CD-ROM (see Chart 4). Only 7.9 percent regarded the CD-ROM as being "Very difficult" or "Difficult" to use. A number of technical issues emerged during the course however. These included computers not booting, the CD-

Chart 3: Opinions About Future Use of Computers in EFL Learning

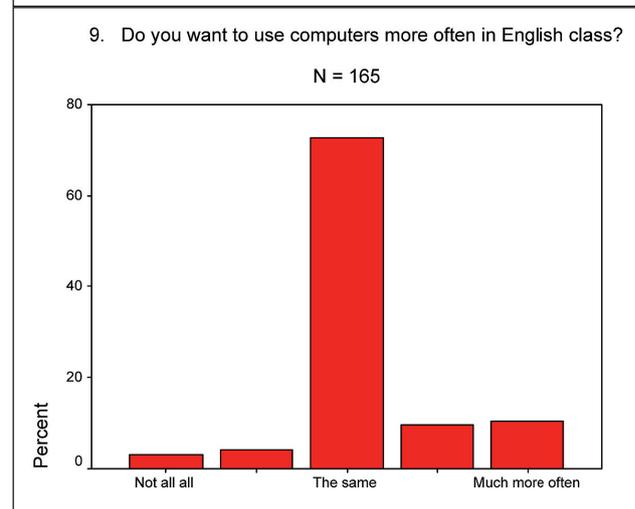
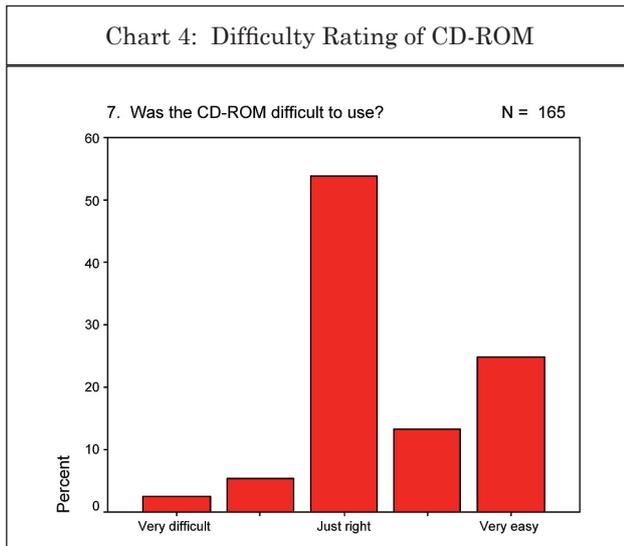


Table 3: Comparison of Interest in Course Material by Subject Course

Subject Course		Overall Course	Textbook	CD-ROM
English Communication I	Mean	3.54	3.39	3.65
	N	134	134	133
English Communication III	Mean	4.10	3.71	3.74
	N	31	31	31
Total	Mean	3.64	3.45	3.66
	N	165	165	164

Table 4: Comparison of Usefulness of Course Material by Subject Course

Subject Course		Textbook	CD-ROM	Used CD-ROM for speaking	Wants to use PCs more often
English Communication I	Mean	3.35	3.50	2.85	3.19
	N	134	133	134	134
English Communication III	Mean	3.71	3.77	2.81	3.23
	N	31	31	31	31
Total	Mean	3.42	3.55	2.84	3.20
	N	165	164	165	165



ROM failing to work properly, CD-ROMs being damaged and the CD-ROM drive not ejecting the disc. As a result the teacher had to spend a significant amount of time helping students with technical problems, at the cost of observing them use the CD-ROM for learning.

Qualitative Data Post Semester Results:

Student Reflections

The students were finally asked to provide comments about the course, describing its good and bad points, and ways it could be improved. A wide range of comments were received, most of which evaluated the course positively.

When asked to describe the course's most positive features, many of the comments related to EFL learning issues in general, rather than CALL in particular. For instance, the students liked having the opportunity to listen to and speak English in class, being able to approach and speak with the teacher and learning new English expressions. A considerable amount of lesson time was devoted to teacher-student and student-student interaction without the use of CALL. A number of students commented however, that the best aspect of the course was using a computer in class. Some commented on specific aspects of CALL, for instance one student enjoyed solving puzzles using the CD-ROM.

Likewise when asked to comment on the negative features, many responses were about EFL learning issues in general. Several students said they did not like pronunciation exercises in the textbook, memorizing grammar and spelling. A number felt that there were too many tests. One student wanted to have more games. One

student mentioned, "I could understand the English, but I could not respond in English". Another wanted the teacher to use Japanese more often during the lesson.

In regards to CALL, one student commented that there was not enough work space on the console in which to study effectively. Another student would have preferred studying in a non-CALL room altogether. These comments underscore the importance of ergonomics as a CALL issue.

The lack of authentic communication became apparent as another issue when the students were asked how the course could be improved. For future classes, one student remarked that there needed to be meaningful two-way communication between the students and the computers. In this regard, the software did not promote true and unpredictable communication. Often language tasks involved completing restricted grammar and vocabulary exercises. Several students also suggested that more time be allocated to practicing English conversation with fellow students. One student suggested that more worksheets be given to make the learning tasks clearly defined.

The negative responses found in the present study could be a reflection of the technical limitations of current hardware and software as tools in promoting true communication. Despite the difficulties however, many students commented that they enjoyed CALL and had actually come to enjoy learning English.

Conclusions

Overall, a positive acceptance of CALL was observed, despite limitations relating to course content. In regards to the original research questions, the findings can be summarized:

1. What place do computers have as a useful EFL learning tool prior to CALL classes?

The students generally had little or no experience using computers for the specific purpose of EFL learning. As a consequence, they tended to hold negative views toward using computers for this purpose. Despite having ample experience with Internet and email, English was rarely used in either of these activities, particularly by the ECI students. On the other hand, ECIII students tended to exhibit a greater interest in EFL and were more likely to

have used English software, the Internet and email.

2. What changes occur in the perception of computers as a learning tool after one semester?

Overall a positive reaction to the use of CALL in class was found. When comparing the views of multimedia CD-ROMs with textbooks, CD-ROMs were rated highly in terms of interest and usefulness. Despite technical problems, the CD-ROMs were relatively easy to use and required little instruction. The students could use their background experience and knowledge of computers and apply these to EFL learning. Again ECIII students exhibited a greater acceptance of CALL than did the ECII students. The students were generally satisfied with the time allocation devoted to CALL each lesson. However one shortcoming of the content, was the lack of authentic communication the material could generate, and this contributed to the some of the negative views evident in the post course questionnaire.

The present study found a positive impact of CALL on learners' attitudes toward EFL learning. As in Jones's (2001) findings, most students believed computers could play an important role in helping them develop their English skills. The multimedia material was rated highly as a useful tool for reinforcing existing knowledge. It was observed that students with negative attitudes towards English could develop a greater degree of interest in EFL learning and motivation to succeed. This supports Fox's (1998) conclusions that computers and particularly the Internet provides L2 learners with intrinsic motivation for language learning.

Though the software did not encourage meaningful interaction, as mentioned, Ioannou-Georgiou (2006) claims restrictive material has a place in language learning when it satisfies particular learning needs. This places a responsibility on the provider to identify those needs, and make the content relevant. Despite the restrictive nature of the material, the students maintained enthusiasm throughout the semester. The present study found no evidence to support views that Japanese CALL students lack self-direction. On the contrary, most were willing and capable of studying independently.

The students' favorable view of CALL may be explained by the educational benefits that multimedia brings to language learning. As Warschauer (1996) argued, CALL allows students to use their senses of listening and seeing to complete language learning tasks, and allows them

to exercise great control over their learning. They can learn at their own pace, repeat tasks easily and focus on language forms.

In order for CALL to work well, a number of factors need to be considered. Firstly CALL requires intense teacher involvement and commitment. As Jones (2001) suggested, teacher training and supervision is necessary, particularly for those who are uninterested or hostile to CALL. Institutions need to take full advantage of the skills and expertise of teaching staff (Timucin 2006). Teachers also need to recognize that computers and multimedia have been around for some time, and that students generally possess the computer skills to be ready to learn English with CALL. Another important issue is the selection of resource material and content during syllabus planning. Teachers and institutions need to consider the most appropriate multimedia resources, especially regarding their potential for providing real and meaningful interaction.

Recommendations

As this study was carried out on a small group, further investigation is required. Firstly, research needs to be replicated on a broad sample of EFL learners, undertaking a range of majors. Investigations could also be undertaken using different types of multimedia programs to evaluate their pedagogical qualities. Further investigation is required across differing levels of English language proficiency, in addition to examining how other forms of CALL such as Internet searching and email messaging can be best utilized.

One key issue still requiring attention is how teachers perceive CALL. Teachers need to be aware of its functions, benefits and limitations. They need to be aware of available packages and programs, and also need to consult with other staff members and share ideas. Finally educational institutions need to recognize their duties in: providing adequate training and backup support, and requesting feedback from teachers upon course completion.

Positive signs were found, in the way in which EFL students view CALL. Whether or not this eventually translates to a higher quality EFL learning is unclear. Therefore more investigation relating to how language learning theory applies to CALL is required. When this occurs judgements about the true effectiveness of CALL can be made.

Reference List

- Chapelle C. (1997) <http://llt.msu.edu/vol1num1/chapelle/> 'Call in the Year 2000: Still in Search of Research Paradigms?' **Language Learning and Technology**, Vol. 1, No. 1, July 1997, pp. 19-43
- Fox, G. (1998). 'The Internet: making it work in the ESL classroom'. **The Internet TESL Journal**, 4/9.
- Galloway I. and O'Brien D. (1998) <http://www.jalt-publications.org/tlt/articles/1998/02/galloway> 'Learning Online: Choosing the Best Computer-mediated Communication Activities'. **The Language Teacher Online**, Issue 22.02.
- Hanson-Smith E. (2001) Computer-assisted language learning. In Carter R. and Nunan D. **The Cambridge Guide to Teaching English to Speakers of Other Languages**. Cambridge: Cambridge University Press, 107-113.
- Ioannou-Georgiou S. (2006) 'Online Forum Report. The Future of CALL'. **ELT Journal**, 60, 4: 382-384.
- Jones J. (2001) 'CALL and the Responsibilities of Teachers and Administrators'. **ELT Journal**, 55, 4: 360-367.
- Richards J., J. Platt and H. Platt (1993) **Dictionary of Applied Linguistics**, London: Longman.
- Rooks M. J. (2008) <http://www.tell.is.ritsumei.ac.jp/callejonline2/file.php/1/rooks.html>
CALL-EJ Online, Vol. 10, No. 1, July 2008
- Saslow J. and Ascher A. (2006) **Top Notch Fundamentals**, White Plains NY: Pearson Longman.
- Saslow J. and Ascher A. (2006) **Top Notch 1**, White Plains NY: Pearson Longman.
- Singhal M. (1997) <http://iteslj.org/> **The Internet TESL Journal**, Vol. III, No. 6, June 1997
- Timucin M. (2006) 'Implementing CALL in an EFL Context'. **ELT Journal**, 60, 3: 262-271.
- Underwood J. (1984) **Linguistics, computers and the language teacher: a communicative approach**, Rowley, MA: Newbury House.
- Warschauer M. (1996) 'Computer Assisted Language Learning: an Introduction'.
In Fotos S. (ed.) **Multimedia language teaching**, Tokyo: Logos International: 3-20.

Appendix A: Pre-Course Questionnaire

English Communication Survey	
<p style="text-align: center;">Answer these questions about English. Check <input type="checkbox"/> one box.</p> <p>1. Do you think English is difficult to learn? <input type="checkbox"/> Very difficult <input type="checkbox"/> Difficult <input type="checkbox"/> So-so <input type="checkbox"/> Easy <input type="checkbox"/> Very easy.</p> <p>2. Do you like studying English? <input type="checkbox"/> No, I don't like English. <input type="checkbox"/> It's so-so. <input type="checkbox"/> Yes, English is interesting and fun.</p> <p>3. How often do you practice speaking English? <input type="checkbox"/> Never <input type="checkbox"/> Rarely <input type="checkbox"/> Sometimes <input type="checkbox"/> Often <input type="checkbox"/> Every day.</p> <p>4. Why are you studying English? <input type="checkbox"/> For college. <input type="checkbox"/> To get a job. <input type="checkbox"/> I want to travel. <input type="checkbox"/> I want to speak English. <input type="checkbox"/> Other. <small>(該当するものはすべて選んでください。)</small></p> <p>5. Do you have a computer at home? <input type="checkbox"/> No, I don't. <input type="checkbox"/> Yes, I do.</p> <p>6. How many hours a day do you use a computer? <input type="checkbox"/> 0 hours. <input type="checkbox"/> 0 - 1 hour. <input type="checkbox"/> 1 - 2 hours. <input type="checkbox"/> 2 - 3 hours. <input type="checkbox"/> More than 3 hours.</p> <p>7. Do you sometimes study English using your computer? <input type="checkbox"/> No, I don't. <input type="checkbox"/> Yes, I do.</p> <p>8. If your answer was "Yes, I do" in question 7, how do you study English with your computer? (日本語で。) _____</p>	<p>9. What English software programs have you used on a computer? _____</p> <p>10. How many hours a day do you use the Internet? <input type="checkbox"/> 0 hours. <input type="checkbox"/> 0 - 1 hour. <input type="checkbox"/> 1 - 2 hours. <input type="checkbox"/> 2 - 3 hours. <input type="checkbox"/> More than 3 hours.</p> <p>11. What kind of internet sites do you visit regularly? <small>(該当するものはすべて選んでください。)</small> <input type="checkbox"/> Networks. <input type="checkbox"/> Sports. <input type="checkbox"/> News. <input type="checkbox"/> Games. <input type="checkbox"/> Shopping. <input type="checkbox"/> Music / video. <input type="checkbox"/> Other.</p> <p>12. What are your favorite websites? I like _____ <small>(Example: /like_Google, Yahoo, Rakuten, YouTube.)</small></p> <p>13. How often do you visit English internet websites? <input type="checkbox"/> Never. <input type="checkbox"/> Rarely <input type="checkbox"/> Sometimes. <input type="checkbox"/> Often. <input type="checkbox"/> Always.</p> <p>14. Do you want to use the Internet to learn English? <input type="checkbox"/> No, I don't. <input type="checkbox"/> Yes, I do.</p> <p>15. Do you ever write Emails in English using your computer or cell phone? <input type="checkbox"/> No, never. <input type="checkbox"/> Yes, sometimes. <input type="checkbox"/> Yes, often.</p>
1	2

Appendix B: Post-Course Questionnaire

English Communication Survey	
<p>Part 1. Questions about the English Communication I Class.</p> <p>1. Is your English becoming better this year? <input type="checkbox"/> It's the same. <input type="checkbox"/> It's a little better. <input type="checkbox"/> It's much better.</p> <p>2. Was English Communication I interesting? <input type="checkbox"/> Very boring. <input type="checkbox"/> So-so. <input type="checkbox"/> Very interesting.</p> <p>3. Was the textbook useful? <input type="checkbox"/> Not useful. <input type="checkbox"/> Useful. <input type="checkbox"/> Very useful.</p> <p>4. Was the textbook interesting? <input type="checkbox"/> Very boring. <input type="checkbox"/> So-so. <input type="checkbox"/> Very interesting.</p> <p>5. Was the CD-ROM useful? <input type="checkbox"/> Not useful. <input type="checkbox"/> Useful. <input type="checkbox"/> Very useful.</p> <p>6. Was the CD-ROM interesting? <input type="checkbox"/> Very boring. <input type="checkbox"/> So-so. <input type="checkbox"/> Very interesting.</p> <p>7. Was the CD-ROM easy to use? <input type="checkbox"/> Very difficult. <input type="checkbox"/> Just right <input type="checkbox"/> Very easy.</p> <p>8. Did you use the CD-ROM to practice speaking aloud? <input type="checkbox"/> Never. <input type="checkbox"/> Sometimes. <input type="checkbox"/> Every lesson.</p> <p>9. Do you want to use computers more often in English class? <input type="checkbox"/> No, I don't want to use computers in English class. <input type="checkbox"/> It was just right (about 20 minutes a lesson). <input type="checkbox"/> I want to use computers more often in class.</p>	<p>Part 2. Your comments. Please write your answers in Japanese.</p> <p>1. English Communication で一番好きだったことは何ですか。 _____ _____ _____</p> <p>2. English Communication で一番苦手だったことは何ですか。 _____ _____ _____</p> <p>3. 今後のEnglish Communication の授業改善のために、みなさんからの意見を参考にしたいと思っておりますので、貴重な意見を書いてください。 _____ _____ _____</p>

日本大学工学部紀要

第52巻第2号

平成23年3月20日 印刷
平成23年3月25日 発行

非 売 品

編集兼
発行者

日本大学工学部工学研究所

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1

Tel. (024) 956-8648

〈e-mail address〉 kenkyu@ao.ce.nihon-u.ac.jp

印刷者 株式会社星総合印刷

〒962-0001 福島県須賀川市森宿字関表37-8

Tel. (0248) 72-5151

**JOURNAL OF THE COLLEGE OF ENGINEERING
NIHON UNIVERSITY
Vol. LII, No.2, 2011
CONTENTS**

ENGINEERING

- A fundamental study on strain reduction and recovering methods
..... Mitsuharu KURATA and Kazutaka SUGIYAMA (1)
- Development of method for introducing precrack into CT specimens of brittle materials
(In the case of Acrylic CT specimen)
..... Mitsuo MATSUDA, Takashi SATO and Atsushi HASHIMOTO (9)
- Development of Portal Site by Integration of Learning Data on Some LMS's
..... Suguru KAKINUMA and Hiroyuki WATANABE (19)
- Current - voltage characteristics and electric conduction of Au/PMMA/Ta structure
..... Masanori IKEDA, Katuya SUENAGA, Hirofumi SHIMIZU
Isamu SUZUKA and Tomokazu YOSHIZAWA (29)
- Evaluation of crystallinity of poly-Si thin film with surface photovoltage method
..... Masanori IKEDA, Hirofumi SHIMIZU, Hiroyuki TAKAMATSU and Naokazu SAKODA (35)

GENERAL STUDIES

- Behavioral comparison in inbred strain rats
-Active Avoidance Learning-
..... Eiko NAKATSUYAMA, Seiichiro MASUI and Osamu FUJITA (41)
- A Study of College Student Perceptions of a CALL Program in Japan
..... John FIEDELDY (49)