

久留米工業高等専門学校
紀 要

第15卷 第2号

MEMOIRS
OF
KURUME NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

Vol. 15 No. 2
MARCH 2000

平成 12 年 3 月

久留米工業高等専門学校

久留米工業高等専門学校

紀 要

第15巻 第2号

(平成12年3月)

目 次

疲労き裂の発生過程における応力分布の変化 —第2報 き裂の起点をだ円領域とした場合—	今森橋	井村	良和真	一也治	1
金属ひ素の平衡蒸気圧測定	重久馬	松保越	浩甚幹	気一郎男	9
ある種の非線形常微分方程式の初期値問題に対する 高位の微分差分法による数値解法	杠	頭一郎			17
真宗の一般性とフェミニズム・ジェンダー —「坊守」論を素材として—	松	尾	一		23
覚信尼への試論	松	尾	一		29
剣道「基本」用語論(1) —「基本」用語研究に関する課題—	木	寺	英	史	35
太陽光発電システム(並列連系システム構成)と運用について	大西南 高 中 古 田	淵出里 松島 賀中	博政勝 義	豊傑己 利行 涉規	39
表計算ソフト「エクセル」を用いた電子軌道シミュレーション	杉	森	欣	三	45
校内ネットワークシステムの西暦2000年問題への対応	江小馬 松	頭田場 本	成幹隆 健	人雄男 一	51

一般論文

疲労き裂の発生過程における応力分布の変化
— 第2報 き裂の起点をだ円領域とした場合 —

今 井 良 一
森 和 也
橋 村 真 治

Changes in Stress Distributions during Initiation Process of a Fatigue Crack
— Second Report —

Ryoichi IMAI
Kazuya MORI
Shinji HASHIMURA

In the previous paper, one of authors studied changes in stress distributions during initiation process of a fatigue crack. Characteristics of this paper are as follows;

- (1) An elliptical plate and an infinite plate which surrounds the elliptical plate replace a starting point of a fatigue crack and the region which surrounds it, respectively.
- (2) A theoretical analysis is carried out when an infinite plate is subjected to uniform loads.
- (3) Complex stress functions are used. Stresses are calculated.
- (4) The changes in stress distributions during initiation process of a fatigue crack are simulated by the changes in stress distributions of two plates during the period when the surface forces carried by the elliptical plate decrease.

1. 緒 言

著者の一人は先に、疲労き裂の発生過程における応力分布の変化に関して検討した¹⁾。先の研究では、き裂の起点とこれを囲む領域を円板と大きな板にモデル化した。疲労き裂の発生過程は、2枚の弾性板での剛性比が1.0から0.0へ変化する過程に対応させた。このような過程におけるモデル内の応力分布の変化を明らかにした。

標準的な機械部品の疲労挙動を明らかにする上で、き裂の起点内の応力分布とこれを取り囲む領域の応力分布を比較した場合、後者での応力分布を明らかにするほうがより重要である。また、普通応力分布のほうが変形よりも注目される。実際の機械部品においてき裂の起点を最初から特定することは容易ではない。き裂の起点やこれに隣接する領域のように極めて狭い局所の応力を測定することは一般に困難である。このような理由からこれらに対し応力分布の変化を直接測定調査することは困難である。

以上のような事情を考慮して、本研究では、き裂

の起点をだ円板に、これを囲む領域をだ円板を囲む大きな弾性板にモデル化した。疲労き裂の発生過程は、だ円板周上に作用する表面力が次第に0へ減少する過程に対応させた。モデルに対し弾性解析を行った。また、本研究と二三の実験結果^{2)~4)}との対応についても説明する。

先の研究¹⁾を第1報とする。

2. 疲労き裂の起点とこれを囲む領域に対するモデルの設定

き裂の起点とこれを囲む領域のモデルを設定するに際し、次の1)~5)を考慮した。

- 1) 特殊な場合を除けば、疲労き裂はほとんどの場合表面から発生する¹⁾。
- 2) 一般に、表面は平面応力状態であると考えてよい¹⁾。
- 3) 平滑試験片において、疲労限度の応力 σ_{wb} を繰返す時の微視的停留き裂の長さは $10\mu\text{m}$ 位であった⁵⁾。このことから分かるように、疲労き裂の起点とこれを囲む領域とで表面における面積を比較すれば、前者のものは極めて狭いが、後者のも

のは極めて広い。

- 4) 3) のことや応力分布が急変しない普通の機械部品表面を考えれば、き裂の起点から十分遠い領域では応力はほぼ一様に分布する。
- 5) 疲労き裂の発生過程の最初（応力の繰返数 $N=0$ ）では、き裂の起点になる領域もこれを取り囲む領域でも応力状態はほぼ同じと考えられる。過程の最初から最後近くまでき裂の起点と隣接する領域は境界を通じ互いに表面力を及ぼす。表面力の分布のパターンは過程の最初 $N=0$ のものに極めて似ている。しかし、過程の最後 $N=N_c$ （微小なき裂が発生するまでの繰返数）では、起点との境界は自由境界となる。このようにすることは一つの考え方である。そしてほぼこのようになる例については3.5節で説明できる。

以上の事項を考慮して、モデルとして、図1に示すような弾性板モデルを設定した。き裂の起点をだ円板に対応させたので、これを囲む領域はだ円板を囲む大きな板に対応させた。モデルに対する荷重状態としては、大きな板の外周上で等分布荷重が作用しそこでの応力成分 σ_{x2}^{∞} , σ_{y2}^{∞} , τ_{xy2}^{∞} , τ_{yx2}^{∞} がそれぞれ一定となる、そしてだ円周上に表面力が作用するものを取り上げた。このような荷重状態は疲労き裂の発生過程における起点とその近傍での応力分布を調査することに適する。

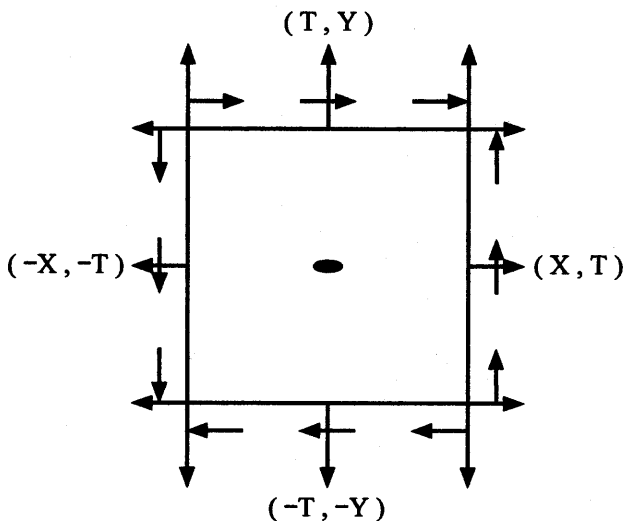


図1 き裂の起点とこれを囲む領域のモデル化
中央の黒い部分をき裂の起点とし、これを囲む領域をモデル化した。き裂の起点をだ円板に、き裂を囲む領域をだ円を囲む大きな板に対応させる。大きな板の各辺には等分布荷重が作用する。

3. モデルに対する弾性解析

モデルに対し弾性解析を行い、複素応力関数の計算法について説明する。

3.1 基礎理論

一般に、与えられた荷重状態の弾性板には一組の複素応力関数 $\mathcal{F}(z)$ と $\psi(z)$ が対応し、これらから応力 σ_x , σ_y , τ_{xy} 並びに合力 P_x , P_y は次式のように与えられる⁶⁾。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= 2\text{Re}[\mathcal{F}'(z)] - \text{Re}[\bar{z}\mathcal{F}''(z) + \psi''(z)], \\ \sigma_y &= 2\text{Re}[\mathcal{F}'(z)] + \text{Re}[\bar{z}\mathcal{F}''(z) + \psi''(z)], \\ \tau_{xy} &= \text{Im}[\bar{z}\mathcal{F}''(z) + \psi''(z)]. \end{aligned} \right\} (1)$$

$$-P_y - iP_x = \overline{\mathcal{F}(z)} + \{z\mathcal{F}'(z) + \psi'(z)\}. \quad (2)$$

図2に示す経路QP上の表面力 (p_x , p_y) と合力 P_x と P_y の関係は、

$$P_x = \int_Q^P p_x ds, \quad P_y = \int_Q^P p_y ds. \quad (3)$$

3.2 モデルに対する荷重型境界条件

境界条件は、次の1)と2)とした。

条件1) モデルの外周上に等分布荷重が作用する。したがって、そこでの各応力成分の値は、

$$\sigma_{x2}^{\infty} = X, \quad \sigma_{y2}^{\infty} = Y, \quad \tau_{xy2}^{\infty} = \tau_{yx2}^{\infty} = T. \quad (4)$$

条件2) モデルのだ円周上において表面力が作用する。だ円板が受ける表面力 (p_{x1} , p_{y1}) は、

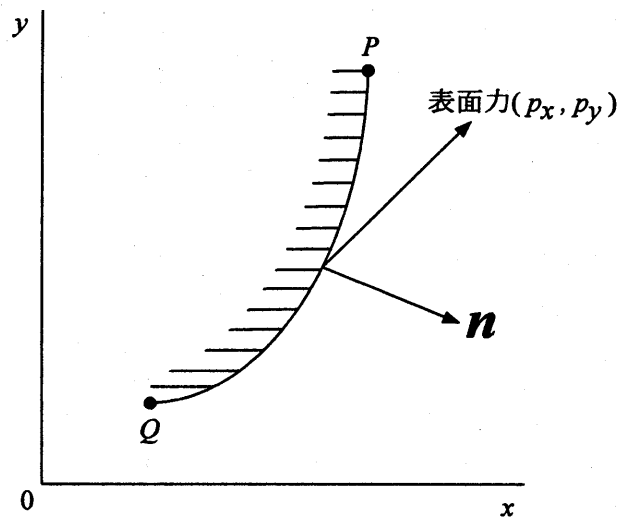


図2 経路QP上に作用する表面力 (p_x , p_y) と法単位ベクトル n

$$\begin{pmatrix} p_{x1} \\ p_{y1} \end{pmatrix} = t \begin{pmatrix} X & T \\ T & Y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l \\ m \end{pmatrix} \quad (5)$$

大きな板が受ける表面力 (p_{x2}, p_{y2}) は、

$$(p_{x2}, p_{y2}) = -(p_{x1}, p_{y1}) \quad (6)$$

である。係数 t を荷重負担率と呼ぶことにする。

係数 t の力学的意味としては、き裂の発生過程においてき裂の起点は外部からの荷重を負担できる能力が減少していく、その際の荷重負担率を表わすと考える。したがって、 $1.0 \geq t \geq 0.0$ とし得る。だ円外周上での単位接線ベクトルは t 、外向き法単位ベクトル $n = (l, m)$ である (図 3 参照)。

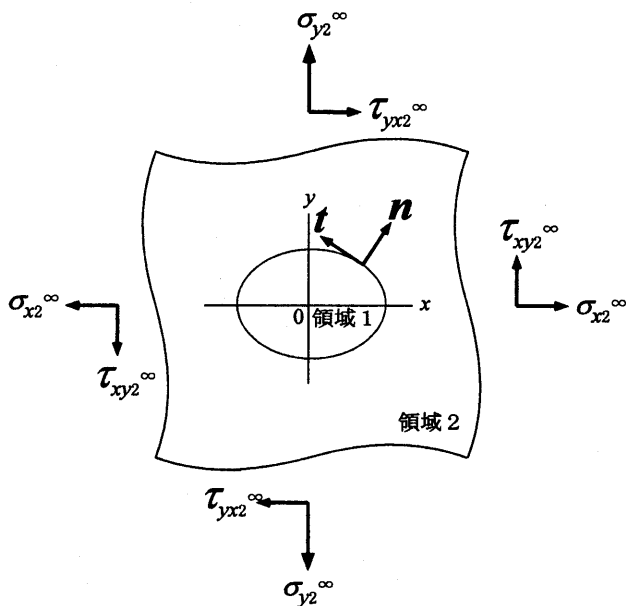
3.3 境界条件を満足させるための考え方

条件を満足させるための主な考え方として次の三つを取り上げた。

考え方 1: 合力を取り扱うこと

条件 2) を直接満足させるには表面力を取り扱わねばならないが、合力を取り扱う方が容易であるので、合力を取り扱う。その後で条件 2) が満たされていることを検証する。

考え方 2: 各複素応力関数の特徴を利用すること



領域 1: 長軸 $2a$ 、短軸 $2b$ のだ円板
 領域 2: 領域 1 を囲む非常に大きな正方形板
 だ円板の中心: xy 座標の原点 0
 だ円周上の単位接線ベクトル⁹⁾

$$t = (-a \sin \beta, b \cos \beta) / \sqrt{a^2 \sin^2 \beta + b^2 \cos^2 \beta},$$

法単位ベクトル

$$n = (b \cos \beta, a \sin \beta) / \sqrt{a^2 \sin^2 \beta + b^2 \cos^2 \beta},$$

角度 β は図 4 参照。

図 3 モデルの詳細図と Z 平面

まず 2 種類の関数 F と関数 G を導入する。前者 F は、一様な応力場を与える。後者 G は、 F によって生じるだ円周上での表面力を相殺する⁷⁾ がモデルの外周上では応力は生じないものである。次にこのような 2 種類の F と G の 1 次結合をだ円板と大きな板に対し用いる。

$$\begin{aligned} \text{だ円板に} & \quad tF, \\ \text{大きな板に} & \quad F + (1-t)G, \end{aligned} \quad (7)$$

をモデルに対する複素応力関数とする。

だ円周上での合力を考えた場合関数 F のみによるものを (P_x, P_y) とすれば関数 G のみによるものは丁度 $-(P_x, P_y)$ となるので、式 (7) によるものは $t(P_x, P_y)$ となる。また、式 (7) において $t=0$ としたときの $F+G$ は、自由なだ円孔をもつ大きな板の外周上で一様な応力分布をあたえる。

考え方 3: モデル内の点と別の平面上の点とを対応させること

モデル内のだ円外周を別の平面上の円周に対応させることができれば、だ円周上で境界条件を満足させることを円周での取り扱いに代えることができる。また、円周での取り扱い方¹⁾ が参考になる。以上のように考えると直接だ円周上を取り扱うより円周での取り扱いを実行する方が有利である。したがって、モデル内の点と別の平面上の点との対応、すなわち写像を行った。写像の要領⁶⁾⁸⁾⁹⁾ を以下に説明する。

モデルが存在する平面を z 平面、別の平面を ζ 平面とする (図 3 と図 4)。両平面間の写像は、式 (8) -

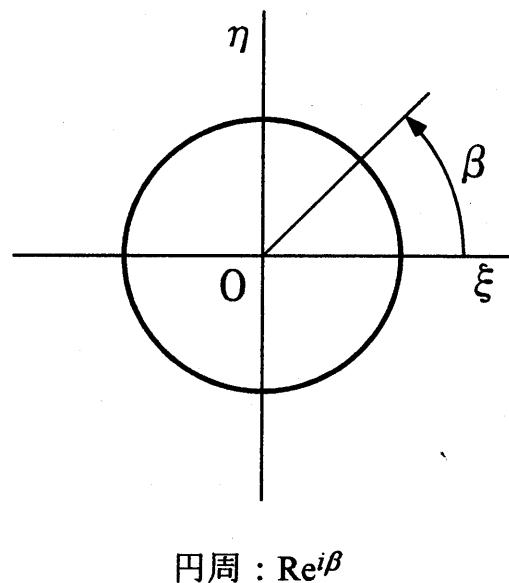


図 4 モデルの領域 2 に対応する ζ 平面 (円の外側)

式(10)に示す。

$$\begin{aligned} \text{写像関数} \\ z=Z(\zeta)=c(\zeta+1/\zeta), \\ c=\sqrt{a^2-b^2}/2, \end{aligned} \quad (8)$$

により,

だ円外周 ($x^2/a^2+y^2/b^2=1$) とその外側は, 円周 ($\text{Re}^{i\beta}$, $R=\sqrt{(a+b)/(a-b)}$) とその外側に対応する。

(9)

具体的には, z 平面上の点 $x+iy$ が与えられると,

$$\left. \begin{aligned} a_z &= \{ \sqrt{(x-2c)^2+y^2} \\ &\quad + \sqrt{(x+2c)^2+y^2} \} / 2, \\ b_z &= \sqrt{a_z^2-4c^2}, \\ x^2/a_z^2+y^2/b_z^2 &= 1, \\ R_z &= \sqrt{(a_z+b_z)/(a_z-b_z)}, \\ \cos \beta &= x/c / (R_z+1/R_z) = x/a_z, \\ \sin \beta &= y/c / (R_z-1/R_z) = y/b_z, \end{aligned} \right\} (10)$$

のように ζ 平面上の点 $R_z e^{i\beta}$ が特定できる。

以上のような考え方に基づいて3.4節においては特に G の形の決めかたを説明する。

3.4 モデルに対する複素応力関数の計算

大きな板に対する複素応力関数の一般形は, 以下のようなものとしてよい⁶⁾。

$$\begin{aligned} \mathcal{F}(z) &= \Phi(\zeta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \zeta^n, \\ \psi(z) &= \Psi(\zeta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} D_n \zeta^n + K \log \zeta. \end{aligned} \quad (11)$$

係数 C_n , D_n , K などは, 境界条件を満足するように決める。

応力成分並びに合力を複素応力関数から得るには, 導関数が必要である。それらの計算に必要な写像関数 $Z(\zeta)$ の ζ に関する導関数は表1に示す。また, z に関する導関数と ζ に関する導関数との対応は表2に示す⁶⁾。

一様な応力場を与えるもの⁶⁾は,

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{F}(z) &= Az, \\ \psi(z) &= Bz^2, \\ A &= (X+Y)/4, \\ B &= (Y-X)/4 + iT/2, \end{aligned} \right\} (12)$$

であり, 3.3節の関数 F に相当する。

式(12)によって生じるだ円周上での表面力を相殺するがモデルの外周上で応力を生じないものは,

表1 写像関数 $Z(\zeta)$ の ζ に関する導関数

$Z(\zeta)$	$Z(\zeta)'$	$Z(\zeta)''$
$c(\zeta + \frac{1}{\zeta})$	$c(1 - \frac{1}{\zeta^2})$	$\frac{2c}{\zeta^3}$

表2 z に関する I 次, II 次導関数を ζ に関する導関数で表示する方法⁶⁾

[$G(\zeta)$ は, 式(11)のものに対応する。 $Z(\zeta)$ は表1のものである。]

0次	I次	II次	
$G(\zeta)$	$\frac{G(\zeta)'}{Z(\zeta)'}$	$\frac{G(\zeta)''}{Z(\zeta)'^2}$	$\frac{G(\zeta)'}{Z(\zeta)'^3} \frac{Z(\zeta)''}{Z(\zeta)'}$

$$\left. \begin{aligned} \Phi(\zeta) &= C_{-1}/\zeta, \\ \Psi(\zeta) &= D_{-2}/\zeta^2 + K \log \zeta, \\ C_{-1} &= -2c(A + \bar{B}R^2), \\ D_{-2} &= c^2(\bar{B}R^4 - B), \\ K &= -2c^2A(R^{-2} + R^2) \\ &\quad - 2c^2(\bar{B} + B), \end{aligned} \right\} (13)$$

であり, 3.3節の関数 G に相当する。

式(13)の形は, 式(11)と式(12)に対し式(14)一式(15)のような操作をして得た。

モデルの外周上 ($\zeta = \infty$) では応力は生じないので, 係数 C_n , D_n の中で,

$$C_n = 0, D_n = 0, (n=0, 1, 2, 3, \dots) \quad (14)$$

式(11)と式(12)による合力の和はだ円周上 (ζ 面上の円周 $\text{Re}^{i\beta}$) で零とするので, $-P_y - iP_x |_{\zeta=\text{Re}^{i\beta}} = [\text{多くの } e^{i\beta} \text{ のべき乗} \times \text{係数の和}] / (\zeta^2 - 1) = 0$,

上式で $e^{i\beta}$ のべき乗の係数についてその係数をすべて零とする。

(15)

以上のように本報では, 条件2)を満足させるにあたり直接表面力を取り扱うより合力を取り扱うほうが容易であるので, 合力を取り扱った。その妥当性を次の1)と2)で確認した。

1) 複素応力関数からだ円板と大きな板それぞれの応力成分を求めた。それらの応力成分を用い, だ円周上での表面力の数値計算をした。だ円板の素表面力は大きな板の表面力のマイナスであった(表3参照)。

2) モデルのだ円周上が特に, 自由べり, すなわち表面力が零である場合, だ円板と大きな板の合力を $(P_{x1}, P_{y1}), (P_{x2}, P_{y2})$ とすれば(図2, 式

表 3 だ円周上の一部における表面力の値
(長軸 $2a$ ・短軸 a のだ円, $t=0.5$, $X=0$, $Y \neq 0$, $T=0$)

β 度	だ円板		大きな板	
	p_{x1}/Y	p_{y1}/Y	p_{x2}/Y	p_{y2}/Y
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	)	0.1663	)	-0.1663
20		0.2943		-0.2943
30		0.3780		-0.3780
40		0.4295		-0.4295
50		0.4611		-0.4611
60		0.4804		-0.4801
70		0.4919		-0.4919
80		0.4981		-0.4981
90	0.0000	0.5000	0.0000	-0.5000

(3)),

$$P_{x1} = \int 0 ds = 0, \quad P_{y1} = \int 0 ds = 0,$$

$$P_{x2} = \int 0 ds = 0, \quad P_{y2} = \int 0 ds = 0.$$

また, $dP_x/ds = p_x$, $dP_y/ds = p_y$, であるので, 逆に経路上任意の点で合力 $P_x=0$, $P_y=0$ なら, 経路上任意の点で表面力 $p_x=0$, $p_y=0$ と言える。実際だ円周上で,

$$P_{x2}=0, \quad P_{y2}=0,$$

としたので, $p_{x2}=0$, $p_{y2}=0$ 。

3.5 第 1 報の複素応力関数に対する検証

第 1 報¹⁾では, き裂の起点とこれを取り囲む領域を半径 a の円板 {横弾性係数 G_1 , ポアソン比 ν_1 , $K_1=(3-\nu_1)/(1+\nu_1)$ } とこれを囲む大きな弾性板 {横弾性係数 G_2 , ポアソン比 ν_2 , $K_2=(3-\nu_2)/(1+\nu_2)$ } にモデル化した。

剛性比 Γ , 係数 t_1 , t_2 を,

$$\Gamma = G_1/G_2,$$

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= \Gamma(K_2+1)/(2\Gamma-1+K_1), \\ t_2 &= \Gamma(K_2+1)/(\Gamma K_2+1), \end{aligned} \right\} (16)$$

とすれば,

円板の複素応力関数は,

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{F}(z) &= t_1 A z, \\ \phi(z) &= t_2 B z^2, \end{aligned} \right\} (17)$$

大きな板の複素応力関数は,

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{F}(z) &= A z - (1-t_2) 2\bar{B} a^2/z, \\ \phi(z) &= B z^2 + (1-t_2) \bar{B} a^4/z^2 \\ &\quad - (1-t_1) 2A a^2 \log z, \end{aligned} \right\} (18)$$

表 4 剛性比 Γ が 1.0 から 0.0 へ変化する過程での係数 t_1 と t_2 の値

[式 (16) 参照。材料が違っててもポアソン比は, ほぼ 0.3 であるので, $\nu_1 = \nu_2 = 0.3$ とした。]

Γ	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
t_1	1.0	0.963	0.920	0.870	0.811	0.741	0.656	0.550	0.417	0.241	0.0
t_2	1.0	0.965	0.925	0.878	0.822	0.755	0.672	0.569	0.435	0.255	0.0

と表示できる。

表 4 に剛性比 Γ が 1.0 から 0.0 に変化する過程での係数 t_1 と t_2 の数値を示す。表 4 から次の 1) - 3) が分かる。

- 1) 剛性比 Γ が 1.0 から 0.0 へと小さくなるに伴って係数 t_1 も t_2 も小さくなり, いずれも 1.0 と 0.0 の間である。
- 2) 係数 t_1 と t_2 は互いにほぼ等しい ($t_1 \approx t_2$)。
- 3) 1) と 2) を考慮すれば, t_1 と t_2 のいずれかを t とするか, あるいは $(t_1+t_2)/2$ を t としてもよい ($1 \geq t \geq 0$)。

そこで, 式 (17) と式 (18) 式中の係数 t_1 と t_2 を t に置き換えたものについて次の 1) - 3) は明白である。

- 1) 円板内で応力成分の値は,

$$\sigma_{x1} = tX, \quad \sigma_{y1} = tY, \quad \tau_{xy1} = tT.$$

円周を通じて受ける表面力 (p_{x1} , p_{y1}) は,

$$\begin{pmatrix} p_{x1} \\ p_{y1} \end{pmatrix} = t \begin{pmatrix} X & T \\ T & Y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ m \end{pmatrix}. \quad (19)$$

- 2) 円板と大きな弾性板のいずれの複素応力関数でも円周 ($zz = a^2$) での合力は,

$$-P_y - iP_x = 2t(A\bar{z} + Bz). \quad (20)$$

3) $t=0.0$ の状態は, 自由な円孔をもつ大きな板の外周上で一様な応力分布となるような応力場をあたえる。特に, 大きな板の複素応力関数について第 1 項は式 (7) の F に, 第 2 項以降が G に対応している。

4. き裂の起点とこれを囲む領域内の応力分布とその変化

工学的に重要な内容を以下に説明する。

4.1 荷重状態

荷重 X , Y , T の値を調整すれば, 指定の状態を実現できる。本章では, $X=0$, $T=0$, 一様引張荷重 Y をうける状態¹⁾のみを取り上げ数値計算した。

この荷重状態は回転曲げ疲労試験でのものに対応する、モデルの x 軸に沿ってき裂が伝ばするようなモード I 型の状態にも対応するので、意義がある。

4.2 応力分布とその変化

荷重 X, Y, T を受ける場合、だ円板内での応力成分は、

$$\sigma_{x1}=tX, \quad \sigma_{y1}=tY, \quad \tau_{xy1}=tT。$$

大きな板内での応力成分は、

$$\begin{aligned} \sigma_{x2} &= X + (1-t) \operatorname{Re} \left[\frac{-2C_{-1}}{c(\zeta^2-1)} - \frac{2C_{-1}}{c} \frac{\zeta^3(\bar{\zeta}+1/\bar{\zeta})}{(\zeta^2-1)^3} \right. \\ &\quad \left. + \frac{K}{c^2} \frac{\zeta^2(\zeta^2+1)}{(\zeta^2-1)^3} - \frac{D_{-2}}{c^2} \left\{ \frac{6}{(\zeta^2-1)^2} + \frac{4}{(\zeta^2-1)^3} \right\} \right] \\ \sigma_{y2} &= Y + (1-t) \operatorname{Re} \left[\frac{-2C_{-1}}{c(\zeta^2-1)} + \frac{2C_{-1}}{c} \frac{\zeta^3(\bar{\zeta}+1/\bar{\zeta})}{(\zeta^2-1)^3} \right. \\ &\quad \left. - \frac{K}{c^2} \frac{\zeta^2(\zeta^2+1)}{(\zeta^2-1)^3} + \frac{D_{-2}}{c^2} \left\{ \frac{6}{(\zeta^2-1)^2} + \frac{4}{(\zeta^2-1)^3} \right\} \right] \\ \tau_{xy2} &= T + (1-t) \operatorname{Im} \left[\frac{2C_{-1}}{c} \frac{\zeta^3(\bar{\zeta}+1/\bar{\zeta})}{(\zeta^2-1)^3} \right. \\ &\quad \left. - \frac{K}{c^2} \frac{\zeta^2(\zeta^2+1)}{(\zeta^2-1)^3} + \frac{D_{-2}}{c^2} \left\{ \frac{6}{(\zeta^2-1)^2} + \frac{4}{(\zeta^2-1)^3} \right\} \right] \end{aligned}$$

ただし、 $1 \geq t \geq 0$, (21)

表 5 だ円板を囲む大きな板の x 軸上における応力 σ_{y2} の分布 (長軸 $2a$ ・短軸 a のだ円, $X=0, Y \neq 0, T=0$, だ円板内の応力 $\sigma_{y1}=tY, 0 \leq t < 1$ 。)

x/a	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.0	3.0	4.0
$\frac{\sigma_{y2}-Y}{(1-t)Y}$	4.000	1.763	1.047	0.713	0.526	0.408	0.329	0.171	0.063	0.034

のように応力分布とその変化は表わせる。

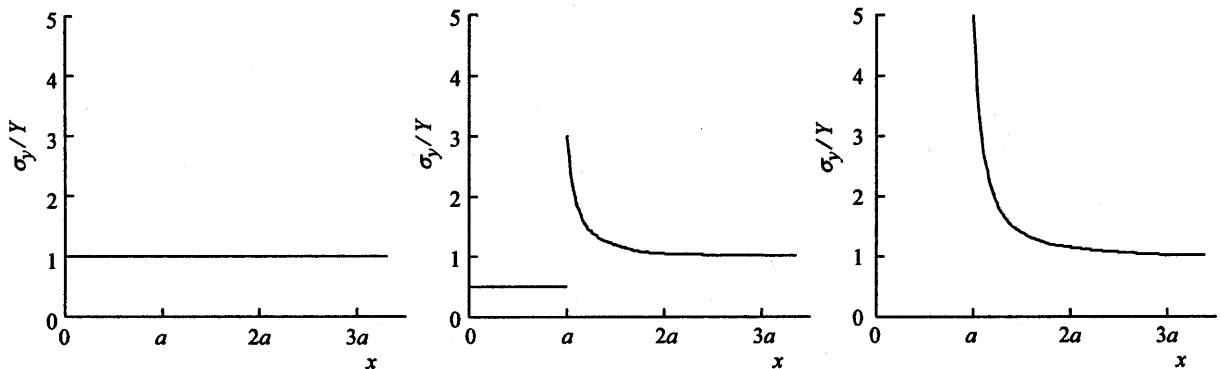
疲労き裂の発生過程が終りそれに続く疲労き裂の伝ば過程に入るときき裂は起点から隣接する領域に伝ばする。特に荷重 Y のみを受けるモデルにおいては、x 軸に添ってき裂が伝ばすることに対応する。このことを推定するため応力分布については、 σ_y の x 軸上での応力分布とその変化に関する数値計算データを表 5 に示す。また、それらの例を図 5 に示す。

4.3 本研究結果と実験結果との対応

機械工業において大量に使用する鋼材に関する二三の回転曲げ疲労試験結果と本研究結果との対応について説明する。

高尾ら²⁾は、電解研磨した S15C 材のき裂発生過程は、1 結晶粒程度のき裂となるべき部分全体にわたって徐々に疲労被害が蓄積されて自由表面に近づくという過程であると考えている。この内容は、き裂の起点とこれを取り囲む領域との境界面が次第に自由 (表面力 p_x も p_y も 0) になることと解釈できる。したがって、だ円周上を通じてだ円板が大きな板に対し及ぼす表面力が次第に小さくなり最終的には 0 になる、言い替えると荷重負担率 t が $1.0 \rightarrow 0.0$ になることに対応する。

西谷ら³⁾は、ペーパー研磨後電解研磨した表面を連続観察した写真を示している。S45C 焼ならし材 (硬さ Hv210) と S45C 焼入れ焼戻し材 (硬さ Hv308) を比較すれば、前者の微視的停留き裂の長さは、硬い後者のものより少し長いようであると説明している。そして実際平滑な表面に対する写真からは、疲労き裂の起点の範囲は軟らかい前者の方が硬い後者より広いようである。本研究でのだ円寸法 (a と b) 並びに荷重状態は、与えられた状況に



(a) $t=1.0$ (疲労き裂発生過程の最初に対応する) (b) $t=0.5$ (疲労き裂発生過程の途中に対応する) (c) $t=0.0$ (疲労き裂発生過程の最後に対応する)

図 5 荷重負担率 t が減少する過程におけるモデルの x 軸上での応力分布とその変化 (荷重は、 $X=0, Y \neq 0, T=0$ で、だ円板の $b/a=0.5$ である場合)

適宜対応できるので、与えられたモデルでの応力分布もその変化も推定できる。

村田ら⁴⁾は、疲労き裂発生の様相を明らかにするため、SCM3鋼にみられた疲労き裂発生起点近傍の1例を写真で示している。そしてき裂はすべて介在物を起点として発生していることや介在物-マトリックス界面ではなく離が観察されたことなどを示している。き裂発生位置における疲労過程は介在物とマトリックス間ではなく離することによって介在物先端で応力集中を起こすと同時に開始すると考えている。本研究の図5よりだ円外周に接する点[大きな板の点(a, 0)]に高い応力が発生することはあきらかであり、この点からx軸に沿ってき裂が伝ばすると予測できる。このことから村田ら⁴⁾の考えに本研究内容は符号する。「はく離」が生じたことに関しては、これが起点内並びにマトリックス内の応力分布に及ぼす影響を推定することは困難であろう。例えば、困難なこととして、はく離箇所を特定することや固着・接触・はく離が混在する状態での応力分布を特定することなどが考えられる。したがって、このような場合での応力状態を解析するには介在物とマトリックスの境界に沿っての合力を取り扱うことが実的に有効と考える。

5. 結 論

疲労き裂の起点とこれを取り囲む領域を微小なだ円板とこれを囲む大きな板にモデル化した。モデルに対する境界条件は荷重型境界条件のみとした。疲

勞き裂の発生過程をだ円板周上での荷重すなわち表面力を負担する割合が1.0から0.0へと低下する過程に対応させた。以上のような設定での応力分布に検討を行い次の結論を得た。

1) モデルが一樣引張荷重を受ける場合において荷重負担率 t が1.0から0.0へ低下するに伴いだ円板内の応力は低下する。一方大きな板のだ円周上の付近では応力は高くなる。

2) 荷重負担率 t が1.0から0.0へ低下する過程でのモデル内の応力分布から疲労き裂の起点とこれを取り囲む領域内のものは推定できると思われる。

最後に本研究の数値計算処理は、本校電子計算室においてFD-FORTRANによって行われたことを記し、関係者並びに制御情報工学科高橋教授に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 今井・奥園：久留米高専紀要，6-2 (1991)，1.
- 2) 高尾・西谷：機論，46-402，A (1980)，123.
- 3) 西谷・今井：機論，51-463，A (1985)，766.
- 4) 村田・向井：機論，58-555，A (1992)，2067.
- 5) 今井・ほか2名：久留米高専紀要，5-1 (1989)，11.
- 6) 森口：2次元弾性論，(1957)，6，12，15，62，64，76，岩波書店.
- 7) 石田・ほか2名：機論，45-395，A (1979)，743.
- 8) 古屋・ほか7名：代数学・幾何学，(1977)，31，大日本図書.
- 9) 田河・ほか10名：応用数学，(1977)，10，64，大日本図書.

一般論文

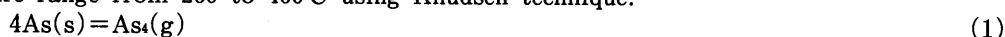
金属ひ素の平衡蒸気圧測定

重 松 浩 気
久 保 甚 一 郎
馬 越 幹 男

Equilibrium Vapor Pressure Measurements of Arsenic

Koki SHIGEMATSU
Jinichirou KUBO
Mikio UMAKOSHI

Equilibrium vapor pressures of As_4 gas formed by the following reaction (1) were measured in the temperature range from 260 to 400°C using Knudsen technique.



Vaporization coefficients, α of As_4 gas were estimated by the equation (2) and were found to be $10^{-7} \sim 10^{-4}$ order which implies that As_4 gases were formed in complicated processes on the arsenic solid surface. The average number of α , 9.25×10^{-5} was used at any temperature for calculating of the equilibrium vapor pressures, P_e by substituting values of α .

$$P_k(\text{cellA}) \left(1 + \frac{aK_A}{A\alpha}\right) = P_k(\text{cellB}) \left(1 + \frac{aK_B}{A\alpha}\right) \quad (2)$$

A logarithm of equilibrium vapor pressure of As_4 gas determined in this experiments is expressed as a function of reciprocal numbers of temperatures in the following equation.

$$\log P_e = -6883/T + 7.820 \quad (3)$$

This result is found to be in good agreement with those of A. Euken and J. A. Dean.

1. はじめに

金属の原料である鉱石中に含まれるひ素化合物は製錬中に複雑な挙動を示し、そのコントロールがなかなか困難でありプロセス全体に悪影響を及ぼすことが知られている。著者らは、金属の製錬プロセスで生じるひ素の厄介な挙動を少しずつ解明するために多くのひ素化合物が比較的低温（800°C以下）で熱分解反応や蒸発を起こす化学的特徴に注目して種々のひ素化合物の平衡蒸気圧をクヌーゼン法で測定してきた。

今回は、多くのひ素化合物の中でも温度や酸素分圧に対し最も基本的な挙動を示すと思われる金属ひ素の平衡蒸気圧を測定したので報告する。ひ素化合物の蒸気圧に関するデータは文献にほとんど見られないが、金属ひ素に関しては A. Euken¹⁾ や J. A. Dean²⁾ などいくつか測定されており、それらのデータと比較することにより本結果の妥当性についても検討した。

2. 金属ひ素試料

平衡蒸気圧の測定に供した試料は、古河機械金属工業（株）社製で99.9999%の純度を持っている。この試料のX線回折パターンは無定形であることを示した。これをアルゴンガス中で250メッシュ以下に破碎し20mgを精秤してセル内の底面一杯に平らにして入れた。

3. 測定原理およびクヌーゼンセル

測定原理については前報³⁾に詳細しており、今回とまったく同様であるから省略する。高純度炭素製クヌーゼンセルについても前報で使用したものと同一であるが、実験結果と関連しているのので、これについては外略図と断面図を図1の(a)と(b)にそれぞれ示した。また、セル各部の寸法および Kennard⁴⁾が提出した(1)と(2)式より決定したクラウジング係数についても表1に示した。

$$\frac{l}{r} = 0 \sim 1.5 \quad K = \frac{1}{1 + 0.5(l/r)} \quad (1)$$

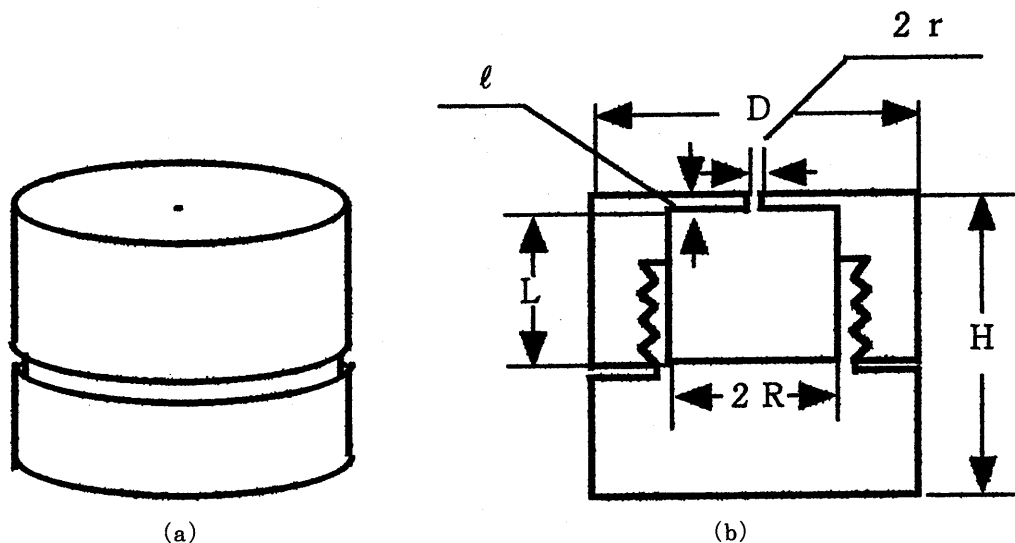


図1 クヌーゼンセルの (a) 外観および (b) 断面の概略図

表1 本実験で用いた3つクヌーゼンセルの寸法とクラウジング係数

セル	r(mm)	ℓ(mm)	R(mm)	D(mm)	H(mm)	クラウジング係数 K
セル A	0.249	2.027	3.50	15.0	13.0	0.224
セル B	0.251	1.367	3.50	15.0	13.0	0.295
セル C	0.164	0.902	3.50	15.0	13.0	0.293

$$\frac{l}{r} > 1.5 \quad K = \frac{1 + 0.4(l/r)}{1 + 0.95(l/r) + 0.15(l/r)^2} \quad (2)$$

4. 測定装置および方法

クヌーゼンセルを用いた本測定装置および方法についても前報³⁾とまったく同じであるので省略する。ただし、金属ひ素は図2に示す熱重量分析結果から約210℃以上で活発に蒸発を開始するので、セルAとセルBについては260℃から400℃まで、セルCは280℃から384℃まで測定した。

5. 測定結果および考察

金属ひ素からの蒸発は800℃以下の温度範囲では多くの研究者⁵⁾が指摘しているように蒸気種はAs₄であり次の(3)式によって蒸発反応は示される。



セルA、セルBおよびセルCを使って得られた(4)式により定義される m、(5)式により算出される蒸気圧 P₀、クラウジング係数を入れて(6)式に

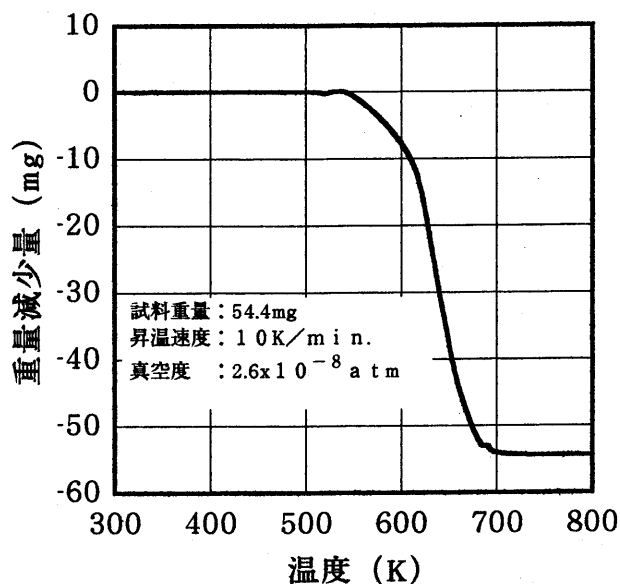


図2 金属ひ素試料の熱分析結果

より補正した蒸気圧 P_k および (8) 式から金属ひ素の蒸発係数 α を推算しその値を (7) 式に代入して得られた真の平衡蒸気圧 P をそれぞれ表2、表3お

表2 セルAを用いて測定した \dot{m} より(5)、(6)および(7)式により算出した蒸気圧

温度 (K)	\dot{m} (g/sec. cm ²)	P_0 (atm)	P_k (atm)	P_e (atm)
533	1.79×10^{-6}	5.38×10^{-8}	2.32×10^{-7}	3.27×10^{-6}
538	3.85×10^{-6}	1.16×10^{-7}	5.01×10^{-7}	7.08×10^{-6}
543	7.71×10^{-6}	2.34×10^{-7}	1.01×10^{-6}	1.42×10^{-6}
548	9.10×10^{-6}	2.78×10^{-7}	1.20×10^{-6}	1.69×10^{-5}
553	1.20×10^{-6}	3.68×10^{-7}	1.59×10^{-6}	2.24×10^{-5}
553	8.35×10^{-6}	2.56×10^{-7}	1.10×10^{-6}	1.56×10^{-5}
558	1.43×10^{-6}	4.40×10^{-7}	1.90×10^{-6}	2.68×10^{-5}
563	2.00×10^{-6}	6.19×10^{-7}	2.67×10^{-6}	3.77×10^{-5}
568	2.50×10^{-6}	7.78×10^{-7}	3.35×10^{-6}	4.73×10^{-5}
573	3.13×10^{-6}	9.76×10^{-7}	4.20×10^{-6}	5.94×10^{-5}
578	4.01×10^{-6}	1.26×10^{-6}	5.41×10^{-6}	7.63×10^{-5}
583	6.44×10^{-6}	2.03×10^{-6}	8.72×10^{-6}	1.23×10^{-4}
588	7.51×10^{-6}	2.37×10^{-6}	1.02×10^{-5}	1.44×10^{-4}
588	8.19×10^{-6}	2.59×10^{-6}	1.12×10^{-5}	1.57×10^{-4}
595	1.23×10^{-4}	3.90×10^{-6}	1.68×10^{-5}	2.37×10^{-4}
598	1.42×10^{-4}	4.52×10^{-6}	1.95×10^{-5}	2.75×10^{-4}
603	1.22×10^{-4}	3.92×10^{-6}	1.69×10^{-5}	2.38×10^{-4}
608	1.89×10^{-4}	6.08×10^{-6}	2.62×10^{-5}	3.70×10^{-4}
613	2.09×10^{-4}	6.76×10^{-6}	2.91×10^{-5}	4.11×10^{-4}
618	3.05×10^{-4}	9.90×10^{-6}	4.26×10^{-5}	6.02×10^{-4}
623	3.51×10^{-4}	1.14×10^{-5}	4.91×10^{-5}	6.93×10^{-4}
628	4.01×10^{-4}	1.31×10^{-5}	5.63×10^{-5}	7.95×10^{-4}
633	4.81×10^{-4}	1.58×10^{-5}	6.79×10^{-5}	9.58×10^{-4}
638	6.26×10^{-4}	2.06×10^{-5}	8.87×10^{-5}	1.25×10^{-3}
643	7.51×10^{-4}	2.48×10^{-5}	1.07×10^{-4}	1.51×10^{-3}
648	9.41×10^{-4}	3.12×10^{-5}	1.34×10^{-4}	1.90×10^{-3}
653	1.10×10^{-3}	3.67×10^{-5}	1.58×10^{-4}	2.23×10^{-3}
658	1.24×10^{-3}	4.15×10^{-5}	1.79×10^{-4}	2.52×10^{-3}
663	1.40×10^{-3}	4.70×10^{-5}	2.03×10^{-4}	2.86×10^{-3}
668	1.34×10^{-3}	4.53×10^{-5}	1.95×10^{-4}	2.75×10^{-3}
673	1.00×10^{-3}	3.39×10^{-5}	1.46×10^{-4}	2.06×10^{-3}

よび表4に示した。

$$\dot{m} = \frac{\text{測定時間に流出した重量減少量(g)}}{\text{オリフィス断面積(cm}^2\text{)} \times \text{測定時間(s)}} \quad (4)$$

$$P_0 = \frac{\dot{m}}{44.33} \left(\frac{T}{M} \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$P_k = \frac{\dot{m}}{44.33K} \left(\frac{T}{M} \right)^{1/2} \quad (6)$$

$$P_e = \frac{\dot{m}}{44.33K} \left(\frac{T}{M} \right)^{1/2} \left(1 + \frac{aK}{A\alpha} \right) \quad (7)$$

ここで、Tは絶対温度(K)、Mは蒸気種であるAs₄の分子量(-)、Kはクラウジング係数(-)、

表 3 セル B を用いて測定した m より (5), (6) および (7) 式により算出した蒸気圧

温度 (K)	$m(g/cm^2)$	$P_0(atm)$	$P_k(atm)$	$P_e(atm)$
533	1.30×10^{-5}	3.91×10^{-7}	1.29×10^{-6}	2.32×10^{-5}
538	7.34×10^{-6}	2.22×10^{-7}	7.32×10^{-7}	1.32×10^{-5}
543	6.99×10^{-6}	2.12×10^{-7}	7.01×10^{-7}	1.26×10^{-5}
548	6.69×10^{-6}	2.04×10^{-7}	6.74×10^{-7}	1.21×10^{-5}
553	1.10×10^{-5}	3.37×10^{-7}	1.11×10^{-6}	2.00×10^{-5}
558	1.23×10^{-5}	3.86×10^{-7}	1.28×10^{-6}	2.29×10^{-5}
563	1.72×10^{-5}	5.31×10^{-7}	1.75×10^{-6}	3.15×10^{-5}
568	2.45×10^{-5}	7.6×10^{-7}	2.51×10^{-6}	4.52×10^{-5}
573	3.07×10^{-5}	9.57×10^{-7}	3.16×10^{-6}	5.68×10^{-5}
573	2.63×10^{-5}	8.19×10^{-7}	2.70×10^{-6}	4.86×10^{-5}
578	5.15×10^{-5}	1.61×10^{-6}	5.32×10^{-6}	9.57×10^{-5}
583	6.30×10^{-5}	1.98×10^{-6}	6.55×10^{-6}	1.18×10^{-4}
588	7.36×10^{-5}	2.33×10^{-6}	7.68×10^{-6}	1.38×10^{-4}
593	8.75×10^{-5}	2.78×10^{-6}	9.16×10^{-6}	1.65×10^{-4}
598	1.29×10^{-4}	4.10×10^{-6}	1.35×10^{-5}	2.43×10^{-4}
603	1.03×10^{-4}	3.29×10^{-6}	1.09×10^{-5}	1.95×10^{-4}
608	1.38×10^{-4}	4.43×10^{-6}	1.46×10^{-5}	2.63×10^{-4}
608	1.35×10^{-4}	4.33×10^{-6}	1.43×10^{-5}	2.57×10^{-4}
613	1.84×10^{-4}	5.93×10^{-6}	1.96×10^{-5}	3.52×10^{-4}
618	2.27×10^{-4}	7.36×10^{-6}	2.43×10^{-5}	4.37×10^{-4}
623	2.94×10^{-4}	9.57×10^{-6}	3.16×10^{-5}	5.68×10^{-4}
628	3.78×10^{-4}	1.24×10^{-5}	4.0×10^{-5}	7.33×10^{-4}
633	4.52×10^{-4}	1.48×10^{-5}	4.90×10^{-5}	8.80×10^{-4}
638	5.62×10^{-4}	1.85×10^{-5}	6.11×10^{-5}	1.10×10^{-3}
643	6.63×10^{-4}	2.19×10^{-5}	7.2×10^{-5}	1.30×10^{-3}
648	8.29×10^{-4}	2.75×10^{-5}	9.08×10^{-5}	1.63×10^{-3}
653	9.97×10^{-4}	3.32×10^{-5}	1.10×10^{-4}	1.97×10^{-3}
658	1.16×10^{-3}	3.89×10^{-5}	1.28×10^{-4}	2.31×10^{-3}
663	1.35×10^{-3}	4.53×10^{-5}	1.50×10^{-4}	2.69×10^{-3}
668	1.47×10^{-3}	4.95×10^{-5}	1.64×10^{-4}	2.94×10^{-3}
673	1.58×10^{-3}	5.33×10^{-5}	1.76×10^{-4}	3.17×10^{-3}

α は蒸発係数 (-), A はセル内断面積 (cm^2), a はオリフィス断面積 (cm^2)を示す。

さて, 3種類の蒸気圧 P_0, P_k および P_e の関係を明確にするために表 2 に示したセル A の結果だけを用いて, それぞれ 3種類の蒸気圧の対数と温度の逆数との関係を図 3 に示した。本実験で使用したクヌーゼンセルのオリフィス形状は理想的な刃状ではなく円管チャンネルなので P_0 値にクラウジング係数,

K を入れて (6) 式のように補正しなければならない⁶⁾。 K は 1より小さいため図 3 から解るように補正された蒸気圧, P_k は全体的に値が大きくなる。さらに真の蒸気圧 P_e は (7) 式が示すように金属ひ素の蒸発係数 α を推算しなければならない。 α の推算は次の (8) 式で行った。

表 4 セル C を用いて測定した m より (5), (6) および (7) 式により算出した蒸気圧

温度 (K)	$m(g/cm^2)$	$P_0(atm)$	$P_k(atm)$	$P_e(atm)$
553	4.28×10^{-5}	1.31×10^{-6}	4.33×10^{-6}	3.59×10^{-5}
558	4.69×10^{-5}	1.44×10^{-6}	4.76×10^{-6}	3.95×10^{-5}
563	5.19×10^{-5}	1.60×10^{-6}	5.29×10^{-6}	4.39×10^{-5}
564	6.67×10^{-5}	2.06×10^{-6}	6.8×10^{-6}	5.6×10^{-5}
569	7.74×10^{-5}	2.41×10^{-6}	7.94×10^{-6}	6.58×10^{-5}
574	6.61×10^{-5}	2.06×10^{-6}	6.81×10^{-6}	5.64×10^{-5}
579	1.05×10^{-4}	3.28×10^{-6}	1.08×10^{-5}	8.97×10^{-5}
583	1.64×10^{-4}	5.16×10^{-6}	1.70×10^{-5}	1.41×10^{-4}
588	1.96×10^{-4}	6.19×10^{-6}	2.04×10^{-5}	1.69×10^{-4}
593	2.53×10^{-4}	8.02×10^{-6}	2.65×10^{-5}	2.19×10^{-4}
604	4.89×10^{-4}	1.56×10^{-5}	5.16×10^{-5}	4.28×10^{-4}
608	3.75×10^{-4}	1.20×10^{-5}	3.97×10^{-5}	3.29×10^{-4}
613	5.12×10^{-4}	1.65×10^{-5}	5.44×10^{-5}	4.51×10^{-4}
621	6.67×10^{-4}	2.17×10^{-5}	7.14×10^{-5}	5.92×10^{-4}
623	5.55×10^{-4}	1.81×10^{-5}	5.95×10^{-5}	4.93×10^{-4}
628	7.19×10^{-4}	2.35×10^{-5}	7.74×10^{-5}	6.41×10^{-4}
634	9.90×10^{-4}	3.24×10^{-5}	1.07×10^{-4}	8.88×10^{-4}
638	1.00×10^{-3}	3.30×10^{-5}	1.09×10^{-4}	9.02×10^{-4}
643	1.14×10^{-3}	3.78×10^{-5}	1.25×10^{-4}	1.03×10^{-3}
648	1.16×10^{-3}	3.85×10^{-5}	1.27×10^{-4}	1.05×10^{-3}
653	1.21×10^{-3}	4.04×10^{-5}	1.33×10^{-4}	1.11×10^{-3}
657	6.49×10^{-4}	2.17×10^{-5}	7.15×10^{-5}	5.92×10^{-3}

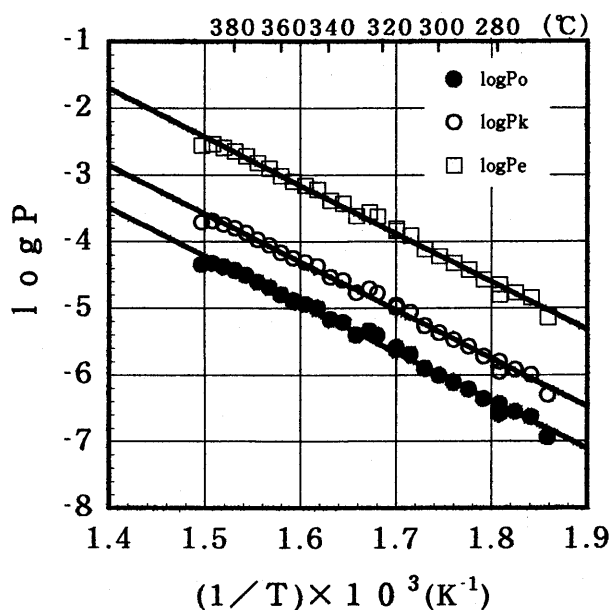


図 3 セル A の結果から計算した P_0 , P_k および真の平衡蒸気圧 P_e の対数と温度の逆数との関係

表 5 各セルの組み合わせにより (8) 式から推算した蒸発係数 α の値

セルの組み合わせ	温度 (K)	蒸発係数
A と B	540	4.57×10^{-5}
	550	4.42×10^{-7}
A と C	600	2.60×10^{-5}
	610	9.26×10^{-5}
	620	1.85×10^{-4}
B と C	630	3.22×10^{-4}
	610	7.95×10^{-6}
	620	4.13×10^{-5}
	630	7.96×10^{-5}
	640	1.24×10^{-4}
平均 値		9.25×10^{-5}

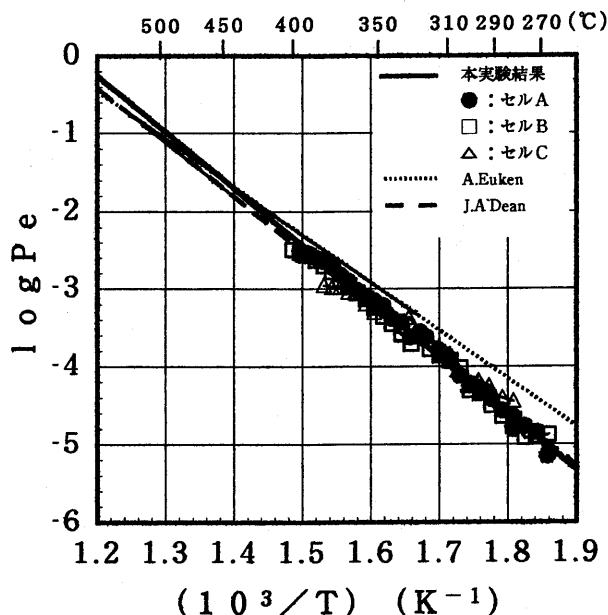


図4 セルA, BおよびCを用いて得られた平衡蒸気圧の対数値と温度の逆数との関係

$$P_k(\text{セル A}) \left(1 + \frac{aK_A}{A\alpha}\right) = P_k(\text{セル B}) \left(1 + \frac{aK_B}{A\alpha}\right) \quad (8)$$

ここで、 P_k (セル A) や P_k (セル B) はそれぞれセル A とセル B で測定して得られた P_k 値を示す。同一温度ならば金属ひ素が示す真の蒸気圧 P_0 は同じであるから (8) 式より蒸発係数 α の値が得られる。同様にセル A とセル C, セル B とセル C とを組み合わせて蒸発係数 α の値を計算した。

それぞれの組み合わせから得られた蒸発係数 α の値を表5に示した。各組み合わせから得られた α 値は温度により異なり⁷⁾, $10^{-7} \sim 10^{-4}$ の広い範囲にわたるオーダーを示した。実際に (7) 式より P_0 を計算する場合は表中の値を全て平均した値 9.25×10^{-5} をどの温度にも適用した。蒸発係数 α 値が非常に小さいため図3のセルAの P_0 の対数値が P_k よりさらに上昇することが解る。さて、蒸発係数は物質の結晶構造や蒸気種の形成プロセスに左右される物質特有の値だと考えられているが、その値が小さいほど固体表面で蒸気種が形成される過程が複雑であると推定されている⁷⁾。ひ素の場合もまず固体中のひ素の結合が切断され拡散を伴いながら4原子が再結合し固体表面から離脱するいくつかの素過程が含まれていると推定される。

さて、同様な補正や計算をセル B やセル C にも行って得た表2, 3および4の P_0 値の対数値と温度

の逆数との関係を図4に示した。図4には、本実験とは異なる流出法⁶⁾で測定した A. Euken¹⁾ (測定温度範囲: 600~900K) や J. A. Dean²⁾ (測定温度範囲: 713~1088K) らの測定値についても同載した。本実験結果は、どのセルで測定した場合でも真の平衡蒸気圧 P_0 が良好に一致し、さらに温度範囲は異なるが A. Euken や J. A. Dean らの測定結果を本実験の測定温度範囲まで延長してみれば十分に一致していることが解る。著者らは他のひ素化合物についても同様な方法で平衡蒸気圧を測定しているが、本結果から判断して本方法で得られたデータは信頼できると考えて良いであろう。

図4中のセル A, B および C で測定した本実験結果のプロットをすべて最小自乗法し、平衡蒸気圧 P_0 の対数と温度の逆数との関係について以下に示す関係式 (9) を得た。

$$\log P_0 = -6883/T + 7.820 \quad (9)$$

また、(9) 式と Gibbs-Helmholtz の式を利用して得られた (3) 反応のエンタルピー変化、 ΔH は 131.8 kJ また エントロピー変化、 ΔS は 18 J となった。

6. ま と め

金属ひ素が次の (1) 式に基づいて生成するひ素ガスの



平衡蒸気圧を高純度グラファイト製のクヌーゼンセルを用いて 260~400°C 間で測定し以下に述べる結論を得た。

まず、(1) によりひ素ガスが蒸発する時の蒸発係数は $10^{-7} \sim 10^{-4}$ のオーダーを示し、 As_4 ガスがひ素固体表面で拡散過程を含む複雑なプロセスで形成され離脱することが推定された。一方、本測定データから真の平衡蒸気圧を計算する場合は得られた蒸発係数を平均した値、 9.25×10^{-5} をどの温度にも適用した。本実験から得られた平衡蒸気圧 P_0 (atm) の対数は次の (2) 式で温度と関係づけられることが判明した。

$$\log P_0 = -6883/T + 7.820 \quad (2)$$

(2) の結果は、現在世界的に推奨されている A. Euken や J. A. Dean らの測定結果と良く一致することが解り、本実験から得られるデータの精度が信頼できるものであることが判明した。

参 考 文 献

- 1) A. Eucken : Metallwirtsch, Vapour Pressure of Metals-asesment, vol15, (1936) 63
 - 2) J. A. Dean : Lange's HANDBOOK OF CHEMISTRY, 12th edition, (1978), section 10-29
 - 3) 重松浩気, 久保甚一郎, 馬越幹男 : 久留米工業高等専門学校紀要第15巻第1号 (1999) 31
 - 4) E. H. Kennard : Kinetic Theory of Gases, McGraw-Hill (1938) 306
 - 5) 例えば C. C. Herric & R. C. Feber : Vaporization Study on Arsenic, J. Phys. Chem., Vol.72 (1968) 1102
 - 6) 日本化学会 : 新実験化学講座 2, 基礎技術 1 熱・圧力, 丸善, (1977) 333
 - 7) 佐田敏之 : 固体の関与する無機反応, 日本化学会編, 化学総説, No.9 (1975) 130
- ~~~~~

一般論文

ある種の非線形常微分方程式の初期値問題に対する
高位の微分差分法による数値解法

杠 顕一郎

Numerical Solution by Differential-Difference Method of High-Order
for a Type of Non-Linear Initial-Value Problems

Kenichirou YUZURIHA

In this paper, the author has studied methods for solving good approximate value by using the differential-difference method of high-order for the next form of non-linear initial-value problems :

$$y'' + p(x, y)y' + q(x, y)y = r(x, y), \quad y(a) = A, \quad y'(a) = B.$$

One of the key formulas in this solution is :

$$y_i = y_{i-1} + h(y'_{i-1} + y'_i)/2 + 9h^2(y_{i-1}^{(2)} - y_i^{(2)})/84 + h^3(y_{i-1}^{(3)} + y_i^{(3)})/84 + h^4(y_{i-1}^{(4)} - y_i^{(4)})/1680 + h^9 y^{(9)}(\xi)/25401600.$$

This is made from a numerical integral formula by the application of Hermite interpolating polynomials which the author developed in his previous paper 4). By this papers method, we can get better approximate solutions than the previous paper 5).

1. 緒 言

微分方程式の厳密解即ち解析解は、関数で表されるが、数値解法として計算機で解く場合は、解を何らかの方法で有限個の数値で表すことになる。そこでよく使われるのが、次の2つの方法である。即ち1) 関数を、有限個の助変数をもつ関数(例えば基底の一次結合など)で近似し、その助変数の値(基底の一次結合の場合は基底とその係数)を有効に決定する方法で、近似解法と云われることが多い。それに対して、もう1つの方法は、2) 所定の区間から有限個の代表分点 x_i をとり、 x_i における解関数値を、方程式を満たす真の値になるべく近い値になるように求める方法で、離散近似解法とか、差分近似解法、またはそれらをまとめて一般に数値解法と云う。本論は後者に属する解法で、参考文献5)の問題に対する継続研究である。5)で作成した微分差分公式よりもさらに高位の公式を作成して、数値解法の精度を高める方法を研究した。計算はかなり複雑になるが、精度を上げるためには必然的に計算の質と量が増大し、数値解法は複雑になる。理想的には、なるべく計算量を少なくかつ近似度が高い方法がよいが、それは相反することの探究で非常に難しく、研究者が等しく苦心しているところである。

2. 初期値問題と高位の微分差分近似式の作成

ここでは、問題とその解計算に使用する主な数式の作成について述べる。本論では次の形の問題

$$y'' + p(x, y)y' + q(x, y)y = r(x, y), \quad y(a) = A, \quad y'(a) = B. \quad (2.1)$$

を考える。ここで、係数関数 $p(x, y)$, $q(x, y)$, $r(x, y)$ は任意に与えられた C^5 級関数で、 y は x の関数とする。はじめに、筆者が研究している Hermite 補間の理論を応用して文献5)で作成使用した数式より高位の微分差分公式を作成する。その前段として、ある区間 I で任意に与えられた C^{2k} 級関数 $y(x)$ に対する $(2k-1)$ 次の区分的 Hermite 補間多項式とその誤差について述べる。なお、この補間多項式は、次に示す補間条件の関係で奇数次しか存在しない。さて、2点間 $[x_1, x_2]$ における $(2k-1)$ 次の区分的 Hermite

補間多項式 $p(x)$ は、次の条件を満たす関数として定義される。

$$p^{(j)}(x_i) = y^{(j)}(x_i) \quad (i=1, 2; j=0, 1, 2, \dots, (k-1)) \quad (2.2)$$

この Hermite 補間多項式 $p(x)$ は、

$$p(x) = \sum_{j=0}^{k-1} a_j(x-x_1)^j + (x-x_1)^k \sum_{j=0}^{k-1} a_{k+j}(x-x_2)^j \quad (2.3)$$

とにおいて、補間条件 (2.2) を用いると一意に決定される。この多項式 $p(x)$ の係数の決定方法は、 $a_j(0 \leq j \leq k-1)$ については

$$p^{(j)}(x_1) = j! a_j = y^{(j)}(x_1) \quad \text{より} \quad a_j = \frac{y^{(j)}(x_1)}{j!} \quad (0 \leq j \leq k-1) \quad (2.4)$$

$a_{k+j}(0 \leq j \leq k-1)$ については、(2.3) 式を

$$p(x) = A(x) + (x-x_1)^k a_{k+j}(x-x_2)^j + B(x) \quad (2.5)$$

とにおいて決定する。上式の $A(x)$, $B(x)$ は、それぞれ係数 $a_0, a_1, \dots, a_{k+j-1}$ と $a_{k+j+1}, \dots, a_{2k-1}$ をもつ多項式である。そこで、(2.5) において、 $p^{(j)}(x_2)$ を考え、Leibniz の定理と条件 (2.2) を使うと、残りの係数は

$$a_{k+j} = \frac{y^{(j)}(x_2) - A^{(j)}(x_2)}{j! h^k} \quad (0 \leq j \leq k-1, h = x_2 - x_1) \quad (2.6)$$

となる。次に、こうしてえられる $(2k-1)$ 次の区分的 Hermite 補間多項式 $P(x)$ を用いて、関数 $y(x)$ に対する数値積分公式を作成する。いま、 $p(x)$ を区間 $[x_1, x_2]$ で積分すると

$$I_1 = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx = \sum_{j=1}^{k+1} \frac{a_{j-1}}{j} h^j + \sum_{j=1}^{k-1} \frac{(-1)^j j! a_{k+j}}{(k+1)(k+2)\dots(k+1+j)} h^{k+j+1} \quad (2.7)$$

となる。この式と (2.6) から、 j が奇数のときは数値積分公式における関数値 $y^{(j)}(x_2)$ の係数が負になることがわかる。ここで、 $a_0, a_1, \dots, a_{2k-1}$ は、(2.4) と (2.6) によって決定される係数である。そこで、(2.7) を用いて、関数 $y(x)$ の区間 $[a, b]$ における $(2k-1)$ 次の区分的 Hermite 補間多項式による数値積分公式を記述すると、次のようにかける。

$$\int_a^b y(x) dx = \sum_{i=1}^n I_i + E[y] \quad (2.8)$$

ここで、 $E[y]$ は積分公式の誤差である。次に $y \in C^{2k}[a, b]$ と仮定して誤差 $E[y]$ を求めよう。いま、区間 $[a, b]$ の分割小区間 $[x_1, x_2]$ において、条件 (2.2) を満たす関数 $p(x)$ を用いて、次の関数 $E(x)$ を考える。 \bar{x} はこの小区間内で、任意に固定した点とする。

$$E(x) = [y(x) - p(x)] - [y(\bar{x}) - p(\bar{x})] \frac{w(x)}{w(\bar{x})}, \quad w(\bar{x}) \neq 0, \quad x_1 \leq x \leq x_2$$

ここで、 $w(x) = (x-x_1)^k(x-x_2)^k$

$E(x)$ は、区間 $[x_1, x_2]$ において条件 (2.2) より重複度を含めて $(2k+1)$ 個の零点をもつので、

$$E^{(2k)}(\xi) = y^{(2k)}(\xi) - \left[y(\bar{x}) - p(\bar{x}) \frac{(2k)!}{w(\bar{x})} \right] = 0, \quad \exists \xi \in (x_1, x_2)$$

$$\therefore y(\bar{x}) - p(\bar{x}) = \frac{y^{(2k)}(\xi(\bar{x}))}{(2k)!} (\bar{x}-x_1)^k (\bar{x}-x_2)^k, \quad \xi(\bar{x}) \text{ は } \bar{x} \text{ に depend}$$

$$\therefore E_1(y) = \int_{x_1}^{x_2} (y(x) - p(x)) dx = \frac{1}{(2k)!} \int_{x_1}^{x_2} y^{(2k)}(\xi(x)) (x-x_1)^k (x-x_2)^k dx$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{(2k)!} y^{(2k)}(\eta) \int_{x_1}^{x_2} (x-x_1)^k (x-x_2)^k dx \\
&= \frac{(-1)^k f^{(2k)}(\eta)}{(2k+1)\{2k(2k-1)\cdots(k+1)\}^2} h^{2k+1}, \quad h=x_2-x_1
\end{aligned} \tag{2.9}$$

従って、区間 $[a, b]$ を n 等分したときの区分的 Hermite 補間による $(2k-1)$ 次の積分公式の誤差 $E[f]$ は

$$E[y] = \int_a^b (y(x) - p(x)) dx = \sum_{i=1}^n E_i[y] = \frac{(-1)^k y^{(2k)}(\eta)}{(2k+1)\{2k(2k-1)\cdots(k+1)\}^2} h^{2k} \tag{2.10}$$

とかける。さて、これらの結果から、本論の初期値問題の数値解法に使用する主要公式を作成する。(2.7) において区間 $[x_1, x_2]$ を $[x_{i-1}, x_i]$, $k=4$ として 7 次の積分公式を求めると、次のようになる。

$$\begin{aligned}
I_{i-1} = & \frac{h}{2} \left\{ (y_{i-1} + y_i) + \frac{9h}{42} (y'_{i-1} - y'_i) + \frac{h^2}{42} (y''_{i-1} + y''_i) + \frac{h^3}{840} (y^{(3)}_{i-1} - y^{(3)}_i) \right\} \\
& + \frac{y^{(6)}(\zeta)}{25401600} h^9
\end{aligned} \tag{2.11}$$

この公式の係数は、(2.4) と (2.6) 式により求めるが、計算はかなり複雑になる。なお、この数式については、別の方法でも計算してこれが正しいことを確かめた。この 7 次の数値積分公式から、容易に次のような高位の微分差分公式がえられる。なお、ここでは、 $y(x)$ は C^9 級関数とする。

$$\begin{aligned}
y_i = & y_{i-1} + \frac{h}{2} (y'_{i-1} + y'_i) + \frac{9h^2}{84} (y''_{i-1} - y''_i) + \frac{h^3}{84} (y^{(3)}_{i-1} + y^{(3)}_i) + \frac{h^4}{1680} (y^{(4)}_{i-1} - y^{(4)}_i) \\
& + \frac{y^{(6)}(\zeta)}{25401600} h^9
\end{aligned} \tag{2.12}$$

3. 微分差分近似式に組み込む高次の微分数式

さて、本論の問題 (2.1) の数値解を求めるに当たり、(2.12) 式と連携して使用する高次の微分数式を求める。いま、考える区間 $[a, b]$ のきざみ幅を h として、 $x_i = a + ih$, $i=1 \sim (n+1)$ とおき、 $y(x_i)$ を簡単に y_i とかく。ところで、問題 (2.1) の y'' 以外の項を右辺に移行し、 x について順次に微分していく。ここで、表現を簡単にするため、例えば、 $y^{(3)}(x)$ を $y^{(3)}$, $p_{xy}(x, y)$ を p_{xy} , $y^{(k)}(x_i)$ を $y_i^{(k)}$ 等と略記する。

$$y^{(3)}(x) = r_x - q_x y + (r_y - p_x - q_y y - q) y' - p_y (y')^2 - p y''$$

$$\begin{aligned}
y^{(4)}(x) = & r_{xx} - q_{xx} y + (2r_{xy} - p_{xx} - 2q_{xy} y - 2q_x) y' + (r_{yy} - 2p_{xy} - q_{yy} y - 2q_y) (y')^2 \\
& + (r_y - 3p_y y' - 2p_x - q_y y - q) y'' - p_{yy} (y')^3 - p y^{(3)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y^{(5)}(x) = & r_{xxx} - q_{xxx} y + 3(r_{xy} - q_{xy} y - q_{xx}) y' - p_{xxx} y' + 3(r_{xyy} - p_{xyy} - q_{xyy} y) (y')^2 \\
& - 6q_{xy} (y')^2 + 3(r_{xy} - p_{xx} - q_{xy} y - q_x) y'' + (r_{yyy} - q_{yyy} y) (y')^3 \\
& - 3(p_{xyy} + q_{yy}) (y')^3 - p_{yyy} (y')^4 - p y^{(4)} + \{3(r_{yy} - q_{yy} y) - 9p_{xy} - 6q_y\} y' y'' \\
& - 6p_{yy} (y')^2 y'' - 3p_y (y'')^2 + (r_y - 4p_y y' - 3p_x - q_y y - q) y^{(3)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y^{(6)}(x) = & r_{xxxx} - q_{xxxx}y + \{4(r_{xxxxy} - q_{xxxxy}y - q_{xxxx}) - p_{xxxx}\}y' \\
 & + \{6(r_{xxyy} - q_{xxyy}y - 2q_{xxy}) - 4p_{xxy}\}(y')^2 + \{6(r_{xxy} - q_{xxy}y - q_{xx}) - 4p_{xxx}\}y'' \\
 & + \{4(r_{xyyy} - q_{xyyy}y) - 6(p_{xxyy} + 2q_{xyy})\}(y')^3 \\
 & + 6(2r_{xyy} - 3p_{xxy} - 2q_{xyy}y - 4q_{xy})y'y'' + \{4(r_{xy} - q_{xy}y - q_x) - 6p_{xx}\}y^{(3)} \\
 & + (r_{yyyy} - q_{yyyy}y - 4q_{yyy} - 4p_{xyyy})(y')^4 + 6(r_{yyy} - q_{yyy}y - 4p_{xyy} - 3q_{yy})(y')^2y'' \\
 & - p_{yyy}(y')^5 + 3(r_{yy} - q_{yy}y - 4p_{xy} - 2q_y)(y'')^2 \\
 & + 4(r_{yy} - q_{yy}y - 4p_{xy} - 2q_y)y'y^{(3)} - 10p_{yyy}(y')^3y'' - 15p_{yy}y'(y'')^2 \\
 & - 10p_yy''y^{(3)} - py^{(5)} - 10p_{yy}(y')^2y^{(3)} - 5p_yy'y^{(4)} + (r_y - 4p_x - q_yy - q)y^{(4)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y^{(7)}(x) = & r_{xxxxx} - q_{xxxxx}y + \{5(r_{xxxxy} - q_{xxxxy}y - q_{xxxx}) - p_{xxxx}\}y' \\
 & + \{10(r_{xxxxy} - q_{xxxxy}y - 2q_{xxx}) - 5p_{xxx}\}(y')^2 \\
 & + \{10(r_{xxyy} - q_{xxyy}y - q_{xxx}) - 5p_{xxx}\}y'' \\
 & + 10(r_{xxyy} - q_{xxyy}y - p_{xxyy} - 3q_{xyy})(y')^3 \\
 & + 30(r_{xxyy} - q_{xxyy}y - 2q_{xxy} - p_{xxy})y'y'' + 10(r_{xxy} - q_{xxy}y - q_{xx} - p_{xxx})y^{(3)} \\
 & + 5\{r_{xyyy} - q_{xyyy}y - 2(p_{xxyy} + 2q_{xyy})\}(y')^4 \\
 & + 30(r_{xyyy} - q_{xyyy}y - 2p_{xxy} - 3q_{xyy})(y')^2y'' \\
 & + 20(r_{xyy} - q_{xyy}y - 2q_{xy} - 2p_{xxy})y'y^{(3)} + 5(r_{xy} - q_{xy}y - q_x - 2p_{xx})y^{(4)} \\
 & + (r_{yyyy} - 5p_{xyyy} - 5q_{yyy} - q_{yyyy}y)(y')^5 \\
 & + 10(r_{yyy} - q_{yyy}y - 4q_{yyy} - 5p_{xyyy})(y')^3y'' \\
 & + 15(r_{xyy} - q_{xyy}y - 2p_{xxy} - 2q_{xy})(y'')^2 + 15(r_{yyy} - q_{yyy}y - 5p_{xyy} - 3q_{yy})y'(y'')^2 \\
 & + 10(r_{yyy} - q_{yyy}y - 3q_{yy} - 5p_{xyy})(y')^2y^{(3)} \\
 & + 10(r_{yy} - q_{yy}y - 5p_{xy} - 2q_y)y''y^{(3)} - p_{yyyy}(y')^6 \\
 & + 5(r_{yy} - q_{yy}y - 5p_{xy} - 2q_y)y'y^{(4)} - 6p_yy'y^{(5)} - 15p_{yyy}(y')^4y'' \\
 & - py^{(6)} - 45p_{yyy}(y'y'')^2 - 20p_{yyy}(y')^3y^{(3)} - 15p_{yy}(y'')^3 - 60p_{yy}y'y''y^{(3)} \\
 & - 10p_y(y^{(3)})^2 - 15p_yy''y^{(4)} - 15p_{yy}(y')^2y^{(4)} + (r_y - 5p_x - q_yy - q)y^{(5)}
 \end{aligned}$$

4. 解計算のアルゴリズム

ここでは、本論の問題に対する解法の計算手順を述べる。勿論プログラムを組み、計算機を使用する。

[1] データとして、本問題

$$y'' + p(x, y)y' + q(x, y)y = r(x, y), \quad p, q, r \in C^5, \quad y(a) = A, \quad y'(a) = B$$

の係数関数 $p(x, y)$, $q(x, y)$, $r(x, y)$ と初期値 A, B を与える。

[2] 係数関数 $p(x, y)$, $q(x, y)$, $r(x, y)$ の偏導関数をそれぞれ 5 次まで計算する。総数は 60 個の数式になる。これらの関数は前節の $y^{(k)}(x)$ ($k=3\sim 7$) の計算に利用する。

[3] 初期条件を出発値として、問題の微分方程式と、手順 [2] の $y^{(k)}(x)$ ($k=3\sim 7$) を用いて、分点 $x_i = a + ih$,

($i=1\sim(n+1)$)における $y_i^{(k)}$ ($k=0, 1, \dots, 7$) の値を計算する。その場合、予測子として次の 2 式の主要項及び、それらを適当に組み合わせた式を使用する。

$$y_{i+1} = y_i + h y_i' + \frac{h^2}{2} y_i'' + \frac{h^3}{6} y_i^{(3)} + \frac{h^4}{24} y_i^{(4)} + \frac{h^5}{120} y_i^{(5)} + \frac{h^6}{720} y_i^{(6)} + \frac{h^7}{5040} y_i^{(7)} + E_1$$

$$y_{i+1}' = y_i' + h y_i'' + \frac{h^2}{2} y_i^{(3)} + \frac{h^3}{6} y_i^{(4)} + \frac{h^4}{24} y_i^{(5)} + \frac{h^5}{120} y_i^{(6)} + \frac{h^6}{720} y_i^{(7)} + E_2$$

ここで、 E_1, E_2 は公式の打切誤差で $E_1 = \frac{h^8}{40320} y^{(8)}(\xi)$, $E_2 = \frac{h^7}{5040} y^{(8)}(\eta)$

[4] 手順 [3] で求めた $y_i^{(k)}$ ($k=2\sim 7$) と y_{i+1}, y_{i+1}' の値をもとにして、2 節で求めた (2.12) 式の主要項を修正子として用い、近似解の精度を高めていく。即ち、 $i=2\sim(n+1)$ の各 i に対して、

$$y_i^{(k)} \approx y_{i-1}^{(k)} + \frac{h}{2} (y_{i-1}^{(k+1)} + y_i^{(k+1)}) + \frac{9h^2}{84} (y_{i-1}^{(k+2)} - y_i^{(k+2)}) + \frac{h^3}{84} (y_{i-1}^{(k+3)} + y_i^{(k+3)}) \\ + \frac{h^4}{1680} (y_{i-1}^{(k+4)} - y_i^{(k+4)}) \quad (k=0, 1, 2, 3)$$

を用いて、 $y_i^{(3)} \Rightarrow y_i^{(2)} \Rightarrow y_i' \Rightarrow y_i$ をこの順で計算し、本問題の数値解 y_2, y_3, \dots, y_{n+1} の値を順次に求めていく。

[5] 手順 [4] で計算した近似解の精度をさらに上げるため、 y_i ($i=2\sim n+1$) の値を手順 [3] にもどして、[3] \Leftrightarrow [4] と、反復計算を行う。この操作は、解が h に関するある一定の桁数以内では振動しなくなるまで繰り返し、近似精度を最良にしてからプリントアウトする。

5. 結 言

微分方程式はその形により解法も多種多様で、解析的に解けない多くの問題を数値的に解く場合、近似解の精度を上げるためには、きざみ幅 h の order が高位の複雑な数式が必要になる。本解法は、筆者が作成した高次の Hermite 補間多項式を用いた数値積分公式から導き出される高位の微分差分公式を適用することに着目した。この解法は出発値が少なく、しかも参考文献 5) よりも h の order が高いのでより高精度の数値解が得られる方法である。本解法の数値実験は、前節のアルゴリズムを骨子にして、今後に取り組み予定である。ところで、本論に関する今後の研究課題の 1 つとして、境界値問題を解く足がかりにしたいと考えている。それは、出発値 y_i の近似値をある理論を応用して求め、この初期値問題解法の手順で境界端点における近似解 y_n を求める。この方法で、はじめに求めた y_i の近似値近傍の種々の値を出発値として y_n を計算し、 y_n が与えられた境界値に十分に近い、ある数値条件以内の値になったときに各分点における数値解を出力する方法である。これは解が初期条件に連続的に依存することを利用するものである。本論の継続研究としたい。

尚、本稿を終えるに当たり謝辞を述べたい。第 3 節の合成関数の高次微分 $y^7(x)$ は相当に複雑な手計算で、その検算にもかなりの時間を費やした。そんなとき、数学の田中助教授がパソコン用の数式処理計算ソフト「マシマティカ」の威力をうまく活用して、33 行に及ぶ長い計算数式を出力して頂き、3 節にまとめたこの数式が正しいことを検証できた。深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) P. M. Prenter. Spline and Variational Methods. Wiley Interscience Publication. 1975, p64-69.
- 2) 一松 信, 数値解析, 税務経理協会, 1971, p221-228
- 3) 杠頭一郎, 区分的 Hermite 補間とその数値積分への応用, 久留米高専研究報告第 35 号, 1981, 3, p19-25
- 4) 杠頭一郎, 区分的 Hermite 補間とその数値積分への応用 (2), 日本数学教育学会誌, 第 65 巻 3 号, 1983, p44-49
- 5) 杠頭一郎, ある種の非線形常微分方程式の初期値問題に対する高位の差分法による数値解法, 久留米高専紀要第 6 巻 2 号, 1991, 3

一般論文

真宗の一般性とフェミニズム・ジェンダー
—「坊守」論を素材として—

松 尾 一

Gender and the Politics Shin-Budhahism

Hajime MATSUO

＜設問＞の前提

1998年に真宗大谷派山陽教区坊守会は、『坊守制度検討資料』（真宗大谷派山陽教区教務所刊）を作成するために各種のアンケートを実施した。このアンケートのなかで本稿の関心から興味を惹かれるのが、「坊守」全般に対する寺院住職の意見の持ち方である。

「住職の意見」を一読して印象的なことは、大多数の住職たちは、寺院における日常の実体験を踏まえ、「坊守」は寺院・教団にとって必要な存在であると答えている。そして、必要と考える根拠をみると、概ね、寺院における主たる門徒への性的対応の役割、住職の秘書（補佐）的役割、法事・研修会等での会場宿泊準備、食事の配膳・湯茶の用意等々、といったあたりに分類できると思う。要するに、真宗寺院・教団においては、住職が主（教化専従）で坊守は従（補佐役）という意識で、平たく表現すれば、「住職のお父さんがお仕事をして、坊守のお母さんは家事の合間にお父さんの仕事を手伝う」という発想＝事態の認識であるように見受けられる。

しかしながら、このいわば日本の男性社会での相場通りの発想による「住職・坊守」観については、例えば真宗大谷派山陽教区坊守会では、1983年より、「坊守問題小委員会」を発足させ、こうした発想の「坊守」観自体の問い直しを行ってきた。この山陽教区坊守会の取り組みで注目すべき点は、「坊守」を真宗寺院・教団を構成する役職（職分）として理解し、坊守の役割が住職とともに寺院を支えていく性質のものであり、住職たちが認識するような家事労働を本質としない、と主張したところにある。

山陽教区坊守会が、「坊守」を真宗という宗教における、組織構成上で不可欠な役割であると認識す

るにいたった理由は、そもそもは住職と同様に日常の寺院運営での体験に基づくところが大きかったものと思われる。しかしながら、山陽教区坊守会は、十数年の「坊守問題」への取組から、「坊守」の役割と特色について、確固たる歴史・教学上における根拠を持ったようである。

坊守の歴史と役割についてここで深くふれる余裕はないが、坊守がその成立の根拠を、真宗という宗派の宗教的性格によるということが、坊守会が主張する根拠の一つとなっていることは間違いない。（真宗大谷派山陽教区坊守編集・松尾一執筆『真宗を歴史の中に生きる』2000年刊行予定）さて、坊守を真宗という宗教に根ざした「役割」・「役職」として理解する坊守会に対して、アンケートにみる住職の意見は相変わらず古くさい。いわば、世間でいわれる家庭は「お父さん仕事で家族の生活を支え、お母さんは家事で家族の世話をし」成り立っているという相場通りの発想で、住職は坊守を寺院の主婦が役割という考えでいるようである。

アンケートにみられる住職の意識には、多くの住職が世襲の寺院家庭で、子供の頃より「男の子は住職後継者として、女の子は坊守予定者として」育て、一種の意識の刷り込み（インプリンティング）が行われた結果に他ならない。そして、私はこれに加えて、住職たちの教育課程における「真宗史理解・認識」の問題があることを指摘したい。

ほとんどの真宗教団では、住職資格の要件として、宗派所定の教育機関での単位取得を基礎資格として「教師」資格取得を義務づける。そして、小論にとって重要な点は、多くの宗門校で開講されている「真宗史」の講義のあり方である。あるいは「真宗学」自体に問題があるのかもしれない。

開講される「真宗史」の機軸は、宗祖親鸞と本願寺歴代の業績・教団組織の整備と展開・各時代にお

ける教学の変遷と特色、といったあたりであり、どのように考えても、男性中心の真宗史と考えざるをえない。つまり、宗門校の「真宗史」においては、坊守の役割はおろか女性の力も正面に取り上げられる可能性は少ない。

例えば、真宗史において、恵信尼・覚信尼は、宗祖・本願寺を支えた「篤信の女性」(=真宗女性の亀鏡)として紹介され、女性(尼)の宗教活動として評価することはまずない。しかし実際を覚信尼の例でいえば、覚信尼は実質的に本願寺の開祖としての役割を果たしたのである。言い換えれば、本願寺を中心とした真宗史の起点を、本願寺・覚信尼教団の活動、あるいは「肉食夫帯の尼の宗教活動」として評価しなければならないということである。(「覚信尼への試論」『久留米工業高等専門学校紀陽』15巻2号、2000年刊行予定)

というわけで、女性と仏教を論ずることは、日本仏教史研究に新たな視点を提供する可能性を有しているといえるのである。(「研究通信・研究会日本の女性と仏教」『仏教史学研究』28巻2号、1986年、85頁以下、筆名は遠藤 一、1999年3月以降は松尾 一、以下同じ。)

「仏教と女性」の現実

「女性と仏教」(決して「仏教と女性」ではないことに留意)が新たな日本を含めた仏教像を切り開く可能性があるという指摘したが、ことはそれほど簡単ではない。先に坊守問題に絡めて真宗大谷派の認識の有り様を揶揄したが、学びと生活からの「意識の刷り込み」という事態の深刻さは、なにも寺院住職の世界だけではない。

学問の世界においても、宗門および宗門校を母体として成立してきた仏教学・各派宗派教学も全くその例に洩れない。事態の深刻さについて、例をあげて検討しておこう。

1989年の日本仏教学会の共同課題は、「仏教と女性」であり、同学会60年以上の歩みの中で初めてシンポジウムが開催された。シンポジウムの課題も「仏教と女性」であり、4名が発題者として問題提起と討論がなされ、その内容は、同学会の『年報』No.56に掲載された。(『年報』と同内容の論文集が平楽寺書店より、日本仏教学会編『仏教と女性』として刊行されている。1991年)

このシンポジウムの発題者は、2名のインド仏教学者と、社会福祉法制研究者、フェミニズムの立場の仏教研究者から構成され、当時の学会(西部)事務局が、女性学の隆盛という「時宜」を意識し「女

性の問題へ仏教学の立場からアプローチしようとしたことがわかる。日本仏教学会の「時宜」にかなったシンポジウム「仏教と女性」であったが、問題提起・討論の内容に関する反応は、当初から批判的であり、一例をあげると、『年報』への研究論文掲載者からも批判が「付記」という形で表明された。(菱木政晴「大乘仏教の性差別」『年報』No.56、138ページ以下。)私も別稿において、シンポジウムと、名指しではないがいくつかの研究論文への疑問とするところを述べたことがある。(「親鸞は女性を差別したか」『季刊 仏教』No.15、1992年、法蔵館、208ページ以下。)菱木政晴や私が述べようとした疑問は、主に2名のインド仏教学者の「仏教と女性」に対する問題設定の問題性であり、いわば仏教学における「思想・社会性の貧困」の問題である。

先ほど、私は日本仏教学会の「仏教と女性」が「時宜」にかなったと表現したのは、人権思想を基底として仏教が持つ差別性の告発・批判的検討は、部落差別・障害者差別・人種差別…、といった様々な仏教の差別事象に対して行われ、女性差別についても検討が加えられることになったと考えたからである。事実、当日の発題者の一人である源淳子が「フェミニズムは性差別だけではなく、人権思想を基底にして、例えば、部落差別にしましても、障害者差別にしましても、民族差別にしましても、仏教がどういうはたらきしたのかということの問題にします。そして、そそいう差別の側から仏教を告発するのだと思います。その告発のなかで、性差別が、一番遅いのではないかという感じがします。そして、他の差別がなくなっていない現実の中で、じゃ性差別についてはどう考えたらいいか」と、フェミニズムの立場から仏教を告発する必要性を述べている。(『年報』No.56、252頁)

ところが、仏教認識論・論理学を専門とする梶山雄一、上座部仏教・原始仏教聖典を専門とする前田恵学が、仏教のフェミニズムによる検討という「時宜」の意味を全く理解していないことが発表要旨と発言を読めば理解できる。簡略していえば、事態が呑み込めていないのではないかということである。例えば、梶山の発表要旨「仏教におけるフェミニズムとアンチフェミニズム」という題を見ただけで、この人はわかっていないことが直感できる。

つまり、フェミニストから告発を受ける側に少なくともいる梶山が、「アンチフェミニズム」ではなからうということである。梶山にとっては、仏教の性差別は「他人ごと」であり、インド仏教学の碩

学としてフェミニストの告発を受けている、という認識が欠落しているのである。しかし、「仏教と女性」という共同課題の『年報』掲載論文を読めば、「この人はわかっていない」と考えざるをえない研究者が大多数である。

これらの研究者の論理基調は、妙な意味で明快である。

- (1) 現実の仏教教団における差別の存在は、確な検討もなく認証する。
- (2) 仏教の性差別の原因を、他の宗教（ヒンズー・儒教・道教・神道）や、社会制度（封建的家制度、家父長制）に求める。
- (3) 一切衆生の救済を釈尊自体の教えに本質的な性差別性はない
- (4) 釈尊の教えを時機相応に説いた宗祖の教えにも差別性はない。
- (5) 教学の差別文言は、女性の救済が保障されない社会・状況下におけるやむをえない「女性救済論」

といった、いわば、意識の刷り込みか込み・思い込みとしか表現しようがないのが現実なのである。

フェミニズムからの真宗批判の有効性

先にフェミニズムは、人権思想を基底として、仏教（ここでは、具体的には真宗）が持つさまざまな差別性への告発を行い、女性問題でいえば、性差別という事象に仏教がどのような機能・役割をもつのかという検討を行う、という趣旨の源淳子の発言を紹介した。さて、フェミニズムという視点を踏まえる以上、その際に私たちが留意しなければならない点は、こと性差別という事象に対して、真宗という宗教的原則が、どのような位相を有してきたかという検討を行う際の立場である。

1989年に源淳子は、「日本仏教の性差別」（大越愛子・源淳子・山下明子共著『性差別する仏教』法蔵館、140頁以下）において、「親鸞は、一方で男女平等の往生をいいながら、女性の往生には限界」があると理解していた述べ、「女性を、仏教的、つまり経典通りに捉える域をでなかった」としている。そして、「法然、親鸞が鎌倉時代にラディカルな仏教者であったという評価は否定しない。しかし、ことフェミニズムの立場では、法然、親鸞のラディカルさはみえてこない。」としている。源によれば、フェミニズムの立場からは真宗、その原点である親鸞についてまで、告発・批判的検証の対象としなければならないことになる。

この源の指摘を踏まえ、フェミニズムという視点からの仏教の再検討という作業を正面から行おうとしたのは、「仏教と女性」を共同課題とした日本仏教学会の20名の報告者中では、菱木政晴と尾畑文正の論考があげられる。

特に、菱木の「仏教の性差別—大無量寿経三十五願のフェミニズムからの解釈」（『年報』No.56、127頁以下）は、仏教の性差別の特質が、身体の転成（変成男子・転女成男）という、人間にとって不変の事実の変更、が「女性の救済論」へとすりかえられた欺瞞性を喝破した。また、「変成男子」説が、実際に経典編纂期の社会における女性差別の存在を認識できなければ成立しない、いわば、女性が差別を受けざるをえない社会・状況下の救済論である。つまり、『大無量寿経』の経典編纂者は、経典の編纂に当たって性差別の事実を認識し、大乘仏教において「女性の救済」を保障しようとした。しかし「変成男子」説という救済論自体の方向が、差別の解消を模索した結果とはいえず、身体の転成という不変の条件の変更（差別の上塗り）へ手を染めてしまった、というのである。

フェミニズムの立場からの源・菱木らの指摘を踏まえ、真宗教学の性差別事象を点検してみると、大凡、次ぎの3つの論点が即座に挙げられる。

- (1) 変成男子説を骨子とした『大無量寿経』第35願の性差別教学
- (2) 女性不浄観から来る仏教儀礼・空間からの女性排除
- (3) 女性住職の実質的不認知を含む教団の性差別制度

以後、いくつかこれらの視点に立った刊行物が出版された。

私も、以上の3点の論議を深化させる意味において、直接的な性差別表現とはいえないものの、教学成立の前提となる、「救済」論の前提となる物語の背景の差別性を問題にしたことがある

『教行信証』における「韋堤別撰正意」について問題を検討し、真宗教学が成立する以前に背負った、浄土教という救いの教え＝教学が支える思想的背景が持つ問題性について論ずる必要があることを指摘したことがある。（『真宗教学批判・序説—『教行信証』「韋堤別撰正意」への苛立ち—日野賢隆先生還暦記念会編『仏教 その歴史と文化』1996年 永田文昌堂 189頁以下）ここで問題としたいのは、真宗の教えにおいて、救いの条件として、教学上において性差別という歴史現象が無意識的に組み込まれたのかということであった。

『教行信証』における「韋堤別撰正意」、すなわち『観無量寿経』における韋堤希夫人の苦悩は、阿闍世を産んだというまさに「母性苦」そのものであり、性という不変の身体条件が救済の条件となっている。

真宗のフェミニズムを視点にした自己点検は、まだ緒についたばかりであるが、一切衆生の救済という大乘仏教の原理に立つ以上、差別の認識のあり方自体の検討がなされて当然である。つまり、『大無量寿経』第35願(變成男子)に限らず、大乘仏教という宗教運動の持つ社会性の根拠、教学における差別の認識のあり方=それにとまなう「救済論」のあり方が点検される必要があると考えられる。

真宗の一般性から

フェミニズム(広い意味では人権思想)から、真宗における「一切衆生の救済」のプログラムとしての教学が、批判・告発される際、あるいは、真宗者自らの手により自己点検される際に確認しておかなければならない点がある。真宗の一般性と、フェミニズムの関係への位置という点である。

本稿を起稿する動機は、真宗大谷派における「坊守」問題への、歴史学研究者としての筆者の関与によるものである。(松尾・望月『坊守論の現状』『久留米工業高等専門学校紀要』13巻2号)「坊守」問題を考察する際に、フェミニズムという人権思想に立つ「平等」論に対して、真宗という宗教の一般性がどのように関連するのかという観点に対する疑問が生じてきたのである。

どのような質の疑問であるのかを説明しておく。フェミニズムが足場とする「平等」論人権思想という視点に立てば、真宗の側には「信教の自由」論という足場がある。無論、真宗が歴史の中で身につけて来た差別性を、信教の自由を隠れ蓑にして隠蔽しようなどというつもりはない。

ここでいう一般性とは、基本的人権とiiいう場合の「必須の」とか、高校基礎英語とiiった「必要最低限」とiiった意味する社会科学用語である。ゆえに、真宗の一般性という意味は、真宗という宗教を成立させるに当たって欠くことができない、真宗の宗教的属性という理解になってくる。

では、女性と仏教における真宗の一般性とは何かが問題となる。概ね、世界仏教史の中での真宗という宗旨の特色は、戒律の無化=廃棄にとまなう出家主義の否定とiiった当たりにある。この点については、近世より戒律の護持(持戒・堅固)による出家主義を建前とする聖道門仏教から「肉食妻帯」批判

として現れたことでも容易にうなづける。

この点について私は、真宗成立の歴史的意義としていくつかの論考を発表したが、教学的には、『教行信証』化身土巻にみられる「無戒名字の比丘・比丘尼」論、教団論的には、宗祖親鸞の結婚説話である「坊守縁起」に端的にそれが現れていると考えた。(『中世仏教における<性>—興福寺奏状「剩破戒為宗」をめぐって—『歴史評論』№512, 1992年, 19頁以下。「坊守以前のこゝろ—夫と妻・真宗史における女性の属性—大隅和雄・西口順子編『信心と供養』1989年, 平凡社, 42頁以下)』

ここでは、前出別稿で論じたのでここでは繰り返さないが、教学論・教団論で両者を欠いた場合、真宗という歴史現象(親鸞の宗教運動)は存在していないと考えている。

以前、私は山陽教区坊守会が編集した『真宗の女性観』に寄せた小論(『親鸞の女性観—「女犯偈」を読み解く』1994年)のなかで、坊守自身による真宗教学・教団論構築の必要性を強調した。いささか挑発的であったかもしれないが、その意図したところはこんなところである。

それは、坊守論を構築する前提として「フェミニズム」に対して、真宗の一般性との兼ね合いを意識しつつ、一定の距離を保ちながら論議を展開したつもりであった。私は、現状の日本社会で展開される「フェミニズム」を丸呑みした「フェミニズム真宗教学(いうまでもなく真宗学などではない=宗門校の真宗学に対してあまり期待していない)・坊守論」を提案したのではない。

それは、「坊守」論を立ち上げる際に背負っている<負性>の大きさという問題である。ひとことというなら、坊守側の「自己撞着」といえ、坊守自体が「坊守は、お寺の奥さんではなく、お寺の役職」という認識をもっていないのではないかという疑義である。

たとえ、「坊守」の職務内容が女性という性を根拠とした「ジェンダー」ではあっても、「職分」であることを認識しなければ話になるまい。つまり、改めて「坊守」とは何かを問う作業が火急となる。しかし、その際に大前提となるのは、

- (1) 「坊守」は住職(坊主)と対等な職分であるという認識の成立
- (2) しかし、現実には男と女という性差による分業(ジェンダー)により職分が成り立っているという冷静な判断の共有
- (3) 真宗という歴史の実働態・歴史現象にとって不可欠な地位・職分であるという主張を行っ

ていく作業

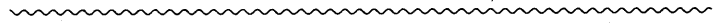
が求められる。この作業が行われることにより、真宗における「ジェンダー」の問題も鮮明になるはずだし、フェミニズムからの批判の有効的告発＝啓発を受けることが可能になると判断しうると考えられる。

真宗教学の一般性と現代

本講で論じたように、「坊守」制度が真宗という宗教の一般性から生じた地位・役割であるとしたら、「坊守」を男性住職の配偶者の呼称に近い意味で職分を限定しようとする真宗教団に、「坊守」を再策

定する必要が生じてくる。

もっとも、ここで論じた「坊守」論がいささかでも承認されるという限定付の議題ではあるが、具体的に述べるならば、「坊守」という仕様を策定する作業を、真宗教学論・真宗寺院論・真宗教団論として論議しなければならない。ただし、いま私たちが共有しているのは、歴史を生きた「坊守」たちが残した<痕跡>のみであり、この<痕跡>を手掛かりにして「坊守論から考えた場合、真宗教団は、どのように考えても、かくあらねばならない」という教学・教団の歴史像の提示を行わなければならない。



一般論文

覚信尼への試論

松 尾 一

Kakusin-Ni

Hajime MATSUO

一 覚信尼とその家族

最晩年の親鸞 中世仏教における僧の妻帯化傾向は、末代・末世における仏教の現実的姿として、多くの中世人から当然しされていた。また、僧の側も、妻帯により家族を持ちイエを形成することが、自身にとって有利であると考えていたようで、<僧のイエ>志向を伝える説話も多い。

<僧のイエ>志向を伝える説話として、即座に『沙石集』で家族の扶養を受けられず困窮する老聖の寓話が想起され、その粗筋はこんなところである。(第4巻4話)¹⁾

「かつて大和国松尾寺の僧であった中蓮房は、中風を病み滝田の大道の傍らに庵を結んで辛うじて生命を繋いでいた。中蓮房は、道行く出家の修行者に、御房は聖のみではありませんか、と声をかけ、修行者が、わたしは聖の身です、とこたえと、とにかく妻帯なさい。わたしは、かつてそれなりの学生であり、弟子や門弟もたくさんおりました。しかし、病により身体に障害を負う身となり、今や、路傍の庵でやっとのこと命を長らえている境遇です。若い時分に妻を娶り子でもなしておれば、親子の情愛によりこれ程の労苦には遭わなかった。悔やまれる」などと、修行中の聖に妻帯をすすめたというのである。

『沙石集』のこの話しを読むと、年老いた僧にとって頼りになるのは、弟子ではなく妻であり血肉をわけた子(家族)であるということになる。いわば、中世仏教全体の潮流であった<僧の妻帯=イエ>志向が読み取れる説話である。事実、老後に家族の扶養を受けた僧も数多い。

その際に、念頭に浮かんでくるのが親鸞の最晩年の境遇である。親鸞は、知られているように、最晩年を実弟尋有の里坊三条富小路善法房に寄寓し、そ

こで末娘の寡婦となった覚信尼一家とともに生活を送り一生を終えた。この辺りの親鸞の境遇を、浄土真宗の開山であるという偶像から離れ、中世の一老僧として境遇を調べてみると、家族の扶養扶養に支えられながら老境を迎えた親鸞像が浮かび上がってくるのである。いわば、『沙石集』が伝える老聖の逆を生きたとということになる。

確かに、親鸞は、80歳後半の軌跡として確認できる事実として、

- (1) 恵信尼との別居。
- (2) 長子善鸞の異議にに対する義絶。
ともない、善鸞、子息「王御前(如信?)」の養育を常陸門徒へ依頼。
- (3) 火災による自宅焼失により実弟尋有里坊三条富小路善法房へ寄宿。
- (4) 末娘覚信尼の夫日野広綱との死別による一家との同居。

といったことが即座にあげられる²⁾。

いわば、自身の居所の不安定や家族の身辺騒動といった事態は、老境の親鸞にとっては身に堪えたものと思われる。事実、親鸞は、善鸞義絶後と思われる11月12日付けの「常陸の人々の御中へ」³⁾へ宛てた書状において、今御前の母・即生房の扶持を依頼している。両人の扶持依頼の理由に親鸞自身があげたのが、「所領をもちて候はこそ、譲りも」できるが自身にはそういった所領もなく、頼るべきは「国の人々」が親子に対し「いとをしう」思う心しかないというのである。

この今御前の母・即生房が親鸞の子女の中で誰に当たるのかということには諸説あり、確定しがたい。ただ、最晩年の親鸞御の家族で東国に居住し常陸門徒へ扶持を依頼すべき状況にあるものは意外に少ない。少なくとも、除外して考えなければならない親鸞の子女が、

- (1) 恵信尼の扶養にある故小黒の女房とその子女。

(2) 「恵信尼書状」⁴⁾ に見え不断念仏行を行う信蓮房。

(3) 越後で恵信尼と居住し、親鸞臨終時には在京した益方。

(4) 親鸞の最晩年をともにした覚信尼とその子女。だけあげられる。

これらの人員を除外して、親鸞が自身の扶養の対象に考えた推定しうる人物は限られてくる。とすれば、親鸞が自身の扶養責任を考えめぐらす家族で、しかも東国での縁が殊のほか深いと想定できるのは善鸞くらいしか該当しない。

そして、今御前の母・即生房が善鸞の妻と子であるという論をたてたのは中澤見恵氏である⁵⁾。そして、この中澤説が成立するためにはさらなる論議の展開が必要になるが、東国へ下向した善鸞が「家族連れ」であったと考えなければ辻褄が合わないことは、中澤説に付け加えて注目すべきであろう。つまり、善鸞も親鸞と同様に家族連れの宗教者であり、善鸞自身も東国での廻国を経験していたということになるからである。

最晩年の親鸞が、火災による住居の喪失に伴う三条富小路善法坊での仮住いで、かつ、妻恵信尼の越後帰国・長子善鸞の義絶・末娘覚信尼の夫との死別と同居といった、完全出家を仏道の大前提とする上座部仏教から「それみたことか」と嘲笑を受けそうな事態である。ところが親鸞は、考え様によれば「雪隠詰」にあった状況で、信仰を変節させるどころか、研究者によっては家族を抱え困窮した背景には留意せず、宗教的境地の核心に入ったと見る見解すらある。

具体的には、親鸞が86歳の1258(正嘉2)年12月24日に三条富小路善法坊で、高田顕智らを前にして法話した「自然法爾法語」⁶⁾ があげられる。この「法語」の内容にふれる余裕はないが、親鸞が自身を取り巻く客観的状況の厳しさよりは、落ちついた生活を送っていたことが「法語」を門弟が聞きしえたことにより判明する。では、困難と想像させる事態を数々迎えながらも、最晩年の親鸞を落ち着いた生活と判断させる安定の材料はどこに存在するのであろうか。

覚信尼とその家族⁷⁾ 最晩年の親鸞の生活に安定をもたらした材料として、

- (1) 末娘覚信尼との同居と看取り。
- (2) 実弟尋有や尊蓮といった日野家の後ろ盾。また、覚信尼の婚家としても注目しうる。
- (3) 高田真仏・顕智を始めとする東国門徒からの

布施。

などがあげられる。

覚信尼は、よく知られているように親鸞の最期を看取り、訃報を越後の恵信尼に知らせた。このことは、覚信尼が1249(建長元)年頃に日野広綱と死別後に親鸞と同居していたことによる。また、それに加えて恵信尼が、1254(建長6)年には、覚信尼に宛てた下人の「譲状」により越後に帰国していた事がわかるから、父母の別居ということも考慮にいれなければなるまい。しかし、私たちがここで注意しなければならないのは、寡婦となった覚信尼が幼子を抱え父親鸞のもとに身を寄せたというような悲話めいた居候ではなかろうということである。

というのは、日野広綱と死別したとはいっても、覚信尼と日野家との関係が切れ即座に困窮するわけでもなく、覚恵の存在や、日野家自体に尊蓮といった門弟が存在し、親鸞が帰京後に日野家と深く関わっていたことも判明している。しかも、親鸞の実弟尋有は、青蓮院門侶で僧都の僧位を持つ天台僧で、三条富小路善法坊という里坊を所有していた。親鸞は火災による住居喪失後、善法坊に身を寄せたわけであるから、尋有との関係が良好であったことはいうまでもない。先にもあげたように、最晩年の親鸞一家が日野家の強い庇護のもとにあったことが理解できよう。

しかも、親鸞死去後の覚信尼一家の住居が善法坊であったと考えられる。善法坊での覚信尼の立場は、私たちは親鸞との関係ばかりに目が行くが、実は覚恵との関係も考慮すべきなのである。

覚信尼と日野広綱との間にもうけられた覚恵は、生没年が不詳であるが、親鸞と覚信尼の動向からおおよその生年が推定できる。いくつか推定しうる覚恵の生年のうち、私は1243年頃の生まれとする宮崎圓遵博士の推定が正しいように思う。その理由は、北西弘博士のように1249年誕生で、1256年日野広綱没と考えると、いくつか辻褄が合わないことが生じてしまうからである。

その理由は、親鸞と覚信尼の同居した時期であるが、恵心尼が覚信尼に宛てた下人「譲状」に、証文を改めて書いた理由に焼亡をあげており、この火災は1255年12月10日のことであることが、親鸞自筆「書状」と恵信尼「書状」の双方に見える。よって、覚信尼が火災により下人に関する証書類を失ったということは、この時点での親鸞との同居が前提となるから、同居の原因には日野広綱との死別が考えられ、覚恵を1243年頃誕生、1250年頃日野広綱死去と

推定するのが妥当な見解であると考え

覚恵を1243年頃生まれとすると、親鸞の往生時には20歳前後の年齢に達していても考えられる。とすれば、覚恵は恵信尼の「書状」では「公達」といったように養育中の息子のように呼称されているが、これは呼び習わしであって実際には成人であったと考えるのが通常であろう。

そして、本書での課題で私たちが注目しなければならないのが、覚恵の長子覚如が誕生したのが、『慕帰絵詞』⁸⁾には「三条富小路」とみえるから、尋有の里坊善法坊であると推定するのが常識的で、覚恵が尋有の名跡を継いだものと推定しうる。とすれば、善法坊での覚信尼の立場を考える場合、父親鸞の弟尋有里坊というだけでなく、息子覚恵が継いだ名跡に対する考え方が大切になる。覚恵が天台僧としての地位を持ったということは、後に歴代本願寺宗主の僧位が「法眼」であったことからわかる⁹⁾。

親鸞往生後も、覚信尼が善法坊に居住していたと考えるべきことは、「恵信尼書状」からも覚信尼の転居を伝える記述も無く、しかも、1270(文永7)年12月28日に覚如が三条富小路で誕生していることからわかる。また、「恵信尼書状」に覚恵が修行のために越後方面へ下向する計画があった旨が述べられているから、親鸞往生前後に覚恵が天台僧として得度をし活動していたことがわかる。

つまり、覚信尼を考える場合に、親鸞の末娘ということだけではなく、覚恵の母=僧の母としての活動を考慮にいれなければならないことになになる。

二 覚信尼の宗教活動

親鸞「真弟子」としての覚信尼 覚信尼を、親鸞・恵信尼と同様に「家族連れ」の宗教者として評価した場合、どのような活動を行っていたかが興味もたれる。

覚信尼が誕生したのは、1224(元仁元)年の生まれである。この時期に親鸞一家はいうまでもなく東国にあり、家族連れの宗教者として東国を廻国していたのであり、「恵心尼書状」にみえるいくつかの親鸞のエピソードも、ともに体験したか、あるいは、恵信尼からすれば覚信尼が理解可能な事件であったということになる¹⁰⁾。

このことは、恵信尼を東国における親鸞の宗教活動のパートナーとして考えれば、覚信尼は「僧のイエ」の子として育てられたことを暗示する。中世仏教においては、「真弟子」と称して僧の実の子供が寺院や法を継ぐことは珍しいことではないし、事

実、教学上において親鸞に多大な影響を与え、しかも交流が深かった聖覚は澄憲「真弟子」であった¹¹⁾。安居院流は、澄憲・聖覚と「真弟子」相承したことになるから、親鸞が、自身の子供たちをみた場合、将来に自分たちの門流の活動を担う「僧のイエ」の子として育てたことは予断とはいきまい¹²⁾。

議論がわき道に少しだけ逸れるが、善鸞事件の際に、善鸞が父親鸞から密かに法門の口伝を受けたと東国で主張したらしいことが親鸞の「書状」から知られ、東国門徒における善鸞の立場の主張が、親鸞「真弟子」として振舞ったと推定でき興味深い¹³⁾。ゆえに、覚信尼を評価する場合に、表現が適切か否かは別として、中世仏教でひろくみられる「真弟子」という立場からの論議が要請されよう。しかも、善鸞義絶後に、親鸞と同居し、わが子覚恵が尋有の名跡を継ぐ天台僧であったわけであり、今後日野広綱・小野宮禅念との関係だけでなく「真弟子」という視点も覚信尼論に入れるべきであると考え

覚信尼の宗教活動(1) —親鸞「真弟子」として—
とはいっても、覚信尼の宗教活動をハッキリさせる材料が豊富に存在するわけではない。以下、断片をつなぎ合わせて考えうる活動を論議してみたい。

まず、「恵心尼書状」のなかに覚信尼へ恵信尼が「あの御影の一ふく、ほしく思まいらせ」とあるから、親鸞か法然か断定はできないが、恵信尼が師と仰ぐ影像を調達できる立場にあったことを示している¹⁴⁾。

そして、この「御影」が画工の手により一定の水準以上で製作されたと思われることは、親鸞在世中から製作され現在に伝来する「名号本尊」・「光明本尊」(真仏賛銘)・「影像」をみれば創造でき、それが素人作品を想定させない水準のものであることを暗示している。つまり、覚信尼の立場は、恵信尼も含め人々へ師主の「御影」を提供しうる立場であったことが判明し、まさに「僧のイエ」の子として活躍していたことを示し興味深い。また、「影像」の製作が確認できる以上、それに伴い「本尊」類も覚信尼の管理で門弟集団へ頒布されていた可能性も考えておかなければなるまい。

次に、「恵信尼書状」に「光寿御前(覚恵)の修行に下るべきかや…」といった件から、親鸞没後に覚恵が善法坊の門侶として越後に修行のため下向する消息を母である覚信尼に尋ねている。このことから、尋有との叔父尋有との関係も含め三条富小路善法坊での覚信尼の立場が「僧の母」であって、しかも、1272(文永9)冬には、親鸞の遺骨を吉水の北

辺に移し廟堂を建立しているわけであるから、小野宮禪念と再婚してからのほうが、むしろ宗教活動は活発になったと判断しなければなるまい。

覚信尼の宗教活動(2) 一禅念をどう考えるか
覚信尼は、親鸞没後の4年後の1266(文永3)年に唯善を出産している。このことから、覚信尼と小野宮禪念が再婚したことが判明するが、ここで注意しておく必要があるのは、禅念との生活の空間が三条富小路善法坊から移動したとは考えにくいことである。というのは、「恵心尼書状」に親鸞没後での音信に移住を匂わせるような文言はみえないし、恵心尼が没したと考えられる1268(文永5)年より4年後に廟堂を建立したわけである。

つまり、廟堂が建てられた土地は禅念の所有地ではあるが、宮崎博士らが考えるように覚信尼と禅念が生活をともした住居とは考えにくいことになる。というのは、廟堂の建設が1272(文永9)年には一応の完成をみたと考えなければならなく、この時点での廟堂の敷地所有者は、運用の実質はともかくとして名義上は小野宮禪念であることは注目に値する。

私は、1277(健治3)年に覚信尼が、最初に敷地を廟堂に寄進した時点での居所は、三条富小路善法房であり、大谷ではなかったと先ほどに述べた。この推定の根拠は、恵心尼「書状」に唯善の誕生についての記述があるが、禅念との結婚により覚信尼が三条富小路を離れたことを窺がわせる記述はないことである。覚信尼と禅念との生活は、善法坊で行われたと推定できないだろうか。

従来の真宗史研究者は、覚信尼が禅念と結婚した事情を、二子を残した日野広綱との死別、寡婦となった後の父親鸞との同居、といった事実から、生活に窮した覚信尼が禅念との婚姻にその生活の活路を見出そうとした、と考えてきたようである。確かに、覚信尼一家の生活安定のためという要因が存在したかもしれないが、先述した通りに、長子覚恵は、成人に達し天台僧として尋有の名跡を継ぎ三条富小路善法坊にあり、覚信尼の立場は「僧の母」として安定していたはずであり、生活の困窮を再婚の主因にあげるのには問題が残る。

そして、生活の困窮を再婚の主因を研究者があげた背景にあるのは、禅念と親鸞の接点が見出せなく、少なくとも親鸞面授の弟子とはいえないからであろう。しかしながら、禅念と親鸞が面授の弟子かの是非は、本来的には覚信尼の再婚を考えたことにはならない。覚信尼と禅念を考える場合に興味深いのは、後年に覚恵と唯善が「留守職」を競望した際の唯善

の言い分に注目すべき文言が含まれている¹⁵⁾。

この1301(正安3)年に唯善が、大谷廟堂の管領相伝についての「院宣」を請うた時、その根拠を「言上状」で次のように述べる。

- (1) 元来、大谷の坊地は、親父禅念の相伝の私領である。
- (2) 吾が祖師親鸞は、法然上人の弟子として、浄土の深義を伝え、末世の浅機に勧めにより親父禅念も「仏法に帰敬」した。
- (3) そして、相伝の大谷敷地に文永9年に門弟らと力を合わせ「一草堂を建立し、かの影像を安置」した。

と、大谷廟堂の唯縁を述べる。「言上状」の以下で述べられる、唯善の坊地相伝を正当とする主張の委細は省くが、禅念を親鸞門弟として位置付け、影堂の建立も祖師親鸞への追慕として描く点は興味深い。

このように考えれば、覚信尼と禅念も、夫婦連れの宗教者であったとみなければならない。

覚信尼「讓状」を読む 覚信尼のパートナーとして禅念を位置付けた場合、覚信尼の「讓状」の読み方も自ずから変化してくる¹⁶⁾。本書では、覚信尼の再婚後の住居が三条富小路善法坊ではないかと述べた。

この推定に至った理由は先述の通りであるが、付け加えて唯善のが主張のなかに、禅念一子である自分がすでに長期にわたり大谷廟堂の敷地を相伝し管領してきたとあり、覚恵が大谷を本拠としていなかったことが暗に非難されている。そして、重要なのは覚恵が大谷廟堂敷地の管理権を主張できたのは、覚恵・覚如親子=親鸞のイエの末裔であるという論法である。覚恵・覚如らが、中世寺院社会での地位(法印)を得るための基盤としていたのは、日野一流の僧のイエに累するということであり、尋有の名跡である善法房を相伝していた、ゆえにその墓所も管領するのが当然であるという理屈である。

ゆえに、唯善が永年にわたり相伝・管領していると主張しようとも、覚信尼が「讓状」が存在する限り、廟堂にその敷地が寄進され、尼の子孫が留守職を相伝すると書いている限り、親鸞に累する日野一流の僧侶により管領されなければならないことになる。また『存覚一期記』は、存覚が日野親業・親頭親子の猶子であり、この関係から検非違使の大谷安堵の「別当宣」を得たことを記録している¹⁷⁾。

そして、なによりも日野家との関係を意識したのは覚信尼であろうから、今後において「讓状」を読む場合において、日野一流(僧のイエ)による留守

職世襲の起源の問題として位置づけていく必要があると考えられる。

注

- 1) 『沙石集』(日本古典文学大系85, 岩波書店) 187頁。
- 2) 拙稿(筆名は, 遠藤 一)「恵信尼離京の背景」(『宗教』No.395, 1995年) 7頁以下。
- 3) 「真筆消息」(『真宗史料集成』No.1, 同朋舎出版)
- 4) 「恵信尼文書」(『真宗史料集成』No.1)
- 5) 中澤見恵「『いまこそせんは、』私見」(『仏教史研究』No.24, 1987年) 1頁以下。
- 6) 「消息集」(『真宗史料集成』No.1) 426頁。
- 7) 覚信尼については, 宮崎圓蓮「覚信尼公と大谷本廟」『覚信尼と大谷廟堂』『真宗史の研究』上巻(同著作集第3巻, 1987年, 初出は1957年・1963年, 永田文昌堂) 58頁以下, 北西弘『覚信尼公』(1982年 東本願寺出版部)。
- 8) 『真宗史料集成』No.1
- 9) 中世寺院としての本願寺の性格は, 拙稿(筆名 遠藤一)「戦国期本願寺の開幕と蓮如の宗教活動」(浄土真宗教学研究所・本願寺史料研究所編『講座 蓮如』No.3 1997年) 13頁以下。
- 10) 東国における親鸞集團の活動形態については, 拙稿(筆名 遠藤一)「十三世紀における妻と夫の宗教活動—親鸞の結婚説話『坊守縁起』の世界」(河野信子・伊東聖子編 日本女性史再考・古代・中世『おとことおんなの誕生』1997年 藤原書店)
- 11) 聖覚については, 平 雅行「嘉禄の法難と安居院聖覚」(『日本中世の社会と仏教』1992年, 塙書房) 329頁以下。
- 12) 「僧のイエ」については, 西口順子「僧の『家』」(『女の力—古代の女性と仏教』1987年, 平凡社選書) 184頁以下。
- 13) 善鸞事件については, 加藤一英「善鸞事件に関する一考察」(『仏教史研究』No.9 1976年) 2頁以下。
- 14) 『真宗史料集成』No.1。
- 15) 唯善「言上状」(『真宗史料集成』No.1)。
- 16) 覚信尼「大谷屋地寄進状」(『真宗史料集成』No.1)。
- 17) 覚如期における本願寺と公家社会の関係については, 山田雅教「初期本願寺における公家との交流」(『仏教史学研究』38巻2号, 1995年) 99頁以下。

一般論文

剣道「基本」用語論(1)
—「基本」用語研究に関する課題—

木 寺 英 史

A Study of the 'KIHON' in Kendo
— Analyzing Past Problems with the Use of the Term 'KIHON' —

Eishi KIDERA

はじめに

筆者は別稿において、高野佐三郎著「剣道」以降の「基本」について考察した¹⁾。高野以降を対象としたのは、剣道に「基本」の概念を導入したのは高野であるという通説に従ったためである。剣道における「基本」という場合、その研究対象はその内容であることが一般的である。つまり、剣道における「基本」とはいかなる動作や技術が対象となるのかという考察である。「基本」の内容を「基本技術」・「基本動作」というような技術の基礎ととらえ、それらを明確にしていくことである。一般に「剣道の基本とは何か」という場合の課題ともいえる。

しかし、先の研究を進める中で、「基本」に関する研究には別の方向性が存することが明らかになった。それは、「基本」という用語そのものについての考察である。剣道における「基本」の内容ではなく、「基本」という用語自体の考察と言ってもよい。高野以降、剣道において「基本」という用語が一般的に用いられるようになったことは異論のないところだが、はたして高野は「基本」という用語をどこから、またどのような経緯で用いたのであろうか。筆者はこれら「基本」における研究についての方向性について、前者を「基本」研究、後者を「基本」用語研究として取り扱いたい。

さて、本稿の目的は、「基本」用語研究の基礎的課題を提示することにある。まず、筆者のこれまでの研究より、「基本」の要素を再確認し、その中より「基本」用語研究の課題を明確化した。さらに高野著「剣道」以前の剣道関係文献及び体操関係文献より高野の「基本」に影響を与えた可能性があるものを抜粋し考察を加えた。最後に、今後の「基本」

用語研究の方向性を提示することとした。

1. 一斉指導としての「基本」

これまでの「基本」についての研究によれば、現在用いられている「基本」の概念はおおよそ次の5項目に整理できる。

- 1) 技術の基礎としての「基本」
- 2) 補助・補強運動としての「基本」
- 3) 理想とされる型としての「基本」
- 4) 一斉指導としての「基本」
- 5) 統一化された行動様式としての「基本」

それぞれの「基本」について、別稿¹⁾において筆者は次のように整理した。

(1) 技術の基礎としての「基本」

これは、剣道の「基本」の中で中核を成すべきものである。技術の習得には、その前段階において技術の基礎となるべき動作や姿勢の習得が不可欠である。現在、学校体育剣道で示されている「基本動作」がこれである。それだけでは技術とはいえないが、剣道の技術を支えているものと言える。

(2) 補助・補強運動としての「基本」

これは、主に「素振り」・「切り返し」等の稽古法についての「基本」の使い方である。これらは剣道の技術ではないが、技術を修得するための効果的な修練方法という補助運動的なとらえ方ができる。また、技術の習得に必要な体力を養成するねらいもあり補強運動としてもとらえることができる。

(3) 理想とされる型としての「基本」

先に述べたように、剣道はその発達過程で「形」という稽古形態を経ている。現在ではしない打ち剣道が中心であるが、「形」稽古も重視されている。「形」は剣道競技の有効打突の基準にも大きな影響を与え、相手を打つという結果だけではなく、いか

に打つかということが有効打突の基準となっている。これは、全日本剣道連盟試合規則に「適法なる姿勢」とも記されている。そのために、剣道の稽古においては一定の型（フォーム）を形成することが求められる。この理想とされる型（フォーム）を「基本」ととらえることができよう。

(4) 一斉指導としての「基本」

高野佐三郎著『剣道』での「基本練習」とは、同時に多人数に教授する為の教授法をさすものであった。この「基本」の用いられ方は現在でも根強く残っている。しかし、これは運動技術の側面からとらえたものではなく剣道の正科編入過程における教授法の研究から生まれてきたものである。

(5) 統一化された行動様式としての「基本」

学校剣道における「基本」の変遷でも述べたように「体練科教授要目」また、現代の剣道指導書でもほとんどのものが、礼法を「基本」としてとりあげている。礼法は、当然技術ではなく、また、技術の基礎とも言いにくい。礼法や道具の付け方等を統一化された行動様式ととらえることができる²⁾。

さて、本稿で着目されるのは上記4)の一斉指導としての「基本」である。一斉指導としての「基本」の用いられ方は、剣道の史的特性を示している。高野は「基本練習」について、

基本練習の目的は剣道の基礎となるべき基本的動作を、同時に多人数の生徒に教授し、且之に習熟せしむるに在り。従来剣道の教授法は、師弟相対して個々に教授し、同時に多人数に教ふことなかりき。本練習に於ては同時に数十名の生徒に教授し且つ之を練習せしめて遺憾なきを期せり³⁾。

と述べている。つまり、高野は同時に多人数の生徒へ教授する方法を「基本練習」とし、その内容を「基本動作」としている。ここで認識すべきなのは、剣道における「基本」という用語は剣道の正科編入過程の指導法研究により生じてきたということである。そして、それは高野が自発的に用いたのではなく、剣道の体操化の中から用いられたことに注目しなければなるまい。

明治10年代に始まった武道の正科編入運動に関して、文部省は主に指導法上学校で行うとは不適とし長年正科とすることには否定的であったことについては一般には殆ど知られていない。明治39年、議会において「体育に関する建議案」が提出され可決されたが、それでも文部省はすぐには実施に移さず、

武道は正科必修ではなく事実上随意科にすぎなかった。このように長い年月を要した最大の要因は教授法が確立していなかったことである。また、明治期の体育は競技や武術のような激しい運動で身体を鍛えるものではなく、虚弱者を予防し、健康を守るためのものであるという傾向が強かった。このため、明治期の体育は「体操」が中心であった。剣道の正科編入過程で最も考慮されたことは、教授法の確立と「体操」との調和であったと考えられる。

よって、高野著「剣道」にある「基本」という用語は、正科編入過程における指導法の形成過程からあらわれてきたものとして良さそうである。高野が用いた「基本練習」とは単に「基本」の内容を示すものではなく、当初は一斉指導法としても用いられていた。それが、後にその内容を「基本」ということが一般的になったと考えられる。

2. 体操と基本

さて、本章では「体操」にみられる「基本」という用語に関して述べることにする。高野著「剣道」にみられる「基本」が剣道に「体操」の要素を取り入れることによって、学校体育に適合させようとした試みの中から生じてきたとすることには異論のないところである。よって、高野が用いた「基本」は「体操」で用いられた「基本」に影響を受けたと考えられる。

明治30年代、普通体操・兵式体操が並立していた学校体育の内容は、スウェーデン体操の移入、遊戯の流行、武道の関心の高まりなどでさらに混乱した。そこで、文部省は明治37年10月、その方向性を探るため、「体操遊戯取調委員会」を設けた。明治39年に報告書が提出されたが、さらに詳細に委員6名の共著により「體育之理論及實際」が著されている。この中で委員らは体操演習の「基本的形式」という用語を用いている。「基本的形式」とは、多くの「体操」の中より適切なものを選んで配列し、基本的な内容を選出したことが述べられている。その内容については運動準備のほか9項目である。内容は次の通りである。

運動準備

第一	首及胸ノ運動	徒手及器械
第二	上肢ノ運動	徒手及器械
第三	全身ノ運動（調和運動）	徒手及器械
第四	肩及背ノ運動	徒手及器械
第五	腹部ノ運動	徒手及器械

に打つかということが有効打突の基準となっている。これは、全日本剣道連盟試合規則に「適法なる姿勢」とも記されている。そのために、剣道の稽古においては一定の型（フォーム）を形成することが求められる。この理想とされる型（フォーム）を「基本」ととらえることができよう。

(4) 一斉指導としての「基本」

高野佐三郎著『剣道』での「基本練習」とは、同時に多人数に教授する為の教授法をさすものであった。この「基本」の用いられ方は現在でも根強く残っている。しかし、これは運動技術の側面からとらえたものではなく剣道の正科編入過程における教授法の研究から生まれてきたものである。

(5) 統一化された行動様式としての「基本」

学校剣道における「基本」の変遷でも述べたように「体練科教授要目」また、現代の剣道指導書でもほとんどのものが、礼法を「基本」としてとりあげている。礼法は、当然技術ではなく、また、技術の基礎とも言いにくい。礼法や道具の付け方等を統一化された行動様式ととらえることができる²⁾。

さて、本稿で着目されるのは上記4)の一斉指導としての「基本」である。一斉指導としての「基本」の用いられ方は、剣道の史的特性を示している。高野は「基本練習」について、

基本練習の目的は剣道の基礎となるべき基本的動作を、同時に多人数の生徒に教授し、且之に習熟せしむるに在り。従来剣道の教授法は、師弟相対して個々に教授し、同時に多人数に教ふことなかりき。本練習に於ては同時に数十名の生徒に教授し且つ之を練習せしめて遺憾なきを期せり³⁾。

と述べている。つまり、高野は同時に多人数の生徒へ教授する方法を「基本練習」とし、その内容を「基本動作」としている。ここで認識すべきなのは、剣道における「基本」という用語は剣道の正科編入過程の指導法研究により生じてきたということである。そして、それは高野が自発的に用いたのではなく、剣道の体操化の中から用いられたことに注目しなければなるまい。

明治10年代に始まった武道の正科編入運動に関して、文部省は主に指導法上学校で行うとは不適とし長年正科とすることには否定的であったことについては一般には殆ど知られていない。明治39年、議会において「体育に関する建議案」が提出され可決されたが、それでも文部省はすぐには実施に移さず、

武道は正科必修ではなく事実上随意科にすぎなかった。このように長い年月を要した最大の要因は教授法が確立していなかったことである。また、明治期の体育は競技や武術のような激しい運動で身体を鍛えるものではなく、虚弱者を予防し、健康を守るためのものであるという傾向が強かった。このため、明治期の体育は「体操」が中心であった。剣道の正科編入過程で最も考慮されたことは、教授法の確立と「体操」との調和であったと考えられる。

よって、高野著「剣道」にある「基本」という用語は、正科編入過程における指導法の形成過程からあらわれてきたものとして良さそうである。高野が用いた「基本練習」とは単に「基本」の内容を示すものではなく、当初は一斉指導法としても用いられていた。それが、後にその内容を「基本」ということが一般的になったと考えられる。

2. 体操と基本

さて、本章では「体操」にみられる「基本」という用語に関して述べることにする。高野著「剣道」にみられる「基本」が剣道に「体操」の要素を取り入れることによって、学校体育に適合させようとした試みの中から生じてきたとすることには異論のないところである。よって、高野が用いた「基本」は「体操」で用いられた「基本」に影響を受けたと考えられる。

明治30年代、普通体操・兵式体操が並立していた学校体育の内容は、スウェーデン体操の移入、遊戯の流行、武道の関心の高まりなどでさらに混乱した。そこで、文部省は明治37年10月、その方向性を探るため、「体操遊戯取調委員会」を設けた。明治39年に報告書が提出されたが、さらに詳細に委員6名の共著により「體育之理論及實際」が著されている。この中で委員らは体操演習の「基本的形式」という用語を用いている。「基本的形式」とは、多くの「体操」の中より適切なものを選んで配列し、基本的な内容を選出したことが述べられている。その内容については運動準備のほか9項目である。内容は次の通りである。

運動準備

第一	首及胸ノ運動	徒手及器械
第二	上肢ノ運動	徒手及器械
第三	全身ノ運動（調和運動）	徒手及器械
第四	肩及背ノ運動	徒手及器械
第五	腹部ノ運動	徒手及器械

第六 腰部ノ運動	徒手及器械
第七 全身ノ運動(跳躍運)	徒手及器械
第八 下肢ノ運動	徒手
第九 呼吸運動	徒手 ⁴⁾

これらの内容はそれぞれの具体的な動作を示したのではなく、その順序と必要性を説いているが、ここで注目されるのはこれらの運動を教師の号令によって一斉に実施することが明記されていることである。例えば「運動準備」に次のようにある。

體操場ニ集マレル生徒ハ、先キニ教室ニアリテ、専心一意學課ニ従事シタルモノニアラザレバ、運動場内ニ在リテ、各自随意ニ遊び居タルモノナリ。斯ル生徒ヲシテ體操ニ従事セシメンニハ、生徒ノ意志ヲ教師ノ一身ニ傾注セシメ、生徒ノ精神ト教師ノ精神トノ聯絡ヲ附シ、生徒ヲシテ、教師ノ號令下ニ、協同ノ動作ヲナサントスルノ決意ヲ來サンコトヲ要ス⁵⁾。

ここで用いられている「基本的形式」は、多数の運動の中から体操の基本的内容を抽出している点、また、その実施において教師が号令によって行う点において高野の「基本練習」の考え方と酷似している。さらに、「体操遊戯取調委員会」の報告がなされた明治39年が高野著「剣道」発刊の9年前であることを考えれば、さらに詳細な検討が必要ではあるが、ここで取り上げた「基本的形式」が高野の「基本練習」に多大な影響を与えたとする仮説が成立する。

3. 武術体操と「基本」

さて、前章でも述べたように剣道(武道)の正科編入運動の過程で最も考慮されたことは、体操との調和であったことは容易に推測される。そして、明治後期に現れた体操の「基本的形式」が高野の「基本練習」に強い影響を与えたと考えられる。しかし、高野の「基本練習」に影響を与えた可能性があるもうひとつの流れがある。それは、「武術体操」の試みである。

日清戦争の戦勝による尚武気風の高まりの中、文部省は同29年に再び衛生顧問会に対し、剣術及び柔術の衛生上から見た利害損失を諮問したが、同会の答申は明治17年のそれと同様武道を正科とすることには否定的なものであった。このような状況下武道と体操を融合させる動きがあらわれてくる。

当時の「武術体操」の指導者の中で、橋本新太郎は「新案撃剣体操法」で「基本練習」という用語を

用いている。本書は明治29年刊であるから、高野の「剣道」より約20年、前章の「体操遊戯取調委員会」の報告より10年もさかのぼる。その第二章、通則には

撃剣体操ノ演習ヲ分けテ左ノ二部トス

其一 基本演習

其二 試合⁶⁾

とあり、さらに

基本演習ハ、姿勢動作ヲ初メトシテ、總テ撃剣ノ基礎トナルベキコトヲ演習スルニアリ⁷⁾。

とある。そして、基本演習は第一基本演習から第四基本演習まであり、全体の指導内容の中心となっている。ここでの「基本演習」は高野の「基本練習」と同様に、多勢に対する教授法という意味合いを有することを確認しておきたい。高野の「基本練習」とはその内容は異なるものの、多人数の生徒を整理させ号令によって実施するという方法は高野のそれと同様である。例えば、第一基本演習の冒頭は次のようになっている。

第一教 各生徒ヲシテ、適宜ノ距離間隔ヲ取ラシメ、肩刀ノ姿勢ニアルトキ、教官左ノ號令ヲ下ス。

精眼ニ構ヒ一刀

(後略)⁸⁾

このように、内容は異なるものの橋本新太郎が用いた「基本演習」は高野の「基本練習」という用語とその取り扱われ方は酷似している。しかし、当時の他の著名な「武術体操」提唱者であった小沢卯之助、中野篤一郎、中島賢三らの著作からは「基本」という用語を見いだすことはできない。「武術体操」において、橋本が「基本」という用語を用いていることは特殊な用法であったともいえる。

さて、それでは橋本新太郎は「基本演習」なる用語をどこから引用したのであろうか。武術体操の性格上、体操を参考にしたことも考えられる。しかし、橋本は「基本」という用語を体操から引用したのではないらしい。「新案撃剣体操法」の校閲者に隈元實道の名がある。隈元實道は嘉永3年12月23日薩州の生まれ、直心影流を父に学び後に山岡鉄舟に無刀流を学んでいる。その後、剣術、柔術とも複数の流派を学んでいる。維新後憲兵大尉となり、台湾征伐、西南の役で名を挙げた。東京赤坂丹後町に道場をひ

らき、明治25年振気流を起こした。この隈元實道の著作に「基本」という用語をみることができる。まず、隈元が日清の役従軍中に執筆したとされるのが「武道教範」である。第一編「綱領」第二篇「短柄剣術」第三篇「錬体柔術」からなるが、第二篇と第三篇に「基本」という用語がもちいられている。第二篇「短柄剣術」の「剣術基本」には、

夫れ、古人は、本を務む。本立て道生ず。乃ち基本に熟練せば、變化應用は、皆な熟練より生ず。本を務めずして、末を求むる如きは、焉んぞ善く、豁達自在なるを得ん⁹⁾。

とあり、「技術の基礎」としての記述があるものの、その実践においては、教習者を整列させ教授者が号令によって基本を習得させる方法が記されており、「一斉指導」としての基本の用法がみられる。これらの内容はやはり高野の「基本」のとらえ方と同様である。

さて、第三篇「錬体柔術」において隈元は柔術の基本について

夫れ、当流は形を以て主とす。而して制勝の氣、進退の度、奇正の變、慶用の術、一に皆な、收めて形の中に在りと、體意に云ひし如く、然り。故に形より学びし者は、其の圓滿自在なるや、彼の亂取より習ひし者の比にあらず、但だ、書は以て馬を御すべからず、之を活用するの功は、熟練に在て、之を運用するの妙は、人に存す。此の故に基本より学ぶは、正則なり。亂取より習ふは、變則なり¹⁰⁾。

と述べ、形こそ基本であるとし、心気流錬体柔術初段の形より三十段の形まで詳細に後述されている。剣術だけでなく柔術の形に関して「基本」という用語を用いていることは興味深い。

さて、さらに隈元は同29年に先の「武道教範」を学校体育に適合させるべく「體育演武必携」を著している。内容は第一部「立歩抜撃演習」、第二部「剣術基本演習」、第三部「錬体柔術」とあり、剣術の「基本」に多くの紙面を割いている。また「立歩抜撃演習」も内容は号令によって既定動作を実施する一斉指導としての「基本」の形態となっており、ここからも「基本」が学校体育に適合させるために

重要視されてきた経緯が推測される。

む す び

さて、最後に今後の「基本」用語研究についての方向性を提示することとする。課題は次の4点に集約できる。

1) 「基本」(高野)形成過程

高野著「剣道」がいかなる経過で執筆され、その中での「基本」の形成過程を明確にする必要がある。「体操遊技取調委員会」の報告以降、議会を中心とした正科編入の請願運動の他、文部省は東京高等師範学校において剣道講習会を実施しており、それらの史料の分析を実施したい。

2) 体操の影響

1)に関連し、武道の正科編入の過程において、体操が剣道の指導法に与えた影響についての再考察が必要であろう。剣道がどの程度体操との調和を余儀なくされたのであろうか。明治期の体操全般について整理・考察する。

3) 武術体操と「基本」

武術体操と高野の「基本」を再考察する。本稿では、武術体操に用いられた「基本」は振気流の流れであろうことが明らかになった。しかし、高野が流派の異なる振気流の指導用語を積極的に用いたとは考えにくい。

4) 明治初期から中期の「基本」用語について

本稿では明治中期以降に絞り、主に「体操」と「武術体操」についての文献を検討した。しかし、今後は徐々に時代を遡りながら、「基本」用語研究を進めたい。

注

- 1) 拙稿「剣道における「基本」という用語に関する研究」、1992(平4)、久留米工業高等専門学校紀要、第8巻第2号。
- 2) 同上。
- 3) 高野佐三郎「剣道」、1915(大4)、良書普及会、p37。
- 4) 井口あくり他「體育の理論及實際」、1906(明39)、國光社、p41-42。
- 5) 同上、p42-43。
- 6) 橋本新太郎「新案・撃劍體操法」、1896(明29)、東京図書出版合資会社、p3。
- 7) 同上、p3。
- 8) 同上、p23。
- 9) 隈元實道「武道教範」、1895(明28)、「史料明治武道史」、新人物往来社、p245。
- 10) 同上、p278。

教育研究報告

太陽光発電システム（並列連系システム構成）と運用について

大	淵		豊
西	出		傑
南	里	博	己
高	松	政	利
中	島	勝	行
古	賀		涉
田	中	義	規

The Solar Photovoltaic Power Generation System
(Utility Interactive System)

Yutaka	OBUCHI
Suguru	NISHIDE
Hiromi	NANRI
Masatoshi	TAKAMATU
Katuyuki	NAKASHIMA
Satoru	KOGA
Yoshiki	TANAKA

Facilities of Solar PhotoVoltaic (PV) Power Generation are installed on the roofs of both 2 buildings and are working in July, 1999. The system is connected with Utility grid of Commercial Power line, and is called Utility Interactive System. Solar electricity is an ecologically clean and non-hazardous power source, and it is used to supply electricity for Electrical appliances via Inverter because of DC power. The generation depends on weather. On fine day, the 40 kW of electricity can be generated. The system consists of Photovoltaic Arrays (300 modules) and Power Conditioner including Inverter, Utility Interface and some Detector. In case of the demand over PV generation power, Power flows from Commercial Power line. They may be used as a practical education resource.

はじめに

近年、地球規模の環境汚染や温暖化が進み、環境問題が社会的に大きく取上げられている現在、学校施設においても、環境負荷の低減に対応したエコキャンパスの推進が求められている。環境問題への防止策として、太陽光を利用した自然エネルギーの活用を図り、CO₂の排出を抑制するとともに、環境教育の生きた教材として設置、平成11年7月15日から運用開始の太陽光発電システムの設備概要を述べる。

一般的には、太陽光発電システムには日射量に応じて直流電力を発電する太陽電池と負荷とのマッチングをとるために次の基本機能が要求される。

1. 日射量に応じて直流電力を発生する太陽電池アレイとのインターフェイス機能

2. 発生した直流電力を貯蔵する蓄電池とのインターフェイス機能
3. 直流を交流電力に変換するインバータ機能
4. 電力系統への接続のためのインターフェイス機能
5. 保護装置等を含む制御機能

装置設置の太陽光発電システムは商用電力線に接続し、一方向潮流並列連系電力システムを構成する。電気・生物応用化学棟、機械・材料工学科棟屋上にそれぞれ150枚設置の太陽電池モジュールは15モジュール直列、5チャンネル2組を2組のパワー・コンディショナ（10kW）に接続、両棟で300枚の太陽電池モジュールで発生する最高電力は40kWである。

1. 太陽光発電システム

図1は太陽光発電システムを含む並列連系システ

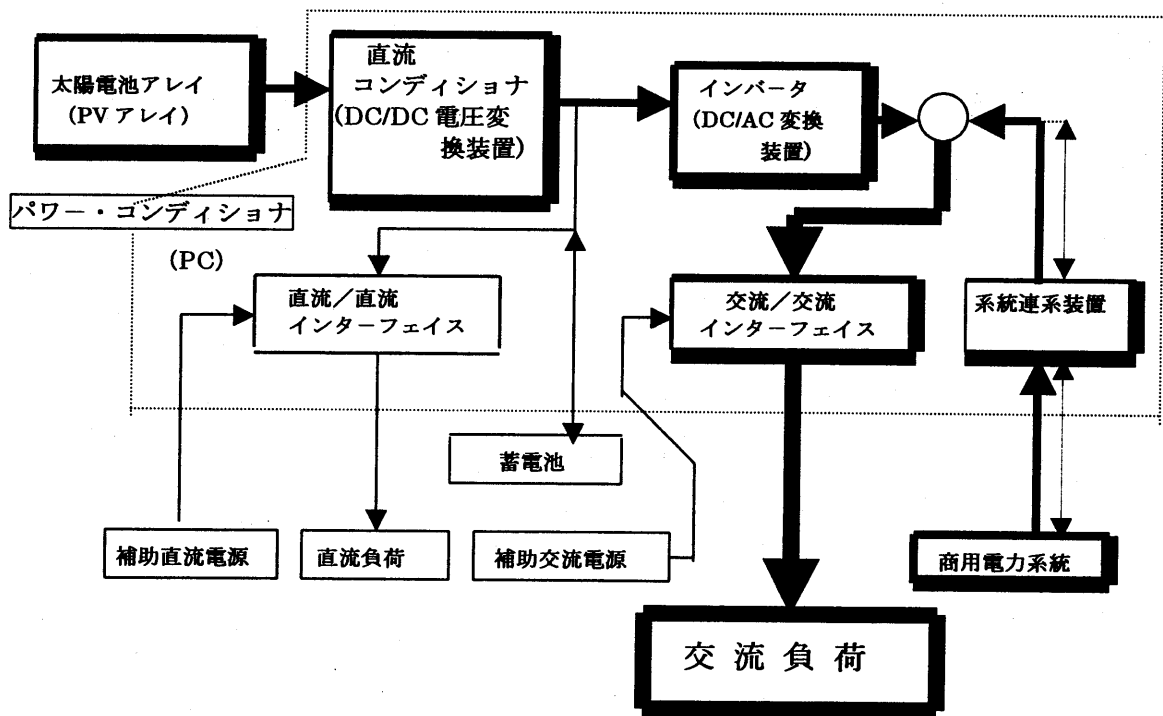


図1 太陽光発電システムを要素とする並列連系システムの構成

ムの構成を示す。上記の基本機能もブロックで示される。図中の点線内は太陽光発電で発電する直流を交流に変換するインバータなどの電力変換機器類と制御・保護機器類は一体構造のユニットとして供給される場合が多く、パワー・コンディショナと呼ばれる。本校に設置のシステムは並列連系システムであり、商用電力線は太陽光発電システムの交流側で接続される。システムは図中の太線で示される。このような系では連系点で逆電力潮流の方向を検出、逆流が生じたらブロックする方法とインバータの出力を制御して逆流が生じないような構成である。常時はインバータ制御で非常の場合は保護遮断器の二段構えの構成である。

1.1 システム構成

設備概要 太陽光発電で生じた電力を交流に変換後、高圧一般配電線（三相3線、6.6kV、60Hz）と連系し、負荷に送電するシステムである。一般配電線に電力を送らない、いわゆる逆流なしのシステムである。

システムは太陽電池モジュール、太陽電池架台、接続箱、パワー・コンディショナPC（含連系保護装置等）、変換器盤、日射計および表示装置より構成される。系の動作の概略を述べる。

①太陽からの日射を受けると、直流出力を発生しこれを接続箱で集電し、パワー・コンディショナ

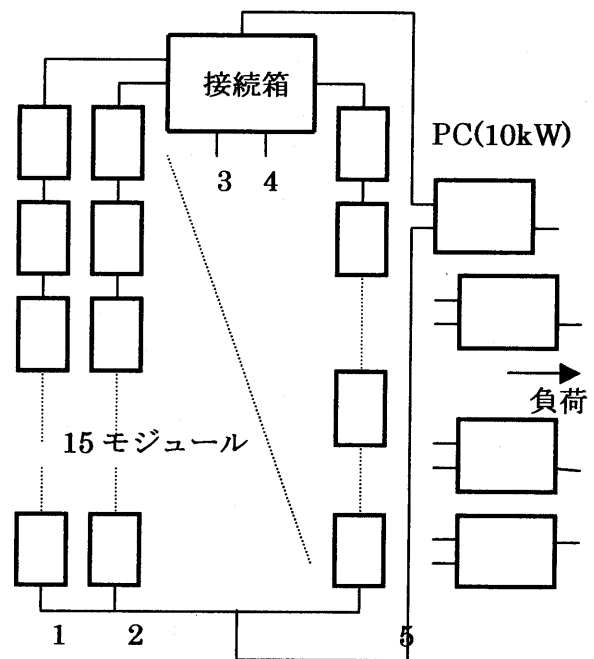


図2 太陽電池モジュールの結線

PCへ

②パワー・コンディショナPC（容量10kW 4台）はこの直流出力を並列する商用電源の電圧周波數位相と同期した交流電力に変換、対象とする負荷へ電力を供給

③連系保護装置等でパワー・コンディショナPC

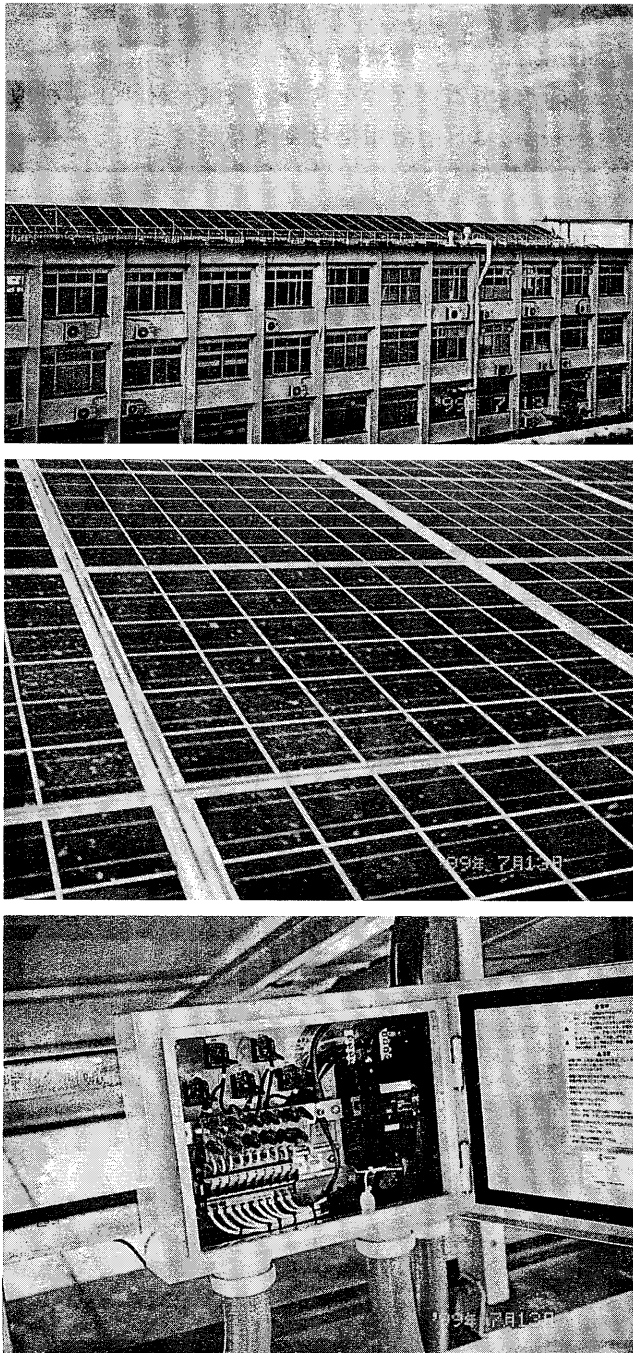


写真 1 上 専門棟屋上の太陽電池アレイ
 中 太陽電池モジュール
 下 接続ユニット

の太陽電池アレイ、モジュールおよび接続ユニット（保護素子を含んだ直流 5 チャンネルの接続、PC への出）をそれぞれ写真 1, 2, 3 に示す。

1.2 運転方式

システムでは全自動パワー・コンディショナ PC を用いているため、次に示す運転が自動的に行われる。太陽電池の動作特性（特に出力）を監視、設定値に達すると、パワー・コンディショナ PC は自動的に起動、設定値以下になると自動的に停止

①太陽光発電システムによる負荷への電力供給は原則として昼間のみを対象とする。九州電力ラインへの接続は午前 8 : 00 ~ 22 : 00, 夜間の 22 : 00 ~ 8 : 00 の時間帯は切断。

②発電システム装置の自動停止後の復帰は時限を採って動作開始。不要な高頻度ポンピングの回避。交流システムに事故が発生した場合、あるいはパワー・コンディショナ PC が故障した場合、速やかに商用システムとの連系接続を解除し、パワー・コンディショナ PC は確実に停止する。

③商用システムの事故の場合、それが復旧すれば、確認時間後自動的に再投入（接続）。連係運転の再開がはじまる。システムの系統連系保護方式は「系統連係技術要件ガイドライン」（H10.3.10改訂）および【解説】電力系統連系技術要件ガイドライン'98 に沿ったもので、系統連系保護機能の種類、設置総数およびその検出場所は次の表 1 に示される。

表 1 連系保護機能の種類・設置場所

保護継電器の種類	設置相数	検出場所
地絡過電圧継電器 (OVGR)	一相	受電室
過電圧継電器 (OVR)	一相	PC 出力点
不足電圧継電器 (UVR)	三相	
周波数上昇継電器 (OFR)	一相	
周波数低下継電器 (UFR)	一相	
単独運転検出機能	一相	

表 2 太陽電池モジュールの特性

特性	モジュール
最大出力	145W _{min-10%}
最大出力動作電圧	19.9V
最大出力動作電流	7.29A
開放電圧	24.9V
短絡電流	7.69A

条件：日射強度 1.51kW/m²
 : 素子温度 25℃

およびシステムの異常時には連係を遮断

図 2 は太陽電池モジュールの結線方法と PC への接続を示す。15モジュール直列を 5 チャンネル集電箱で保護素子等を含めて接続し、一台のパワー・コンディショナ PC へ、15モジュール直列、5 チャンネルを 4 組、300枚の太陽電池モジュールからの直流電力はパワー・コンディショナ PC4台で交流に変換される。電気工学・生物応用化学科棟屋上に設置

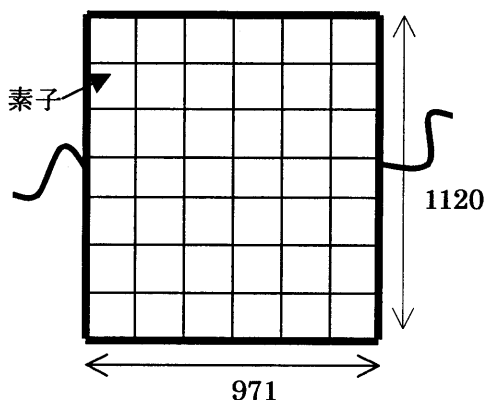


図 3 太陽電池モジュールの形状
(1モジュール42素子)

表 3 系統連系パワー・コンディショナ
*JISC8961-1993

公称容量：10kW (定格出力9.99kW)
入力電圧範囲：DC190V～450V
定各入力電圧：DC300V
最小入力運転電圧：DC180V
電力変換効率：94%max (最大)* (入力300V 100% 出力時)
連係系統電気方式：三相3線式
交流側定格：AC200V 60Hz または50Hz
出力基本波力率：0.95以上
連係運転範囲：定格電圧±10%
定格周波数：±1%
過負荷耐量：110%連続
高調波電流含有率：総合5% (各次3%以下)
電力制御方式：最大電力追従制御
使用周囲温度：-15℃～+50℃
相対湿度：10～90%

2. システム構成機器の仕様

システムを構成する主な機器、太陽電池モジュール、パワー・コンディショナ、接続箱、日射計、OVGR ユニットおよび表示装置・計測ソフトの仕様について述べる。太陽電池素子はアモルファス、多結晶および単結晶によるものがあるが、本校の太陽電池モジュールは42素子で構成される多結晶シリコン太陽電池モジュール (京セラ SPG145 13.8kg) で、その外形寸法および出力特性はそれぞれ図3および表2に示される。モジュールの集合体であるPVアレイの設置傾斜角度は30°が高効率であるが、本校の場合、それは耐風を考慮して20°である。15モジュール直列の5チャンネルからのモジュール出力を1台のパワー・コンディショナPCにわたすた

めの接続ユニットは入力5回路、出力1回路で、入力回路断路端子、逆流防止ダイオード、配線用遮断器および誘導雷保護等を含む。機械・材料工学科棟の接続箱には日射計用信号変換器が含まれる。接続箱からの直流電力を交流電力に変換する全自動パワー・コンディショナ (京セラ エコノライン1000) 内のインバータについての仕様は表3に示される。主回路方式について、連系運転時の場合、電圧型電流瞬時値制御である。スイッチング方式は正弦波 PWM 方式である。パワー・コンディショナは保護機能として、以下の故障、異常検出機能を有する。

(1) 故障検出

インバータ内部における地絡、短絡事故や故障に対する保護機能であり、0.5秒以内に異常を検出、ユニット内の連系開閉器を遮断状態に移行する。異常要素が正常に回復すると自動的に再起動する。しかし、直流過電流、制御異常、パワー素子過電流、チョッパ過電流、チョッパ過電圧、地絡検出異常および直流分検出については4回連続検出すると停止状態を保持、事故修復を完了、システムが正常で、人による操作があるまで再起動しない。

(2) システム異常検出

システム事故、作業におけるシステム異常に対する保護機能であり、整定時間より長く異常が継続するとインバータ・ユニット内の連系開閉器を遮断、停止

(3) 太陽電池異常検出太陽電池の地絡事故に対する保護機能で、2秒以内に異常を検出、ユニット内の連系開閉器を遮断

(4) 単独運転防止機能システム事故、作業等でシステムを開放時、パワー・コンディショナが運転継続 (暴走) を防止する機能

日射計は英弘精機製の全天日射計 (MS-601) で、感度は視野角 1 sr で 5～11mV/kW・m⁻² (内部抵抗 90～140Ω) である。表示装置は発電電力 (kW)、一日の発電電力量 (kWh) および日射強度 (kW/m²) を示す。これらの値は一定の設定時間で、新しくセットされます。

計測システムは Windows 95/98/NT OS 下のラプラス・システム社の太陽光発電システムの計測ソフト “Solar Link” で構成される。計測要素として、横河電機ポータブル・データロガー PD30, PA100, SOLACⅢ, CONTEC A/D ボード (8ch) ADI 12-8CL, PI ボード PI-64T(PC) が具備、通信方式は RS-232C である。システムは内部メモリ 32MB 以上、ハードディスク 100MB 以上、ISA バス 1 スロットがオプションのための余裕がある。外

気温度、傾斜面日射量、水平面日射量、直流電圧、直流電流、交流電圧、交流電流、交流電力、負荷電力、変換効率、系統電力、買電電力および電力量の測定が可能である。

む す び

現在使用の計測チャンネル数は15チャンネルであるが、計測チャンネル数は最大50チャンネルであり、残りのチャンネルには他の必用な計測値が期待できる。さらに関数による処理機能を有するため、風力、熱発電を含むハイブリッド・システムの解析も可能であり、期

待される。最後に、参考資料の提供の京セラ、三和システム株式会社には謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 京セラ株式会社ソーラーエネルギー事業部 “久留米工業高専 太陽発電設備機器 納入仕様書”
- 2) 京セラ株式会社ソーラーエネルギー事業部 “太陽発電パワーコンディショナ取り扱い説明書”
- 3) 浜川圭弘 “最新太陽光発電技術” 書店
- 4) 浜川圭弘 “太陽光発電入門” オーム社
- 5) ラプラス・システム “太陽光発電計測システム” Solar Link “取り扱い説明書”
- 6) 辻高輝 “太陽電池” パワー社



教育研究報告

表計算ソフト「エクセル」を用いた電子軌道シミュレーション

杉 森 欣 三

Simulation of Electron Trajectories with the Aid of Computer Program, "EXCEL"

Kinzo SUGIMORI

In this paper, a simple and useful method is mentioned for the numerical solution of the simulation of electron trajectories with the aid of personal computer program, "EXCEL". The potential distribution within the boundary region was solved by difference method. And the equation of electron motion was solved by Heun method. This numerical calculation method with the "EXCEL" described here will be one of the useful education tools for the lecture such as Electromagnetic Theory.

1. はじめに

筆者の担当する講義のひとつに専攻科の機械電気系コースの学生に対して行っている「応用電磁気学」がある。電磁気学は電気系学生はいうまでもなく、機械系ほかの学生にとっても重要な、いわば工学の基礎をなす科目のひとつである。にもかかわらず、電磁気学は学生にとって難解な科目のひとつであるように見える。

その原因についていろいろ想像してみると、ひとつには難解な数式の展開が無味乾燥で、その物理的イメージがなかなかつかめないことが一因と考えられる。そこで筆者はここ1, 2年、コンピュータ併用による演習やレポート課題で、その物理的理解を助ける工夫を行っている。その一つとして、ある境界領域内の電位分布をラプラス方程式の差分法による数値解法を、表計算ソフト「エクセル」上で展開することを思いつき、実際に講義等に 응용してみたが、受講学生のみならず他の関係者にも好評であった。この詳細についてはすでに報告しており¹⁾、ここでは重複を避けたい。

今回、上述の手法をさらに発展させて、静電磁場中の電子軌道シミュレーションを前回と同様に「エクセル」上で展開することを試み、所期の成果を得たので以下に報告する。このシミュレーション手法は、テレビ用カラーブラウン管や衛星搭載用マイクロ波電子管などの電子銃設計で使用される手法²⁾と、計算精度を別にすれば基本的には同じである。しか

しながらこれをエクセル上で展開することは、その計算過程や経過をビジュアルにディスプレイ画面上に確認しながら計算を実行できるので、物理的イメージの理解に大変有効である。また教育的効果だけでなく、利便性、操作性などの点からも詳細設計の前の予備設計などの用途にも十分実用性が高いと思われる。

2. 静電磁場中の電子の運動

今、簡単のため2次元直交座標系 (x, y) を考える。電界強度 $\mathbf{E}(x, y)$ および磁束密度 $\mathbf{B}(x, y)$ の静電磁場中では電子はローレンツの力 $\mathbf{F}(x, y)$ を受ける。すなわち、

$$\mathbf{F} = -|e|\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (1)$$

但し、 $-|e|\mathbf{v}$ および $\mathbf{v}(x, y)$ はそれぞれ、電子の電荷および電子の速度である。ここで \mathbf{F} などの太文字記号はベクトル量であることを示す。

つぎに電子の質量を m とすれば、力 \mathbf{F} を受けた電子はニュートンの運動方程式に従い、次式で表される加速度、 $d^2\mathbf{r}/dt^2$ が発生する。すなわち、

$$d^2\mathbf{r}/dt^2 = \mathbf{F}/m \quad (2)$$

ここで $\mathbf{r}(x, y)$ は電子の位置ベクトルで、 t は時間である。

さらに簡単のため磁束密度を $\mathbf{B}=0$ として、電場のみを考慮すれば電子の運動方程式は (1) 式および (2) 式から (3) 式のように表される。

$$d^2\mathbf{r}/dt^2 = -|\eta|E \quad (3)$$

ここで $-|\eta|$ は電子の比電荷で次の値である。

$$|\eta| = 1.7588 \times 10^{11} (\text{Coul./kg}) \quad (4)$$

また電界強度 E は電位を $V(x, y)$ とすれば、

$$E = -\text{grad}V \quad (5)$$

であるから、(3) 式はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} d^2x/dt^2 &= |\eta| (\partial V/\partial x) \\ d^2y/dt^2 &= |\eta| (\partial V/\partial y) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

さらに、電子速度の x 成分および y 成分をそれぞれ $v_x(x, y)$ および $v_y(x, y)$ とすれば、(6) 式はつぎの (7) 式~(10) 式のような1階連立常微分方程式に変換される。

$$dx/dt = v_x \quad (7)$$

$$dy/dt = v_y \quad (8)$$

$$dv_x/dt = |\eta| (\partial V/\partial x) \quad (9)$$

$$dv_y/dt = |\eta| (\partial V/\partial y) \quad (10)$$

さらに(7)式より $dt = dx/v_x$ であるから、これを(8)式~(10)式に代入して時間 t を消去すれば、次の(11)式~(13)式に示すような v_x, v_y および y の、位置 x に関する1階3元連立常微分方程式に帰着する。

従って電子軌道すなわち、 $y=f(x)$ は以下の(11)式~(13)式を解くことによって得られる。

$$dv_x/dx = |\eta| (\partial V/\partial x)/v_x \quad (11)$$

$$dv_y/dx = |\eta| (\partial V/\partial y)/v_x \quad (12)$$

$$dy/dx = v_y/v_x \quad (13)$$

3. 常微分方程式の初期値問題の数値解法

上の(11)式~(13)式の問題は次の初期条件、すなわち、

$$\begin{aligned} x=x_0 \text{ において } \quad v_x &= v_{x0}, \\ v_y &= v_{y0}, \\ y &= y_0 \end{aligned}$$

の初期値を出発点とし、独立変数 x の小さい刻みを h として、 $x_1 (=x_0+h), x_2 (=x_0+2h), \dots, x_n (=x_0+nh)$ と順次、 v_x, v_y および y を求めていく問題である。

この常微分方程式の初期値問題の数値解法はほぼ確立しており専門書や解説書も多いので³⁾、ここではその概要を紹介するにとどめる。

(13) 式を例にとって説明する。今これを、

$$dy/dx = g(x, y) \quad (14)$$

とおく。

$x_n = x_0 + nh$ に対する y の値 y_n が得られているとき、そのつぎの $x_{n+1} = x_n + h$ での値 y_{n+1} を求める手法として、次のような方法がある。

(a) Euler (オイラー) 法

(b) Heun (ホイン) 法

(c) Runge (ルンゲ)-Kutta (クッタ) 法

図1(a)~(c)にこれらの方法を説明する模式図³⁾を示す。まず(a)のEulerの方法は点 (x_n, y_n) における傾き $g(x_n, y_n)$ から次式より y_{n+1} を求める。

$$y_{n+1} = y_n + h \cdot g(x_n, y_n) \quad (15)$$

この方法は簡便ではあるが誤差が累積しやすく、精度は上の三つの方法の中では一番低い。

そこでこれを改良したのが(b)のHeunの方法

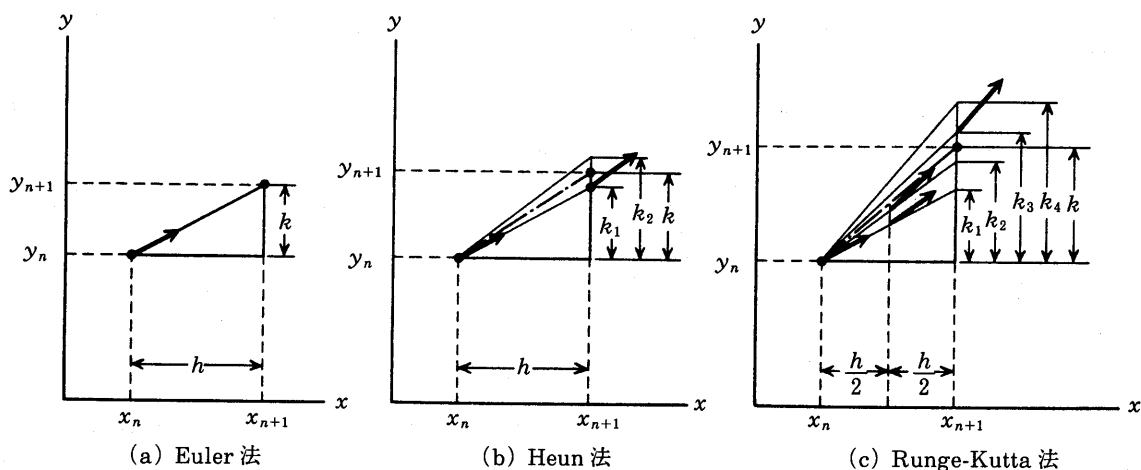


図1 常微分方程式の数値解法の模式図³⁾

である。この方法は Euler の方法で求めた点 (x_{n+1}, y_{n+1}) での $g(x_{n+1}, y_{n+1})$ の値からもう一度 y_{n+1} を求めて、これと前者の値との平均をとって解とする方法である。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= h \cdot g(x_n, y_n) \\ k_2 &= h \cdot g(x_{n+1}, y_n + k_1) \\ y_{n+1} &= y_n + (k_1 + k_2) / 2 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

(c) の Runge-Kutta の方法は x_n と x_{n+1} との中間の点 $x_n + (h/2)$ での値も計算して、それらの重み付き平均をとって解とする方法である。三つの方法の中では一番精度が高いが、若干複雑になる。

本文では (b) の Heun の方法を用いて、以下の計算を行った。以上は (13) 式の y に関して解法を述べたが、(11) 式、(12) 式の v_x, v_y についても全く同様で、刻み h ごとに y, v_x, v_y を平行して上の解法に沿って進めていけばよい。

4. エクセル画面上で解く

さて、本稿の主眼はこれまで述べた解法を表計算ソフト「エクセル」の画面上で展開することであるが、その手順を以下に順を追って述べる。

図 2 に示すような $10(\text{cm}) \times 10(\text{cm})$ の正形状の電極と電極電圧のばあいを例に、電極 K から放出される電子の軌道を計算してみよう。

(1) 領域をメッシュで細分する

図 2 の電極で囲まれた領域を例えば幅 $h=5(\text{mm})$ のメッシュで縦横それぞれ 20 等分に細分する。

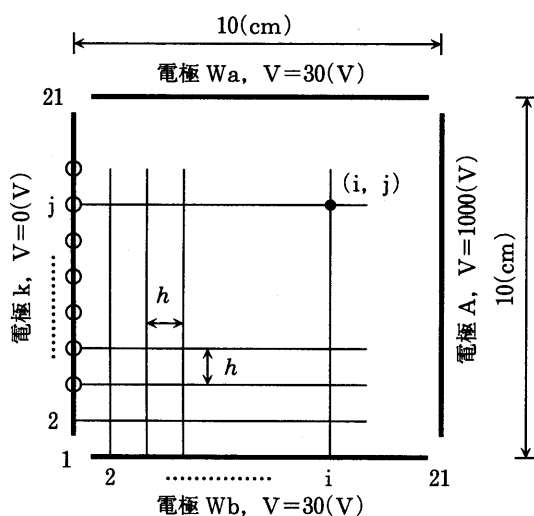


図 2 正形状電極で囲まれ、メッシュで細分化された電場

(2) 電位分布を求める

領域内の電位分布はラプラスの方程式により決定されるが、これを差分近似法により領域内の $19 \times 19 = 361$ 点のメッシュ点の電位を求める。各メッシュ点はエクセルの表では各セルに対応する。求め方の詳細についてはすでに拙著論文¹⁾に述べているので、ここでは省略する。

図 3 はそのようにして求めた結果を等電位線で示した図である。

(3) 電位傾度を求める

次に上の項 (2) で求めた電位分布からメッシュ点の電位傾度 $\partial V / \partial x, \partial V / \partial y$ を求める。メッシュ点 (i, j) における電位傾度 $(\partial V / \partial x)_{i,j}$ および $(\partial V / \partial y)_{i,j}$ は次式から求められる。

$$\left. \begin{aligned} (\partial V / \partial x)_{i,j} &= (V_{i+1,j} - V_{i-1,j}) / (2h) \\ (\partial V / \partial y)_{i,j} &= (V_{i,j+1} - V_{i,j-1}) / (2h) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

実際のエクセル画面上での操作は項 (2) の電位分布のばあいとほぼ同様である。このようにして $\partial V / \partial x$ および $\partial V / \partial y$ の表がそれぞれひとつずつできる。

(4) 電子軌道計算初期条件

次に初期条件を設定する。電極 K ($x=0$) から電極に垂直に初速度 0 で、 $y=2(\text{cm}), 3(\text{cm}), 4(\text{cm}), 5(\text{cm}), 6(\text{cm}), 7(\text{cm})$ および $8(\text{cm})$ の計 7 カ所 (図 2 電極 K の ○ 印の点) から電子が放出されるものとする。

$y=2(\text{cm})$ から放出される電子の初期条件は、

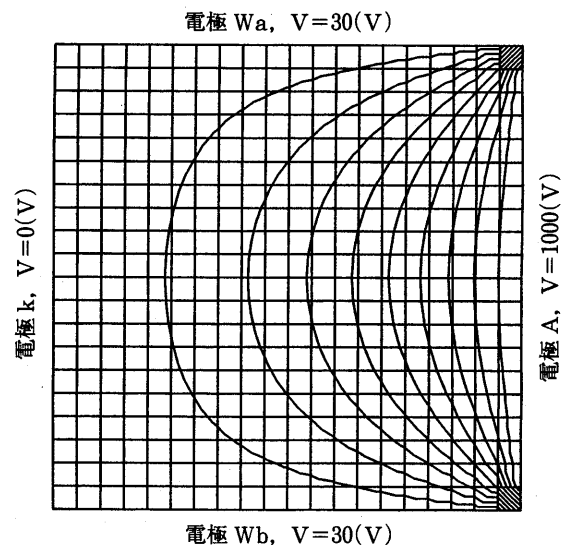


図 3 差分法で求めた電位分布 (等電位線表示) (図 2 の電極形状、電圧に対応)

表 1 Heun 法による電子軌道計算結果のリスト (部分)

x(m)	0	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04
vx1(m/s)			3441270	4036521	4600965	5130533	5644400	6158965	6828411
vx(m/s)	0	2302061	3244892	3956536	4561031	5111323	5638034	6210184	6835055
vy1(m/s)			75985.6	242541.5	478719.2	783869	1156185	1594171	1998839
vy(m/s)	0	0	106175.7	275812.1	512800.1	817618.1	1189325	1594112	2022270
y1(m)			0.02	0.020245	0.020686	0.021355	0.022274	0.023456	0.024854
y(m)	0.02	0.02	0.020082	0.020338	0.020793	0.021474	0.022401	0.023571	0.024952

x=0(m),
y=0.02(m),
vx=0(m/s),
vy=0(m/s)

である。

ここでは Heun 法により刻み h(m) 毎に計算を進める。刻み h は小さいほど精度が上がるが本稿では一応、領域を 20 等分したメッシュ幅の 5(mm) を刻みとして計算する。すなわち、

$$h=0.005(m)$$

である。

(5) 仮想電極設定

さてこれで計算を実行開始すればよい訳であるが、(11) 式~(13) 式の電子軌道計算式を見ると明らかなように分母に vx を含んでおり、電子放出面 (x=0) では初期条件を vx=0 としているの、このままでは計算を開始できない。そこで電子放出面に十分近く、かつ平行な仮想電極面を想定して、その面から電子が次に述べる速度で出発するものと考え。

仮想電極面の電位を V とすると、この面を通過する電子の速度は次式で表される。すなわち、

$$v_x = \sqrt{2 | \eta | V} = 5.931 \times 10^5 \sqrt{V} \text{ (m/s)} \quad (18)$$

また仮想電極面を電子放出面に十分近く平行としたから仮想電極面においても Ey=0 と考えてよく、従って vy は電子放出面と変化なく vy=0 である。

この計算では 1 メッシュ幅 5(mm) 離れた面を仮想電極面とした。その電位は既に項 (2) で求めてあるから、その値を使って式 (18) から仮想電極での電子速度を計算すればよい。

(5) 軌道計算実行

これでようやく計算を開始できる条件が整った。最初のセル (x=0.01(m)) に計算式を入力するが、その次のステップのセルからはこれをドラッグ・コ

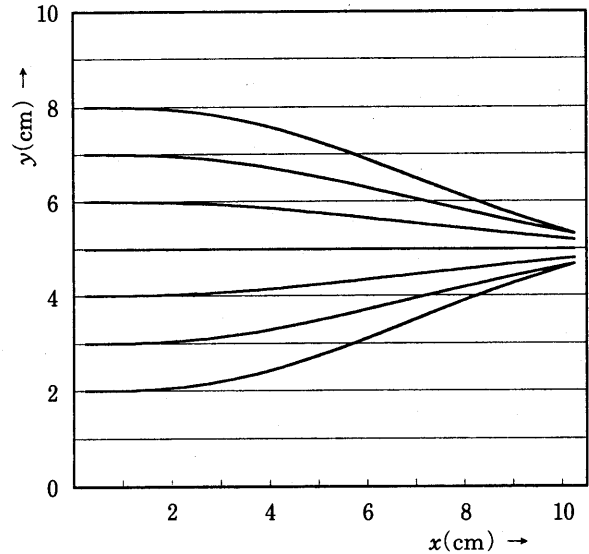


図 4 電子軌道シミュレーション結果 (その 1)
(図 3 電位分布に対応)

ピーしていけばよいので簡単である。

計算では電子の位置での電位傾度 $\partial V / \partial x$ 、 $\partial V / \partial y$ の値が必要であるが、これは項 (3) で準備しておいた表から呼び出せばよい。本稿では電子の位置に最も近いメッシュ点での値を用いた。

エクセル上でこの呼び出しを行うにはエクセル内蔵の関数ルーチンを次のように組み合わせ、

INDIRECT(ADDRESS(X,Y))

などとすると、X 行 Y 列の番地のセルにメモリされている数値を取り込んでくれるので利用すると便利である。

表 1 に電子出発点が y=2(cm) のばあいの計算結果の表 (一部分) を示す。y=3(cm), 4(cm), ... のばあいも全く同様にして計算を行えばよい。

5. 電子軌道シミュレーション結果

図 3 (等電位線) のばあいに対応する電子軌道シミュレーション結果を図 4 に示す。電子放出電極 K に対向する電極 A 付近で、ビームが交叉することな

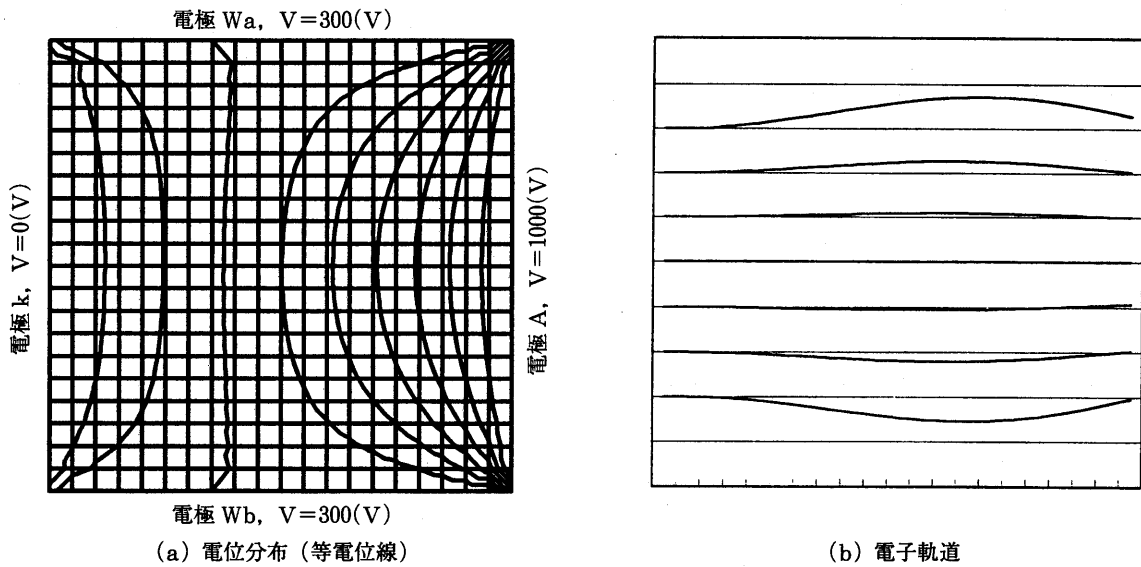


図 5 電子軌道シミュレーション結果 (その 2)

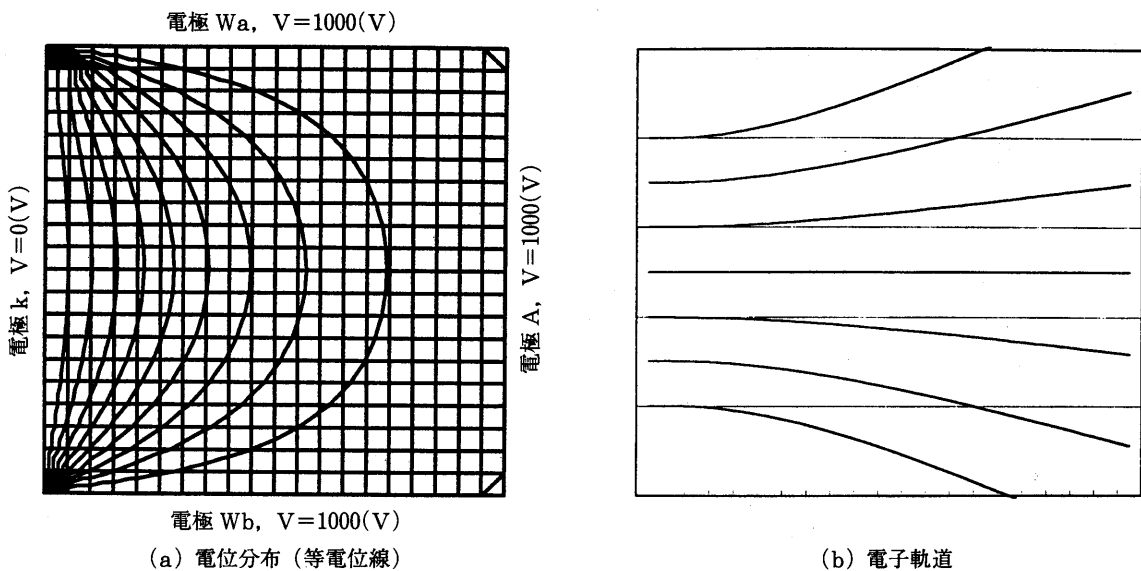


図 6 電子軌道シミュレーション結果 (その 3)

くラミナー性(層流性)よく集束していることがわかる。実は対向する一対の電極 Wa/Wb の電位 ($V_w=30(V)$) はそうなるように選んだ値である。

もう一つの例は電極 Wa/Wb の電位を $V_w=300(V)$ としたばあいである。図 5 (a) に等電位線図を、また図 5 (b) に軌道シミュレーション結果を示す。このばあいは多少うねりがあるが、ほぼ平行ビームが得られていることがわかる。

最後の図 6 (a), (b) の例は電極 Wa/Wb の電位を電極 A と同電位の $V_w=1000(V)$ としたばあいである。

このようにビーム形状は電極 Wa/Wb の電位に強く依存するので、この電極を集束電極あるいは人名からウエネルト電極と呼んでおり、カラーテレビ用ブラウン管ほかの電子銃構造は上述の例とほぼ同じ原理に依っている。また CAD による電子銃設計法なども本稿で述べた方法と基本的には同じである²⁾。

6. あとがき

先に、ラプラス方程式の境界値問題の、差分法による解法を表計算ソフト「エクセル」を使って解く

方法を報告した。

今回はこれをさらに発展させてエクセル画面上でその機能を十分活用して、比較的簡便な操作で、静電場中の電子軌道シミュレーションを数値解として得る事ができ、その結果をよく図示できることを示した。

今回の計算では磁場があるばあいや、電子相互間の空間電荷効果などは一切省略したが、今後これらのファクターを追加改良すれば、さらにシミュレーションの適用範囲は広がるであろう。

本稿が学生の講義、実習などのアシスト・ツール

として、また研究などの実務の一助になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 杉森：「表計算ソフト「エクセル」を用いて差分方程式を解く」, 久留米工業高等専門学校紀要第14巻第2号, pp.57-60, March 1999.
- 2) 日本学術振興会第132委員会編：「電子・イオンビームハンドブック第3版」pp.351-388, 日刊工業新聞社, 1998.
- 3) 例えば, 森口：「数値計算工学」pp.183-209, 岩波書店, 1989.



教育研究報告

校内ネットワークシステムの西暦2000年問題への対応

江	頭	成	人
小	田	幹	雄
馬	場	隆	男
松	本	健	一

An Approach to Y2K Problem for Local Area Network System of Kurume National College of Technology

Naruto	EGASHIRA
Mikio	ODA
Takao	BABA
Kenichi	MATSUMOTO

1. ま え が き

以前より、コンピュータ西暦2000年問題（Y2K問題）が懸念されていたが、抜本的な対策がなされぬまま時間が経過し、その直前になって大きな社会問題となった。

本校においては、1994年7月にインターネットに接続され²⁾、1995年3月にイエローケーブルによる校内ネットワークシステムが、1996年3月に光ケーブルによる校内ネットワークシステムが設置され¹⁾、1998年3月に教育用電子計算機システムが設置された³⁾。設置当時からY2K問題が存在することは分かっていたが、システムそのものに対してはユーザが干渉することはできず、問題が持ち越されてきた。

しかし、1999年8月22日9時0分に古いカーナビゲーションシステムが秒のカウンタのオーバフローによって、停止や誤動作をする事態を受けて、深刻さが増してきた。本校においても、コンピュータや実験装置などのY2K対応の必要性が認識されるようになった。

本報告においては、本校の校内ネットワークシステムおよび教育用電子計算機システムにおけるY2K問題への対応について報告する。特に、校内ネットワークシステムの各種サーバ機においては、Y2K問題の影響が大きいと考えられたので、各種サーバ機の再構築を行ったことについて、詳しく報告する。

2. Y2K問題と本校における対応

Y2K問題に関しては、多くの書物およびWWW（World Wide Web）のページで紹介されているので、本報告においては、電子計算機室における校内ネットワークシステムの対応についてのみ言及する。

本校におけるY2K問題への対応は、以下の基本構想にしたがって行った。

- (1) 電子計算機室で設置した機器に対してのみ対応する
- (2) 問題が既知である場合にのみ対応する
- (3) 不足の事態に備えて、バックアップをとる
- (4) Y2K問題の情報を学内へ通知する（付録参照）
以下、具体的な対応法について述べる。

3. ネットワーク機器の対応

校内ネットワークシステムの概略図を図1に示す。ネットワーク機器の中でY2K問題を発生する可能性のある機器は、学内LANの中核を担う、ルータ1台およびイーサスイッチ2台である。それらの機器が専用機器であるため、Y2K問題への対応は、ユーザが直接的に行うことはできない。そこで、それらの機器の保守契約先である日本アイ・ビー・エム（株）によってシステムの更新などを行ってもらうことにより対応した。

4. 各種サーバ機の対応

校内ネットワークシステムには、図1に示す通り、多くのサーバ機が接続されている。本章においては、電子計算機室が設置した、図中○印のインターネッ

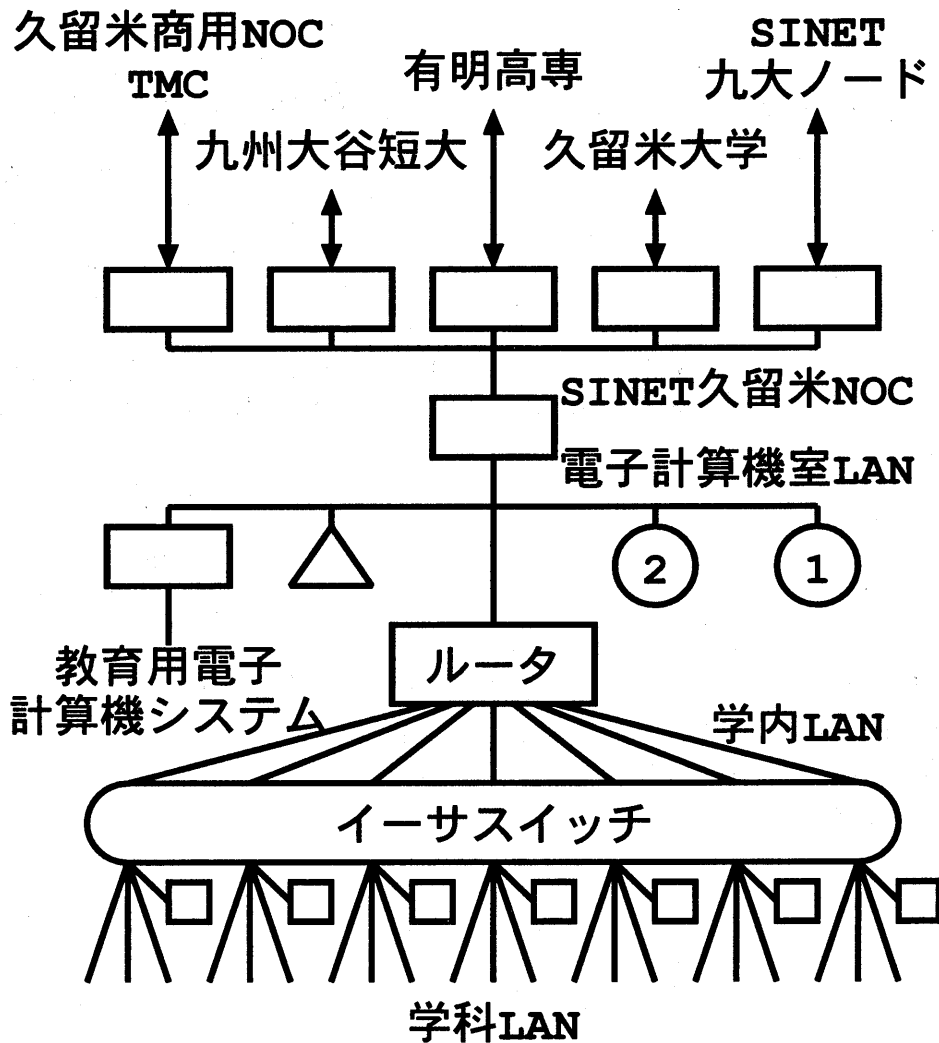


図1 校内ネットワークシステムの概略図

トサーバ機（ドメインネームサーバ機，WWWサーバ機，インターネットニュースサーバ機など），□印の各学科 E-Mail サーバ機，△印のバックアップサーバ機等における Y2K 問題への対処状況を述べる。各学科が学科の責任において学科 LAN に接続されたサーバ機に関しては，そのサーバ機の責任者に対処を任せた。

各種サーバ機においては，既知の Y2K 問題がある場合は対処を行い，さらに大容量記録メディアである DVD-RAM に全データのバックアップをとることにした。

4.1 インターネットサーバ機（2台）

これまで，インターネットサーバ機は，2台のコンピュータで運用されてきた。1995年1月に設置された東芝 AS4035（OS: SunOS 4.1.4）はメインサーバとして，ドメインネームシステム（DNS）のプライマリサーバ，校内メーリングリストを管理する

E-Mail サーバ，インターネットニュースサーバの役割を担ってきた。1994年1月に設置された富士通 FM/V（OS: FreeBSD 2.0 RELEASE）はサブサーバとして，DNS のセカンダリサーバおよび本校のトップページ（ホームページ）を受け持つ WWW サーバの役割を担ってきた。これらの OS には，Y2K 問題があり，双方のコンピュータともに古くて能力的に限界にきていたので，PC/AT 互換機を自作し，新しい OS を導入した。

インターネットサーバ機のハードウェアの仕様を表1に，主なソフトウェアの一覧を表2に示す。各ソフトウェアのバージョンを公開すると，無用な攻撃を受ける可能性があるため差し控える。学内ネットワークは10Baseで構築されているが，近い将来の高速化に備えて，ネットワークカードとして100Base-TXも利用できるタイプを選択した。

表1 インターネットサーバ機のハードウェア仕様

項目	規格
CPU	Pentium III 450MHz
Memory	131,072K bytes
HD	6,149MB
CD-ROM	5512KB/sec, 128KB cache
Network	10Base-T/100Base-TX

表2 インターネットサーバ機のソフトウェア一覧

項目	ソフトウェア名
OS	FreeBSD
DNS	named
E-Mail	sendmail, CF
NEWS	inn, nntplink
WWW	apache

表3 E-Mailサーバ機のハードウェア仕様

項目	規格
CPU	Pentium III 450MHz
Memory	131,072K bytes
HD	6,149MB
CD-ROM	5512KB/sec, 128KB cache
Network	10Base-T/100Base-TX

表4 E-Mailサーバ機のソフトウェア一覧

項目	ソフトウェア名
OS	FreeBSD
WWW	apache
E-Mail	sendmail, CF
日本語FEP	Canna, Wnn
Mailer	mule, mimekit, mh, tm

表5 バックアップサーバ機のハードウェア仕様

項目	規格
CPU	Pentium III 450MHz
Memory	131,072K bytes
HD	6,149MB
CD-ROM	5512KB/sec, 128KB cache
DVD-RAM	2.6GB × 2

表6 バックアップサーバ機のソフトウェア一覧

項目	ソフトウェア名
OS	FreeBSD
Editor	mule
Backup	自作

4.2 学科E-Mailサーバ機(9台)

これまで、学科E-Mailサーバ機として、1996年3月に設置されたIBM RS/6000 43P (OS: AIX-4.1.4) で運用してきた。学科E-Mailサーバ機の役割は、学科メーリングリストの管理、E-Mailの読み書き、学科用WWWサーバであり、その管理は学科LAN責任者に任されている。これらのコンピュータにもY2K問題があり、古くて能力的に限界にきていたので、PC/AT互換機を自作し、新しいOSを導入した。

以下にE-Mailサーバのハードウェアの仕様を表3に、主なソフトウェアの一覧を表4に示す。日本語FEP (Front End Processor) は、CannaとWnnの2種類をインストールしており、好みに応じて.emacsを書き直すことにより使い分けができるようにした。Mailerにはmimekitをインストールし、E-Mailで日本語のSubject等を使用できるようにした。

4.3 バックアップサーバ機(1台)

これまで、バックアップサーバ機として、学科E-Mailサーバ機と同じIBM RS/6000 43P (OS: AIX-4.1.4) にDATとPDを取り付けて運用してきた。Y2K問題とハードウェア的な限界への対処のため、PC/AT互換機を自作し、バックアップ装置としてDVD-RAMを実装し、新しいOSを導入した。

以下にバックアップサーバのハードウェアの仕様を表5に、主なソフトウェアの一覧を表6に示す。バックアップソフトウェアは自作した。

このサーバ機を用いて、各種サーバ機的全データのバックアップを行った。

5. ま と め

本報告は、電子計算機室の校内ネットワークシステムにおけるY2K問題への対処について簡単にまとめた。既知のY2K問題にはシステムの更新やサーバ機の入れ換え等で対処し、未知の問題には全データのバックアップをとることで対処した。

このサーバ機の入れ換えによって、古い機械が余ることになった。今後は、それらの性能に見合った使い方を工夫することによって、再利用を進める必要がある。

謝 辞

校内ネットワークシステムの Y2K 問題への対処に御協力いただきました本校教職員の皆様に対し、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 松本, 江頭, 馬場: 校内ネットワークシステムの構成, 久留米工業高等専門学校紀要, 第12巻, 第1号, pp.45-52, 1996.9.
- 2) 江頭, 大淵, 松本, 馬場, 佐塚: 久留米高専のインターネットと久留米地区学術系 NOC について, 久留米工業高等専門学校紀要, 第13巻, 第2号, pp.39-43, 1998.3.
- 3) 小田, 馬場, 栗原, 江頭, 松本, 大淵: 教育用電子計算機システムの構築と運用, 久留米工業高等専門学校紀要, 第14巻, 第2号, pp.61-66, 1999.3.

A. 学内への Y2K 問題の情報提供

以下に, Y2K 問題に関して1999年7月12日と同年11月22日発行の電子計算機室ニュースにおいて情報提供を行った, 後者の内容を以下に示す。

電子計算機室ニュース

☆コンピュータの2000年問題について

コンピュータの2000年問題について, 7月12日の電子計算機室ニュースで情報提供いたしました, そろそろ2000年が近づいてまいりましたので, 学内コンピュータネットワークとインターネットの状況および電子計算機室のスタッフがとっている個人用パソコンの対策の紹介をいたします。

1. 学内コンピュータネットワークとインターネットについて

学内コンピュータネットワーク(学内 LAN) に関しては, 問題のあるシステムの更新など, 考え得る対策を既にとっています。しかし, 元旦(±1日)には, 何らかの不具合が発生するとも限りません。そのさいは, 学内 LAN が停止し, 一時使用不能となることとなりますが, リセットで回復すると考えられますので, 電子計算機室のスタッフが出動して復旧させるまでお待ちください。インターネットに関しても同様のことが考えられますが, 本校の電子計算機室のスタッフでは如何ともできませんので, 復旧するまでお待ちください。

2. 個人用パソコンについて

個人用パソコンについては, 前回の電子計算機室

ニュースの内容を再掲いたします。ただし, (4) は更新いたしました。

(1) こまめにバックアップをとる

2000年問題で起こる全ての症状を伺い知ることはできません。想定される最悪の場合は, そのコンピュータが二度と立ち上がらなくなり, 2000年以降に発売されたソフトウェアを再インストールしなければならないことです。その時, バックアップがないと, 全てを作り直す必要があります。そこで, 以下のようなことに留意してバックアップをとることをお勧めします。

(a) フロッピーディスク等の機種に依存しないメディアに保存する (b) 保存したメディアには書き込み禁止の処置を施す (c) バックアップメディアは複数個持つ (d) なるべくソフトウェアに依存しないテキストファイルで保存する (e) なるべく圧縮は行わない

システムそのもののバックアップは, ソフトウェアが2000年問題に対応できていない場合は, 対応したソフトウェアに変更する必要がありますので, この場合はあまり役に立たないと考えられます。バックアップは, コンピュータウイルス対策としても有効な手段です。こまめにバックアップをとることをお勧めします。

(2) 商用ソフトウェアはメーカーもしくは納入業者に対策を依頼する

商用ソフトウェアは, 著作物であり, その著作権は法律により保護されていますので, 個人がソフトウェアを解析, 改造することはできません。したがって, メーカーもしくは納入業者に対応をお願いしてください。2000年問題対策は, ハードウェアやソフトウェアの種類, バージョン, 製造年月日によって, 大きく異なる場合があります。したがって, 電子計算機室で取りまとめることは不可能ですので, 個人個人で対応をお願いします。そのさい, それぞれのメーカーが提供している, インターネットの WWW (World Wide Web) ページを参考になさってください。また, 以下のような2000年問題関連の WWW ページがあります(引用: 朝日新聞, 1999.7.9)。

<URL は省略>

(3) ソースプログラムが公開されているフリーソフトを利用する

商用ソフトウェアの多くは, 数名の担当者が作成し, 次々に代わっていきますので, ユーザから問題点が指摘されても, 対処することはできません。そこで, 本校のサーバ類は, ソースプログラムが公開

されているフリーソフトで構築することにしました。ソースプログラムが公開されていれば、世界中のユーザから問題点の具体的な解決方法が指摘され、素早い対処が望めるからです。

(4) 本校の対策について

現在のサーバである RS/6000-43P の BIOS と、OS である AIX 4.1.3 (UNIX) には、2000年問題があることが既に分かっていますので、この夏期休業中に新しいサーバにフリー UNIX をインストー

ルしました。サーバの変更は、使い方を変更しないようにいたしました。また、現在のサーバの個人のディレクトリにあるデータは、全てそのままにしていますが、全てのソフトウェアが同一ではありませんので、設定ファイル等を変更しているものもあります。不都合がある場合は、バックアップをとっていますので、ご連絡ください。教育用電子計算機システムは、メーカーが構築したもので、こちらでは手が出せませんので、納入業者に任せています。



平成12年度 編集委員

委員長 柳 謙 一 校長
副委員長 平 啓 国 男 教授(機 械)
杠 顕一郎 教授(数 学)
委 員 大 淵 豊 教授(電 気)
松 本 健 一 教授(制 御 情 報)
中 嶋 裕 之 助教授(工化・応化)
本 田 義 興 助教授(材 料)
宮 本 泉 助教授(物理・化学)
坂 元 宏 志 教授(外 国 語)
小 宮 厚 助教授(国語・人文)
木 寺 英 史 助教授(体 育)

平成12年 3 月21日 印刷

平成12年 3 月27日 発行

紀 要 第15卷 第 2 号

〒830-8555 久留米市小森野一丁目1番1号

編 集 兼
発 行 者

久留米工業高等専門学校

TEL 0942-35-9300

〒815-0035 福岡市南区向野2丁目13-29

印 刷 所

秀巧社印刷株式会社

MEMOIRS
OF
KURUME NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

Vol. 15 No. 2
(MARCH 2000)

CONTENTS

Changes in Stress Distributions during Initiation Process of a Fatigue Crack — Second Report —	.....	{ Ryoichi IMAI Kazuya MORI ... Shinji HASHIMURA	1
Equilibrium Vapor Pressure Measurements of Arsenic	.....	{ Koki SHIGEMATSU Jinichirou KUBO ... Mikio UMAKOSHI	9
Numerical Solution by Differential-Difference Method of High-Order for a Type of Non-Linear Initial-Value Problems	.....	Kenichirou YUZURIHA	17
Gender and the Politics Shin-Budhahism	.....	Hajime MATSUO	23
Kakusin-Ni	.....	Hajime MATSUO	29
A Study of the 'KIHON' in Kendo — Analyzing Past Problems with the Use of the Term 'KIHON' —	.....	Eishi KIDERA	35
The Solar Photovoltaic Power Generation System (Utility Interactive System)	.....	{ Yutaka OBUCHI Suguru NISHIDE Hiromi NANRI Masatoshi TAKAMATU ... Katuyuki NAKASHIMA Satoru KOGA Yoshiki TANAKA	39
Simulation of Electron Trajectories with the Aid of Computer Program, "EXCEL"	.....	Kinzo SUGIMORI	45
An Approach to Y2K Problem for Local Area Network System of Kurume National College of Technology	.....	{ Naruto EGASHIRA Mikio ODA ... Takao BABA ... Kenichi MATSUMOTO	51