UOI.64 2016 MARCH

福井大学大学院 工学研究科 研究報告



福井大学大学院 工学研究科 研究報告 第 64 巻 2016 年 3 月 Mem. Grad. Sch. Eng., Univ. Fukui, Vol. 64 (March 2016)

目 次

【9 月分】

汎用プラスチクスにおけるエンタルピー緩和のモデル化と並列処理プログラムの作成 1 触媒活性評価に関するーエ夫 ー指標としての触媒当たり時間当たり反応変換率(HCC)の提案ー 11 水素結合型錯体検証用キットに関するーエ夫 15 彷徨えるロボット ー群ロボットの自己位置同定ー 25 【3月分】 日本留学に関する基礎的研究 ータイ地方部における日本語教育と留学の現状を踏まえてー 33 Android 端末上の加速度センサを用いた新しい生体認証システム 43 Web 技術を用いた能動的学修支援の試み 51 P2P を利用したデータバックアップシステムの提案 57 Briefings for Local Resident of Ono City about Nuclear Power Generation In the Neutral Position -Practice after the Fukushima Daiichi Nuclear Disaster-65 障害者の自立と起業 69 Formation of Periodical Structure Formed on Diamond-like Carbon Film with a Femtosecond Laser -The formation on sliding surface of machine part-79

AVR マイコンによる光強度規格化制御システムの構築

ーフォトリフレクタンス分光における偽作信号抑制のためにー

Memoir of Graduate School of Engineering, University of Fukui Vol. 64, March 2016

CONTENTS

[September]	
Modelling of the Enthalpy Relaxation in Conventional Plastics with the Parallel Computing Program	
Noriki SAKAMOTO and Yutaka TANAKA	1
An Idea to Evaluate the Catalyst Activities in Chemical Syntheses — Proposition of the Term Hourly Conversion per Catalyst (HCC)— Ichiro TAKAHASHI, Takatoshi MATSUNAGA, Yuuki SUNADA, Katsuya TANAHASHI and Shinzo HOSOI	11
Proposition of a Series of Guest Compounds as a Molecular Crystal-Characterization Kit Ichiro TAKAHASHI, Shoya SAKAI, Aika SUKEYASU, Keisuke SANGA, Misato KAMIYA and Shinzo HOSOI	15
A Wandering Robot — Self-localization and Mapping of Swarm Robots — Sosuke TAKESHITA, Hiroki TAKADA and Takayuki HIRATA	25
[March]	
A Consideration of Studying in Japan Based on the Current State of Japanese-Language Education —A study on Contemporary Japanese-Language Education and Studying Abroad in the Southern Region of Theiland—	
Yasuyuki MATSUURA, Yuta KOMORI, and Hiroki TAKADA	33
New Biometric System Using Accelerometer on Android Terminals Takashi KOGA, Tomohiro ODAKA, Jousuke KUROIWA and Haruhiko SHIRAI	43
Active Learning Support System by the Student Reaction Using the Web TechniqueEiji NAKANISHI, Tomohiro ODAKA, Jousuke KUROIWA and Haruhiko SHIRAI	51
Fault Tolerant Data Backup System Using Peer-to-Peer Network Teppei YOSHIDA, Tomohiro ODAKA, Jousuke KUROIWA and Haruhiko SHIRAI	57
Briefings for Local Resident of Ono City about Nuclear Power Generation In the Neutral Position —Practice after the Eukushima Dajichi Nuclear Disaster—	
	65

Promotion of Starting a Business by the People with Disabilities with the Aim of Their Independence	
	O 69
Formation of Periodical Structure Formed on Diamond-like Carbon Film	
-The formation on sliding surface of machine part -	
	(U 79
Structuring Control Systems for Normalization of Optical Intensity	
with AVR Microcomputer	
—To Reduce the Spurious Signal on Photoreflectance—	
Eiichi KOBAYASHI, Kouki HASEGAWA, Takayuki MAKINO and Akihiro HASHIMO	ГО 83

汎用プラスチクスにおけるエンタルピー緩和のモデル化と 並列処理プログラムの作成

坂本 宜紀* 田中 穣*

Modelling of the Enthalpy Relaxation in Conventional Plastics with the Parallel Computing Program

Noriki SAKAMOTO^{*} and Yutaka TANAKA^{*}

(Received July 8, 2015)

As a background of this study, there is an analysis of the enthalpy relaxation in the high polymer thermal history. We made a calculation program to predict enthalpy relaxation. The prediction of the enthalpy relaxation is important from a point choosing materials in the manufacturing. However, the model needed long-time for calculation to predict enthalpy relaxation. Therefore we tried that we incorporated parallel computing in a program to shorten calculation time.

Key Words : Enthalpy Relaxation, TNM framework, Model calculation, OpenMP

1. 緒 言

現代社会において多くの製品に利用されている汎 用プラスチクスがある. これらプラスチクス製品は、 経時変化に伴う劣化スピードが金属無機材料や天然 素材に比べ速い事が明らかとなっている.これは、 熱や力の経時変化により材料の物性が安定状態に近 づく事が原因とされている.この現象の一つとして エンタルピー緩和がある.エンタルピー緩和は、経 時変化に伴いエンタルピーが安定な状態に緩和する 事である. つまり、エンタルピー緩和が起こると材 料は脆くなるという事である. 製品化される汎用プ ラスチクスは、エンタルピー緩和を考慮した上で選 択されている. 我々は、汎用プラスチクスの中のポ リスチレンについて、エンタルピー緩和に関する解 析を行った.エンタルピー緩和の研究方法として、 DSC 測定装置を用いた熱処理実験^[1]と Tool-Narayanaswamy-Moynihan $\mathcal{I} \mathcal{V} - \mathcal{A} \mathcal{D} - \mathcal{I}^{[2]-[4]}$ を用いた計算による比熱(cn)のシミュレーションの2 つがある. 今研究では計算シミュレーションの方を テーマとしている.

現在, 我々の研究室ではエンタルピー緩和を予測 する(c_pを計算する)システムとして, s047.f90 という

*大学院工学研究科材料開発工学専攻

*Materials Science and Engineering Course, Graduate School of Engineering 計算プログラム^[5]を使用している. s047 は, アダム・ ギブスの理論^{[6]-[7]}に基づいており S_c (配位エントロピ ー)より c_p を算出できる(S_c モデル). DSC 実験データ ^[1]を再現する事ができ, A(高温極限の緩和時間/min), B(エネルギー定数/Jg), T_2 (Gibbs-Dimardio 温度/ \mathbb{C})^[6] というパラメータの値を算出する事が出来る. パラ メータの算出の概要は, A, B, T_2 を3重の do ループに する事で,最も DSC 実験データを再現出来ていた際 の値を探す方法をとっている.3重 do ループを組む ことで,全周回数は 1000 万以上となり,1 日以上の 計算時間を必要としていた.そこで,計算時間の短 縮を目的とし,プログラムの並列処理を試みた。



Fig. 1 並列化のイメージ図.
a) 従来のプログラムのイメージであり,直列つなぎのように, lnA1 が終わり lnA2 へ進む流れ.
b) 並列処理のイメージであり,並列つなぎのように, lnA1~lnA100 が全て同時進行する流れ.

プログラムの並列処理とは、do ループを並列処理 (同時進行)することで格段な時間短縮が望めるとい うシステムである. 我々は、このシステムを s047.f90(*S*c Model サーチルーチン型)のプログラムに 組み込む事を試みた. Fig.1 にイメージ図を示した. 図に示したように、最も外側に存在する InA のルー プを並列化することを試みた. 初めは、並列処理を 学ぶために参考書(NagのOpenMP入門)^[8]をもとに理 解を試みた.

2. 解析と実験

2.1 並列段階 I (sections 指示構文の解析)

「Nag の OpenMP 入門」の 6 章 sections 指示構文 を理解し,実際に動かす事を目的とした. 演習課題 として提示されているコードを kadaiSections.f90 と した. Fig. 2 を参照.

このソースコードは,N個の乱数(a(N)とb(N))を小 さい順に並べ替えるプログラムである.sort(a)では a (N)を並べ変え, sort(b)では b(N)を並べ変えている. 2 つの sort は並列に進行している. つまり, 通常は a(N)の並べ替えの後に b(N)の並べ替えを行うところ, sections 指示構文を利用する事で同時に実行するこ とが出来るのである.

Fig.2における 8~15行目のコードが最も重要となっ ている.まず,8行目と15行目の parallel 指示構文で 並列を命令できる領域を作る.次に,9行目と14行 目で sections 指示構文の領域を作る.parallel 領域の 中でしか sections 指示構文は使用できないためであ る.そして,9行目と10行目や11行目と12行目で sections 指示構文によって並列化を行う.!\$となって いるが,実際は無視されずに実行される.本文は sort(a)と sort(b)を call するための2並列である.呼び 出された sort(a)と sort(b)はそれぞれ 19行目の subroutine sort(a)と sort(b)はそれぞれ 19行目の subroutine sort(a)では x(:)=a(:), subroutine sort(b)で は x(:)=b(:)となっている.また, subroutine が始まる

1	program sections
2	implicit none
3	integer, parameter :: N=10000 !変数宣言 3~5 行目
4	real, allocatable :: a(:), b(:)
5	allocate(a(N), b(N))
6	call random_number(a) !0 以上 1 未満の乱数を a(1)~a(N)に設定
7	call random_number(b) ! b(1)~b(N)に設定
8	!\$omp parallel !parallel 指示構文. 並列領域の開始.
9	!\$omp sections !sections 指示構文.
10	!\$omp section !別のスレッドで実行
11	call sort(a) !サブルーチンの呼び出し 19 行目
12	!\$omp section !別のスレッドで実行
13	call sort(b) !サブルーチンの呼び出し 19 行目
14	!\$omp end sections !sections 指示構文の終わり.
15	!\$omp end parallel !並列領域の終了.
16	print '("first 4 number in a : ",4f10.7)', a(1:4) !サブルーチン終了後の a(1)~a(4)をプリント.
17	print '("first 4 number in b : ",4f10.7)', b(1:4) !サブルーチン終了後の b(1)~b(4)をプリント.
18	contains
19	subroutine sort(x) !サブルーチンの開始. x を a や b に置き換えて読む.
20	real x(:), tmp !変数宣言 20~21 行目
21	integer i, j
22	do i = 1, N-1 $!22 \succeq 30 \ \Vec{c} \ i \ \Odel{eq:22} oldsymbol{0} \ \Vec{c} \ \Vec{c}$
23	$do_j = i + 1, N$!23 と 29 で j の $do_{\mathcal{V}} - \mathcal{T}$. i と j の 2 重ループ.
24	if $(x(i) > x(j))$ then !24~27 では, $x(1) ~ x(N-1)$ までで, 小さいものから $x(1), x(2)$ とする.
25	tmp = x(i) !並べ替え処理
26	$\mathbf{x}(\mathbf{i}) = \mathbf{x}(\mathbf{j})$
27	$\mathbf{x}(\mathbf{j}) = tmp$
28	end if
29	end do
30	end do
31	end subroutine sort !サブルーチンの終了.
32	end program sections リプロクフムの終了.

Fig. 2 kadaiSections.f90 のソースコード. Sections 指示構文を利用した並列処理プログラム.

前には必ず, contains を付けなければならない. subroutineは19 行目から31行目であり, その中でき る事が分かる. subroutine 終了後は14行目に戻り, 15, 16, 17, 32 行目と進行し, プログラムは終了する. 以 上が kaidaiSections.f90 の内容と流れである.

今後の展開としては、kadaiSections.f90 を基盤として、s047.f90 で用いている c_p calculation や多重 do ループによるパラメータ値の算出を追加していき、並列処理プログラムを完成させる事を目指す.

2.2 並列段階Ⅱ(kadai sections の応用)

kadaiSections.f90 に基本的なコードを用いる事が 出来るか確認する事を目的とした.本研究では, kadaiSections.f90 を少しずつ改良していく際のソー スコードを Sections 番号.f90 の形で表記する.

第一の過程として Sections01.f90 では、サブルーチ ンの中で input ファイルを開き、中身を読み込み、フ ァイルを閉じる事を試みた. input ファイルからは、k という定数の値を読み込んでいる. このプログラム は、sort(a)と sort(b)の 2 並列であり、1 つの input ファ イルを2 つのスレッドで共有することになっている. 次に Sections02.f90 として、サブルーチンに対応させ る変数の変更を行った. 作成したソースコードの詳 細を Fig. 3 で示す. サブルーチン内の割り付け変数

1	program sections
2	implicit none
3	integer, parameter :: N=10000
4	real(8), save::a, b
5	a=10
6	b=100
7	!\$omp parallel
8	!\$omp sections
9	!\$omp section
10	call sort(a)
11	!\$omp section
12	call sort(b)
13	!\$omp end sections
14	!\$omp end parallel
15	contains
16	subroutine sort(x)
17	real(8) x
18	integer k
19	open(10, file='input.txt')
20	read(10,*) k
21	close(10)
22	print *, k*x
23	end subroutine sort
24	end program sections

Fig. 3 Sections02.f90 のソースコード 並列処理を行う際に, input ファイル の挿入が可能である事が分かった. x(:)に対応している a(:)と b(:)について, それぞれ変 数 x と a と b に変更した(4 行目と 17 行目). これは, 割り付け変数で対応させるより, 変数で対応させた 方が簡単であると考えたからである. 実際にソース コードでは, a と b は定数として用いている(5~6 行 目).

今後の展開として、サブルーチン内に c_p calculation を入れる事や do ループにより、マルチパ ラメータのループを導入する事、さらに最適値の算 出を行う事が挙げられる.

2.3 並列段階Ⅲ(c_p calculation の挿入)

kadaiSections.f90 に対して s047.f90 で用いている c_p calculation のソースコードを徐々に追加していき, cp を計算できるようにする事を目的とした. この段階 では, 並列をあまり意識しておらず, sort(a)と sort(b) の 2 並列で行っている.

まず, Sections03.f90 としてサブルーチンの中に s047.f90 の温度条件パラメータの入力という部分を 追加した. Fig. 4 に内容を示す.新しく増えた変数の 宣言はサブルーチン内で行った.また, Input ファイ ルの名前を Input_capa_cal.d に変更完了した. Input フ ァイルから温度条件パラメータを読み込み,それを もとに Y1~Y7 までの値を計算する事をしている. 詳細を Fig. 4 に示す.

read(9,*) T0, Ta, Tb, Tc, Tg, Q1, Q2, Q3, beta, B close(9) T0=T0+273.15; Ta=Ta+273.15; Tb=Tb+273.15; Tc=Tc+273.15; Tg=Tg+273.15 a1=-0.000806; b1=0.461772 a01=0.00774; b01=-1.08833; S1=4d0; k=0d0 dT=0.5 Tdet=313.15d0 !40°C を入力 Y1=(T0-(Tg+10))/dT; Y2=Y1+((Tg+10)-Ta)/dT;
close(9) T0=T0+273.15;Ta=Ta+273.15;Tb=Tb+273.15; Tc=Tc+273.15;Tg=Tg+273.15 a1=-0.000806;b1=0.461772 a01=0.00774;b01=-1.08833;S1=4d0;k=0d0 dT=0.5 Tdet=313.15d0 !40℃を入力 Y1=(T0-(Tg+10))/dT;Y2=Y1+((Tg+10)-Ta)/dT;
T0=T0+273.15; Ta=Ta+273.15; Tb=Tb+273.15; Tc=Tc+273.15; Tg=Tg+273.15 a1=-0.000806; b1=0.461772 a01=0.00774; b01=-1.08833; S1=4d0; k=0d0 dT=0.5 Tdet=313.15d0 !40℃を入力 Y1=(T0-(Tg+10))/dT; Y2=Y1+((Tg+10)-Ta)/dT;
Tc=Tc+273.15;Tg=Tg+273.15 a1=-0.000806;b1=0.461772 a01=0.00774;b01=-1.08833;S1=4d0;k=0d0 dT=0.5 Tdet=313.15d0 !40°Cを入力 Y1=(T0-(Tg+10))/dT;Y2=Y1+((Tg+10)-Ta)/dT;
a1=-0.000806;b1=0.461772 a01=0.00774;b01=-1.08833;S1=4d0;k=0d0 dT=0.5 Tdet=313.15d0 !40℃を入力 Y1=(T0-(Tg+10))/dT;Y2=Y1+((Tg+10)-Ta)/dT;
a01=0.00774;b01=-1.08833;S1=4d0;k=0d0 dT=0.5 Tdet=313.15d0 !40℃を入力 Y1=(T0-(Tg+10))/dT;Y2=Y1+((Tg+10)-Ta)/dT;
dT=0.5 Tdet=313.15d0 !40℃を入力 Y1=(T0-(Tg+10))/dT; Y2=Y1+((Tg+10)-Ta)/dT;
Tdet=313.15d0 !40℃を入力 Y1=(T0-(Tg+10))/dT; Y2=Y1+((Tg+10)-Ta)/dT;
Y1=(T0-(Tg+10))/dT; Y2=Y1+((Tg+10)-Ta)/dT;
Y3=Y2+S1; Y4=Y3+(Ta-Tb)/dT
Y5=Y4 + ((Tg-Tb)/dT) - 5/dT;
Ydet=Y4 + (Tdet - tb)/dt; $Y7=Y4+(Tc-Tb)/dT$
dat=-dT

Fig. 4 温度条件パラメータの入力 c_p calculation を行う前に、必要となるパ ラメータの値を求めている部分である.

次に、Sections04.f90 として s047.f90 で重要となる パラメータ $\ln A$, T_2 , G_0 を追加した. $\ln A$ =x, T_2 =25, G_0 =0.08 として直接入力した. ここで $\ln A$ に x の値を 用いることが、並列処理を行うにあたって大切なポ イントとなる. x を $\ln A$ として活用すると、 $\ln A$ =a また $\ln A$ =b ということになる.本研究ではこの Sections04.f90 の章で, ./a.out(プログラムの実行)を行 う際に実行出来る時と出来ない時がある事態が発生 した.しかし,原因の糸口が掴めなかったため現時 点では保留にして,先に進むことにした.

Sections05.f90 では, s047.f90 の End of The Second の部分までを追加した. Fig.5 に追加したコードの詳 細を示す. この部分では, 番号 n に対して温度を与 える事を行っている. n は時間に相当する変数であ り, n が 1 つ増える毎に温度が 0.5K ずつ変化する. n=0 のとき温度 T=433.15K(160°C)である.Y1~Y7 も 番号であり, n に代わって使用することが可能であ る.また, この章では c_p calculationの第1冷却ステッ プのコードの追加も行っている.第1冷却ステップ とは, Y1~Y2 の区間であり, アニール前までの過程 を意味する.このステップにおける, 配位エントロ ピーS_cや緩和時間 τ の値を計算している.温度 T, 番

Do i=1, Y7
T_N(i)=T0+i*dat ; G(i)=0
if $(Y1 \le i)$ then
$G(i) = (Tg + 10 - T_N(i))*G0/15$; end if
if $((Y1+15/dT) < i)$ then
G(i) = G0; end if
if $(Y2 \le i)$ then
dat=0 ; T_N(i)=Ta ; end if
if $(Y3 \le i)$ then
dat=-dT; T_N(i)=T0+(i-S1)*dat; end if
if $(Y4 \le i)$ then
dat=dT; T_N(i)=Tb+(i-Y4)*dat; end if
if $((Y4+((Tg-5) - Tb)/dT) < i)$ then
$G(i)=(Tg + 10 - T_N(i))*G0/15$; end if
if ($(Y4+((Tg+10)-Tb)/dT) < i)$ then
G(i)=0 ; endif
$J(i) = a1*(T_N(i) - T2) + b1*log(T_N(i)/T2) -$
$G(i)*log(T_N(i)/(Tg+10))$
$L(i) = a1*dat + (b1 - G(i))*log(T_N(i)/(T_N(i) - dat))$
enddo
p_MM=0; p_ML=0; dat=-dT
Do i=Y1, Y2
$Sc(i) = J(i) - p_MM$
$tau(i) = exp(lnA + B/(T_N(i) * Sc(i)))$
dttau(i+1) = dat/(Q1*tau(i))
$D = 0; p_MM = 0; p_ML = 0$
Do m = 1, i
D = D + dttau(i-m+2)
$p_ML = L(i-m+2)*(exp(-1*D**(beta)))$
$p_MM = p_MM + p_ML$
EndDo
EndDo
!===== End of The Second.

Fig. 5 温度 T の設定と第1冷却ステップのコード 温度 T を n という番号によって与えた.そし て, c_p calculation の初めのステップを追加し た. 号 n, Y1~Y7, ステップの関係を温度プログラムの 形でFig. 6に示す. 図における T_0 は実験開始温度, T_A はアニール温度, T_b は昇温開始温度, T_c は昇温終了温 度, Q_1 は第1冷却速度, Q_2 は第2冷却速度, Q_3 は昇温 速度, t_A はアニール時間を意味する.



Fig. 6 s047.f90 に用いた温度プログラム Y1~Y7と対応するステップを示した.この温度プログラムは実際にDSC 実験で用いた形を採用している.

Sections06.f90 では, s047.f90 の End of The Third (Anneal)の部分までを追加した. この章では, アニールステップにおける, S_c や τ の計算をしている. 詳細を Fig. 7 に示す.

```
Do i=Y2+1, Y3
        k = k + 1
        if (i = Y2+1) then
        tk = (te) **(k/S1)
        else
        tk = (te)^{**}(k/S1) - (te)^{**}((k-1)/S1); end if
          Sc(i) = J(i) - p MM
          tau(i) = exp(lnA + B/(Ta * Sc(i)))
          dttau(i+1) = tk / tau(i)
          D = 0; p MM = 0; p ML = 0
           Do m = 1, i
              D = D + dttau(i-m+2)
              p ML = L(i-m+2)*(exp(-1*D**(beta)))
              p MM = p MM + p ML
           EndDo
EndDo
                           =End of The Third(Anneal).
```

Fig.7 アニールステップのコード アニールステップにおける計算だけ,他 のステップとは異なる計算をしている事 に注意する. Sections07.f90 では, s047.f90 の End of The Forth and Fifth の部分まで追加した. 詳細を Fig. 8 に示す. 第2 冷却ステップと昇温ステップの2 つを同時に追加し ている. Y3~Y4 と Y4~Y7 に分けるわけではなく, Y3~Y7 としてループの中で if 文を使って場合分け している. この章で, すべてのステップにおける S_c や τ の計算が完了となる. この後は, S_c や τ をもとに c_p を計算していく流れである.

Do i=Y3+1, Y7-1	
if $(Y3 \le i)$ then	
dat= -dT; Qs=Q2 ; end if	
if (Y4 <i) td="" then<=""></i)>	
dat= dT; Qs=Q3 ; end if	
$Sc(i) = J(i) - p_MM$	
$tau(i) = exp(lnA + B/(T_N(i) * Sc(i)))$	
dttau(i+1) = dat/(Qs*tau(i))	
$D = 0; p_MM = 0; p_ML = 0$	
Do m = 1, i	
D = D + dttau(i-m+2)	
$p_ML = L(i-m+2)*(exp(-1*D**(beta)))$	
$p_MM = p_MM + p_ML$	
EndDo	
EndDo	
!====End of The Forth and Fifth	

Fig. 8 第2冷却ステップと昇温ステップのコード 2つのステップを同時にループするため, パラメータの場合分け(if 文)が重要となる.

Sections08.f90 では, s047.f90 の H^(eq) for The First – The Fifth の部分を追加した.詳細を Fig. 9 に示す.1 \sim Y7 に対応したすべての温度に対して,配位エン タルピーH_cを算出している.if 文によって場合分け を行うことで1つのループで各ステップを再現して いる.ソースコードの本文では,dttau と F が領域外 ヘアクセスしない様に Do i = Y1, Y7-1 とした.領域 外のアクセスとは,実際には存在しないものを呼び 出す事を意味する.つまり,dttau(Y7)や F(Y7)が存在 しないのに do ループを Y7 まで組むとエラーが起こ るという事である.この Sections08.f90 の章で H_cを 計算したのは, c_p を算出する際に, S_c からではなく H_c を用いるためである.

Sections09.90 では、s047.690の cp calculation の部分 を追加した. この章で c_p を計算することが可能にな る. 追加したコードの詳細は Fig. 10 に示す. 本文で は、 cp_2 として $c_p(比熱)$ を計算しているが、都合上 $cp_2(Y7-1)$ など 1 点しか出力することが出来ない. Sections09.690 のプログラムで並列段階 II が完成し た. 実際に内容を示す. パラメータの値を入力する 事で、 $c_p(T)$ を計算するプログラムになった. sort(a)と sort(b)といった 2 つのサブルーチンが同時に進行し, ln*A*=a と ln*A*=b の異なる $c_p(T)$ を計算している. sort(a) と sort(b)の違いは, lnA だけで他は全く同じである. $c_p(T)$ は計算出来ているが, カーブを作成する事はで きない. ln*A*(または x), T_2 , G_0 , N は定数を用いており, ループはしていない. 以上が, 並列段階 II における 状況である.

dat = -dT
Do i=1, Y7
if $(Y2 < i)$ then
dat=0; end if
if $(Y3 < i)$ then
dat=-dT; end if
if $(Y4 < i)$ then
dat=dT; end if
$E(i) = a1*(T_N(i)**2 - T2**2)/2 +$
$b1*(T_N(i) - T2) - G(i)*(T_N(i) - (Tg + 10))$
$F(i) = a1*(T_N(i)**2 - (T_N(i) - dat)**2)/2 +$
(b1 - G(i))*dat
EndDo
$dat = -dT; p_MK = 0; p_MN = 0$
Do i = Y1, Y7-1
if $(Y2 \le i)$ then
dat=0; end if
if $(Y3 \le i)$ then
dat=-dT; end if
if $(Y4 < i)$ then
dat=dT; end if
$Hc(i) = E(i) - p_MN$!This is $Hc(t)$.
$D = 0; p_MK = 0; p_MN = 0$
Do m = 1, i
D = D + dttau(i-m+2)
$p_MK = F(i-m+2)*(exp(-1*D**(beta)))$
$p_MN = p_MN + p_MK$
EndDo
Enddo

Fig.9 すべてのステップにおける H_cの算出.

Do i=Y4, Y7
$cp_1(i) = a01*T_N(i) + b01 + (Hc(i) - Hc(i-1))/dT$
EndDo
$derutA = cp_1(Y5) - cp_1(Y5 + 1)$
if $(G0 == 0)$ then
derutA = 0; end if
Do i= Y4, Y7
if $(Ydet < i)$ then
shif(i) =(derutA/(2*(Tg-5-Tdet)))*(T_N(i) - Tdet); end if
if $(Y5 \le i)$ then
$shif(i) = derutA*T_N(i)/(2*14.5) - (derutA*(Tg+10)/(2*14.5))$
end if
if $((Y5 + 15/dT) < i)$ then
shif(i)=0d0; end if
$cp_2(i) = cp_1(i) - shif(i)$
EndDo

Fig. 10 cpの算出.

次の段階で行うべき項目をまとめる.1つ目は、マ ルチパラメータのループを組み込む事である.その ためには、 T_2 , G_0 のループの上限と下限値を読み込 む必要がある.Nのループを組み込む際には、熱処理 時間 tR(N)や DSC 実験データが必要となってくる. tR(1)=0, tR(2)=28, tR(3)=82, tR(4)=290, tR(5)=1012, tR(6)=1910を与えるようにする.2つ目は、 $\ln A$ のルー プをサブルーチン毎に独立させることである.現段 階では、 $a \ge b$ の数値が $\ln A$ となっているため、 $\ln A$ の ループに利用できると考えた. $\ln A$ を独立させる案 を Fig. 11 に概要として示す.

サブルーチン外 サブルーチン sort(a)

a=-50 b=-100 : call sort(a)	x=-50 do z = 0, 50/1 !50=間隔, /1=キザミ lnA = x-z*1 !lnA=-50, -51,,,,-99, -100 end do
call sort(b)	サブルーチン sort(b)
:	x=-100 do z = 0, 50/1 !50=間隔, /1=キザミ lnA = x-z*1 !lnA=-100, -101,,,-150 end do

Fig. 11 並列 do ループの仕組み ln*A* ループを各サブルーチンで独立させ る方法.

この考えをもとに、次の段階では並列を意識して do ループを組み込む事を試みた.

2.4 並列段階IV(do ループと並列処理)

サブルーチン内でマルチパラメータのループを組み、 $\ln A$ のループを並列させる事を試みた. $T_2 \diamond G_0 \diamond$ N に関しては s047.f90 と同じようにループを組み、 $\ln A$ に関しては Fig. 10 を参考に作成してみた.

Secstions10.f90 では、T2 ループと input_T2_lnA.d の 追加を行った. input_T2_lnA.d より T2_dai(上限値)と T2_sho(下限値)を読み込んでいる. input_T2_lnA.d は サブルーチン内で呼び出している.

Sections11.f90 では、G0 ループと N ループと input_yomikomi.d の追加を行った.input_T2_lnA.d 内 に G0_dai と G0_sho の追加を行い、T2 と同じように 読み込んだ.input_yomikomi.d では tR(N)だけ読み込 んでおり、サブルーチンの外で呼び出している.こ の章では、exp data はまだ使用していない.

Sections12.f90 では, lnA のループを組み, 並列処理 させる事を試みた.aとbの数値をそのまま用いてサ ブルーチンの中の lnA のループに利用するため Fig. 10 をコードに追加した.本文では、a=-10, b=-20 とし てサブルーチン内で z=0~9 のループを組み lnA=a z として lnA をループさせている. Sections10~12 で 追加した項目を Fig. 12 に示す. 各コードにおいて, 新しく使用した変数を宣言する事を忘れないように 注意する.

open(10,file='input_yomikomi.d')
do i=1,N
read(10,*) tR(i)
enddo
close(10)
:
!サブルーチン開始
:
open(2,file='Input_T2_lnA.d')
read(2,*) T2_sho, T2_dai, G0_sho, G0_dai
close(2)
do $z = 0, 9$
do $y = 0$, (T2_dai - T2_sho)
do w = 0, nint((G0_dai - G0_sho)*10)
do $s = 1$, N
open(9, file = 'Input_capa_cal.d')
read(9,*) T0, Ta, Tb, Tc, Tg, Q1, Q2, Q3, beta, B
close(9)
:
$\ln A = x - z$
$T2 = T2_sho+273.15+y$
$G0 = G0_sho+w*0.1$
te=tR(s)
:
end do !N(s)
end do !G0(w)
end do !T2(y)
end do !lnA(z)

Fig. 12 並列段階IVで追加した項目

マルチパラメータの do ループを組む

ことに成功した. lnA を各サブルーチ

ンで独立させる事にも成功した.

現時点で、 $c_p(T)$ の計算やマルチパラメータのルー プや lnA の並列が完了した.残ることは、最適値を 算出することである.そのためには、 exp_data の読 み込み、ラベリング点(La_ $exp \sim Lh_exp$, La_ $cal \sim$ Lh_cal)の決定、Sum(最小二乗法による偏差)の計算、 最適値の算出、などが挙げられる.最適値とは、最 も実験値を再現した時のマルチパラメータの値であ る.実験データの再現率を計算するために、ラベリ ング点や Sum の計算などを行っている.なお、この 最適値の算出が完了すると、s047.f90の並列化は完 成すると考える.

2.5 並列段階V(最適値の算出)

プログラムで最適値を算出できるようにするため,

最小二乗法を追加する. サブルーチン毎に異なる ループを行い, それぞれで最適値を算出する. 最終 的な最適値は, 各サブルーチンから出力された値 から選ぶ形になるだろう.

Sections13.f90 では, Input_yomikomi.d から file 名と ラベリング温度(P_a~P_h)を読み込めるようにした. file 名を読み込んだため, exp_data をプログラムに取 り込む事に成功した. そのときの mins は 600 と設定 した. mins とは読み込むデータの行数を意味する. また, ラベリング温度を読み込んだため, La_exp~ Lh_exp といった実験値のラベリング点の決定も行 うことに成功した. これらは全てサブルーチンの外 で行っている. N=6 とする事で, 6 個の exp_data を使 用した. exp_data の読み込み方法とラベリング点の 決定方法を Fig. 13 に示す.

mins=600
do q = 1, N
open(30+q,file=name(q))
do $w = 1$,mins
$read(30+q,*) Tt(q,w),cp_exp(q,w)$
end do
close(30+q)
do $w = 1$,mins
if $(Tt(q,w) = P_a(q))$ then
$La_exp(q) = cp_exp(q,w)$; end if
if $(Tt(q,w) = P_b(q))$ then
$Lb_exp(q) = cp_exp(q,w)$; end if
if $(Tt(q,w) = P_c(q))$ then
$Lc_exp(q) = cp_exp(q,w)$; end if
if $(Tt(q,w) = P_d(q))$ then
$Ld_exp(q) = cp_exp(q,w)$; end if
if $(Tt(q,w) = P_e(q))$ then
$Le_exp(q) = cp_exp(q,w)$; end if
if $(Tt(q,w) = P_f(q))$ then
$Lf_exp(q) = cp_exp(q,w)$; end if
if $(Tt(q,w) = P_g(q))$ then
$Lg_exp(q) = cp_exp(q,w)$; end if
if $(Tt(q,w) = P_h(q))$ then
$Lh_exp(q) = cp_exp(q,w)$; end if
end do
end do

Fig. 13 exp_data の読み込みとラベリング点の決定 mins=600 と設定する事で, exp_data 内の 600 行目まで読み込むことが可能である.実験 値のラベリング点は, if 文を用いて, ラベリ ング温度と同じ温度の cpを決定している.

Sections14.f90 では、La_cal~Lh_cal という計算値 のラベリング点の決定を行った.さらに、(La_exp~ Lh_exp)や(La_cal~Lh_cal)の値をもとに、Sumの計算 と Sum_total の計算も行った. Sum は、ある温度(ラベ リング温度)における実験値と計算値の差の二乗を 足し合わせたものである. 最小二乗法と呼ばれる方 法である. また Sum_tatol は Sum を足したものであ る. 本紙では N=6 であるため, Sum_total=Sum(1)+ Sum(2)+ Sum(3)+ Sum(4)+ Sum(5)+ Sum(6)となって いる. これにより, パラメータの組み合わせ毎の標 準偏差が得られ, 偏差の値が小さいほど実験値を再 現出来ている事が分かる.

Sections15.f90 では、S_sum の決定を行い、最適値 の算出を行った. S_sum とは、Sum_total(偏差)の中で 最も小さいもののである.sort(a)と sort(b)の 2 並列で あり、それぞれで最適値を算出しているが、この 2 つからさらに絞り込む点は目視で行っている.実質 上この Sections15 において完成系と考えている. s047.f90 とは異なる点は、時間換算表示のシステム が組み込まれていないだけだと考える.Sum の計算 と sum_total、S_sumの決定のコードを Fig. 14 に示す.

:
$Sum(s) = (La_exp(s)-La_cal)^{**2} + (Lb_exp(s)-Lb_cal)^{**2} \&$
&+(Lc_exp(s)-Lc_cal)**2+(Ld_exp(s)-Ld_cal)**2&
$&+(Le_exp(s)-Le_cal)^{**2}+(Lf_exp(s)-Lf_cal)^{**2}&$
$&+(Lg_exp(s)-Lg_cal)^{**2}+(Lh_exp(s)-Lh_cal)^{**2}$
$Sum_total = Sum_total + Sum(s)$
end do !N
if (S_Sum > Sum_total) then
S_sum = Sum_total
$Sum_A = lnA$
$Sum_T2 = T2$
$Sum_G0 = G0$; endif

Fig. 14 Sum の計算と sum_total, S_sum の決定 Sum は実験値と計算値の差の二乗を足 したものであり, Sum_total は N のルー プを利用して N 個足したものである. S_sum は N ループの外で行うことに気 をつける.

2.6 並列段階VI(並列処理の増加)

並列処理数を2並列から4並列へ増大をさせた. Sections16.f90 では、サブルーチンとして呼び出す sort の数を2 つから4 つへ増やした.正確には、 sort(c3)と sort(c4)を追加した.しかし、4 並列にする と a.out を実行出来なくなった.これは、2 並列 (Sections04.f90)の時に現われていたエラーである. 何度か実行するとエラーが出ない時があったので、 ここまで無視して来た.この原因としては、 Input_capa_cal.d への集中が考えられた.4 つのスレ ッドが同時進行しているため、1 つが利用している と他が利用できない事が理由であった.

そのため Sections17.f90 では、サブルーチン内で呼び出している input ファイルである Input_capa_cal.d

と Input_T2_InA.d への集中をなくすため, 読み込む 場所をサブルーチンの外で行うように変更した. そ の結果, 4 つのサブルーチンを並列処理する事に成 功した.4 並列の際の指示構文を Fig. 15 に示す.

!\$omp parallel !\$omp sections !\$omp section call sort(c1) !\$omp section call sort(c2) !\$omp section call sort(c3) !\$omp section call sort(c4) !\$omp end sections !\$omp end parallel

Fig. 15 4 並列を行う際の section 指示構文.

Sections17.f90 においてプログラムが完成したか を確認するため、原本となった s047.f90 のプログラ ム と サ ー チ 結 果 を 比 較 し た . s047.f90 と Sections17.f90 は同じ計算を使用しているのでサー チ結果も同じになるはずだと考えた.そこで、入力 した条件パラメータ(T_0 , T_a , T_b , T_c , T_g , Q_1 , Q_2 , Q_3 , β , B), 係数(a_{01} , b_{01} , a_1 , b_1), exp_data, サーチ範囲($\ln A$, T_2 , G_0), キザミ幅などすべての条件を統一し、それぞれサー チを行った.

設定したサーチ範囲と入力条件を以下に示す. -200 < lnA < 0; キザミ 2, -20 < T2 < 90; キザミ 2, 0 < G0 < 0.12; キザミ 0.03, exp_data 数 N=6, T_0 =160, T_a =94, T_b =20, T_c =160, T_g =102, Q_1 =-12, Q_2 =-9.5, Q_3 =5, β =0.330, B=1000 を用いた.

Secctions17.f90 では, InA のループを並列処理するため, 各 sort の担当範囲を設定した(Fig. 16 参照).

sort(c1)=-50 <lna<0< th=""><th>,</th><th>sort(c2)=-100<lna<-50< th=""></lna<-50<></th></lna<0<>	,	sort(c2)=-100 <lna<-50< th=""></lna<-50<>
sort(c3)=-150 <lna<-100< td=""><td>,</td><td>sort(c4)=-200<lna<-150< td=""></lna<-150<></td></lna<-100<>	,	sort(c4)=-200 <lna<-150< td=""></lna<-150<>

Fig. 16 並列処理の際の lnA の分割.

それぞれ最適値(最も実験値を再現した値)を算出し た後,4 つの最適値から更なる最適値を目視で選ぶ システムである.

サーチした結果を Fig. 17 に示す. Sections17.f90 の 最適値は、うまく算出されなかった. これを改善す るには、s047.f90 のソースコードと Sections17 のソー スコードを照らし合わせて異なる点を改善するしか ないと考えた. 最適値が選ばれない原因は、 Input capa cal.d の読み込みとパラメータの決定の場

s047.f90
····S_sum = 0.1211, lnA = -54.0, T2 = 18.0, G0 =0
Sections17.f90
$Sort(c1)$ S_sum = 3.1042, $lnA = 0, T2 = -20.0, G0=0$
Sort(c2)····S_sum = 0.9110, lnA = -50.0, T2 = -20.0, G0=0
Sort(c3)····S_sum = 0.9110, lnA = -100.0, T2 = -20.0, G0=0
Sort(c4)S_sum = 0.9110, lnA = -150.0, T2 = -20.0, G0=0

Fig. 17 s047.f90 と Sections17.f90 のサーチ結果.

所(サブルーチンの外に移動した箇所)にあった. こ れらはループの内側になければならないことが分か ったため,所定の位置に戻すことにした. しかし, サブルーチンの中では Input ファイルが使えない(各 サブルーチンが 1 つのファイに集中するため)ので Input_capa_cal.d で読み込むパラメータ値をソースコ ード上で直接入力する方法をとった.

2.7 バッチ形式における並列処理(スクリプト)

並列化プログラムをバッチ形式で使用する際は, スレッド数やコア数に注意する必要がある.それ らはすべてスクリプトで宣言する事が出来る.ス クリプトの中身(Queuesys.sh)を Fig. 18 に示す.

#!/bin/csh
#======= LSF Options ==========
#QSUB -q gr10037b
#QSUB -ug gr10037
#QSUB -J s060
#QSUB -W 200:00
#QSUB -A p=1:t=16:c=16:m=1920M
#=====================================
set -x
time ./a.out >& ProgressRepSEPTEMVER19.dat &

Fig. 18 バッチ形式におけるスクリプトの内容.

ここで注目するのは「#QSUB -A p=1: t=16: c=16: m=1920M」の行についてである. p, t, c, m の意味を以下に示す. p・・・プロセス(process)の数. t・・・プロセス あたりのスレッド(threads)の数. c・・・プロセスあたり のコア(cores)の数. m・・・実行するにあたる必要メモ リー(memory). 並列化を実行するときに必要となる スレッド数以上の数値を t に入力しておかなければ ならない. t=1 の際には,並列処理はされず c1→c2→c3→c4 と順番に処理されてしまう. つまり, 並列させる数以上のスレッドが必要だということで ある.

Sections18.f90 において s047.f90 のサーチ結果と比較した.設定したサーチ範囲と入力条件は先ほどの並列段階VIの時と同じである.

Sections18.f90の ln4のループの設定も Fig. 16の値を 使用した. 目標となる s047.f90 におけるサーチ結果 は, S_sum = 0.1211, lnA = -54.0, T2 = 18.0, G0 = 0 であ った.

・会話型
$Sort(c1) \cdots S_sum = 0.2274$, $lnA = -50$, $T2 = 12.0$, $G0=0$
$Sort(c2) \cdots S_sum = 0.1211, lnA = -54.0, T2 = 18.0, G0=0$
$Sort(c3) \cdots S_sum = 0.5476$, $lnA = -102.0$, $T2 = 54.0$, $G0=0$
$Sort(c4) \cdots S_sum = 0.7677$, $lnA = -154.0$, $T2 = 70.0$, $G0=0$
最適値; sort(c2)→s047.f90と同じ。
・バッチ形式
$Sort(c1) \cdots S_sum = 0.2274$, $lnA = -50$, $T2 = 12.0$, $G0=0$
$Sort(c2) \cdots S_sum = 0.1273$, $lnA = -56.0$, $T2 = 20.0$, $G0=0$
$Sort(c3) \cdots S_sum = 0.5476$, $lnA = -102.0$, $T2 = 54.0$, $G0=0$
Sort(c4) $\cdot \cdot \cdot S_{sum} = 0.7677$, $\ln A = -154.0$, $T2 = 70.0$, $G0=0$

Fig. 19 Sections18.f90 におけるサーチ結果. バッチ形式で値が一致しなかった原 因は不明である.

並列化したプログラムの計算時間が短縮されたか を確認するため,再びサーチを行った.同じ条件, 同じ範囲でサーチした結果を比較する.全てスーパ ーコンピュータのシステム B を利用した.用いた条 件は, $T_0=160$, $T_a=94$, $T_b=20$, $T_c=160$, $T_g=102$, $Q_1=-12$, $Q_2=-9.5$, $Q_3=5$, $\beta=0.330$,B=1000であり,設定した範 囲は,-200<lnA<0(キザミ 2),-20<T2<70(キザミ 2), 0<G0<0.15(キザミ 0.03)とした.会話型における計算 時間には限界の時間があったため,短めの時間とな るように周回数を設定した.結果を Table 1 に示す.

Table 1 4並列における時間短縮の結果.

	時間	lnA	T_2	G_0	sum	偏差
会話型	12min46sec	-54	18	0	0.12134	0.142
バッチ	2h23min57sec	-54	18	0	0.12134	0.142
形式						
並列化	2h55min36sec	-54	18	0	0.12134	0.142
なし						

並列化は4並列であり,並列化なしはバッチ形式 で行った.表に示した時間は,a.outの作成時刻と outputの作成時刻の差から判断している.バッチ形 式の計算時間が,会話型に比べて長いのは,バッチ 処理の待機時間が長い事が原因である.

3. 議論と応用

3.1 10Sections.f90(10 並列)

4 並列では、大きな時間短縮が見られなかったため、10 並列を目標にした. 10 Sections. f90 では、サブル ーチンとして呼び出す sort の数を 4 つから 10 へ増 やした. バッチ形式を行うための、スクリプト内の スレッド数に注意しt=16とした. 問題なく10並列を 組むことに成功した. 並列化なしと 4 並列、10 並列 における時間短縮の結果を Table 2 に示す.

プログラムの種類	所要時間
並列化なし	29h28min32sec
4 並列	22h58min22sec
10 並列	10h18min48sec

Table 2 10並列における時間短縮の結果.

1/10倍とまではいかなかったが,目に見えて速く なった事が分かる.

3.2 自動並列 autoParallelising(並列化プログラム)

S sum の自動算出, 最適値の自動出力を目標とす る. 現在用いている 10Sections.f90 は, それぞれサブ ルーチンごとに最適値を出力し、最終的には目視で 最適値を選んでいる. ここでは、目視で選んできた 部分をプログラム上で行えるようにシステムを改良 した. 作戦としては, ①メインにて sum(:), lnA(:), T2(:), G0(:)のような割り付け変数を定義する. ②サ ブルーチン内でそれぞれ 1~10の数字で最適値を保 存する. (Sort1 では sum(1)=S_sum, lnA(1)=lnA, T2(1)=T2, G0(1)=G0 とする. Sort2 では…以下略)③メ インに戻った後に割り付けできているか確認する. ④割り付けできていれば, if 文を用いて最適値の決 定を行う.以上の手順が妥当であると考えた.行う 上での課題となる点は、同じソースコードを用いて いるサブルーチンで、どのようにして各 sort に異な る割り付けをするかである. sort1 で ss=1, sort2 で ss=2 のようなシステムを組む方法を考えた. この解 決策としても if 文を用いる事を使用した. 各 sort で 異なる箇所は x の値だけである. この x を利用して ss という変数に対して異なる値を与えていった. 詳 細を Fig. 20 に示す.

if $(x == c1)$ then	
ss=1; end if	
if $(x == c2)$ then	
ss=2; end if	
if $(x == c3)$ then	
ss=3; end if	

Fig. 20 自動並列を行う上での,割り付け変数の 決定.各 sort(x)が x=c1, c2, c3 という異な る値を持つ事を利用した.

この方法により, 各 sort における異なる変数を割 り当てることに成功した. あとは, これらを S_sum(ss), Sum_A(ss), Sum_T2(ss), Sum_G0(ss)として 保存し, サブルーチンから本文に戻ったところで, さらなる最適値決定の if 文による比較を行った. 自 動並列を行う上での概要を付録の3と4として示す.

実際に作成した 3 並列における自動並列のプログ ラムを 3parallevol4.f90 とした. 3parallevol4.f90 では, 最適値を output.d(出力ファイル)に書き出し, 出力す ることが可能となった.

4. 結 言

以上の内容にて、本研究の並列化プログラミングの目的が全て達成されたことになる。当初の目的と されていた時間短縮は、およそ3倍の短縮に成功した。この成果によって、今まで実践しづらかった長時間の研究も可能となった。

5. 参考文献

- Y.Okuya and Y.Tanaka : Mem. Grad. Eng. Univ. Fukui, <u>62:63</u>, 9(2014).
- [2] Tool AQ : J Am Ceram Soc, 29, 240(1946).
- [3] Narayanaswamy OS : J Am Ceram Soc, <u>54</u>, 491 (1971).
- [4] Moynihan CT, Macedo PB, Montrose CJ, Gupta PK, DeBolt MA, Dill JF, et al : Anm NY Acad Sci, <u>279</u>, 15(1976).
- [5] J. L.Gomez Ribelles and M. Monleon Pradas : *Polymer*, <u>38-4</u>, 963(1997).
- [6] Adam, G. and Gibbs, J. H : J. Chem. Phys, <u>43</u>, 139 (1965).
- [7] Gibbs, J. H. and DiMarzio, E. A : J. Chem. Phys, <u>28</u>, 373(1958).
- [8] http://www.nag-j.co.jp/openMP/

触媒活性評価に関する一工夫 -指標としての触媒当たり時間当たり 反応変換率(HCC)の提案-

高橋 一朗* 松永 崇利* 砂田 優輝* 棚橋 克弥* 細井 信造**

An Idea to Evaluate the Catalyst Activities in Chemical Syntheses — Proposition of the Term Hourly Conversion per Catalyst (HCC)—

Ichiro TAKAHASHI^{*}, Takatoshi MATSUNAGA^{*}, Yuuki SUNADA^{*}, Katsuya TANAHASHI^{*} and Shinzo HOSOI^{**}

(Received September 8, 2015)

Catalytic reactions have been favored nowadays in terms of economical and environmental requirements. On this point, the term TON (TurnOver Number) has widely been utilized because of its facile availability. However, during the optimization of reaction conditions, it is not as useful as its fame, because it does not reflect whether the reaction in question is fast or slow. We propose the term HCC (Hourly Conversion per Catalyst) in order to make experimenters easier to assess the ultimate reaction condition with quantitative conversion.

Key Words : HCC, TON, Activity, Catalytic, Conversion, Reaction velocity

1. 緒 言

近年,有機合成化学では,反応条件の穏和化を念 頭に,試薬の構造や反応系(溶媒など)を設計する 機会が多くなってきた.キーワードとして「環境対 応型」や「持続可能」が挙げられる機会も多く,こ れらを効率的に実現するために,無溶媒ないし水中 での反応(有機溶媒をなるべく使わない)や、反応 進行のためのエネルギー源の熱から光への転換や, 触媒反応などが提案され,それぞれ精力的な取り組 みが繰り広げられているのは周知の通りである.

医薬品を始めとする医工連携領域に関係のある高 付加価値マテリアルの合成に於いては,通常の化学 物質に比べ,品質管理,なかんずく,残留痕跡量の 混入物に対して,極めて慎重であることが要求さ れる.この課題の達成のためには、触媒のみ不均一 (溶けていない)であるような反応を志向するのが 将来的には望ましい.言うまでもなく、不均一系に は触媒の表面(固-液界面)しか反応に寄与しない という宿命的な弱点があるが、反応時間を長くした り、触媒を少し多めに使ったりすることにより、実 用面からの条件最適化により克服するのが定石であ る.そのためには何よりも、触媒反応系の反応効率 を簡単に求められることが極めて重要となる.

反応効率の良悪を客観的に表すために通常用いら れる指標はTON (TurnOver Number)である.これが 頻用される理由は,収率(変換率)と触媒使用量(当 量数)からだけで簡単に求められる数値であること による.但し,著名であることとは別に,反応条件 の最適化を実験室的に行う場合には,意外と使いに くい.というのは,反応時間がほぼ一定なら良いが, 最適化などの過程で反応時間をはじめとするパラメ ーターを振って検討する(のが普通)際には,当初, 反応そのものが速いのか遅いのか,一概には判定す ることが難しいからである(定量的に反応が進む触 媒反応系では,反応時間の長短にかかわらず,1モ

^{*} 大学院工学研究科生物応用化学専攻

^{**} 京都薬科大学

^{*}Applied Chemistry and Biotechnology Course, Graduate School of Engineering

^{**} Kyoto Pharmaceutical University

ル%の触媒を用いた系の TON は 100 になる !). TON の数字が大きい反応は確かに格好よく見えるが,実 はそれは,実験に携わる人の犠牲的精神の上に成り 立っていることが多い.アカデミックな立場からは, 触媒の特性を明かにすることは重要であるが,むや みに触媒使用量を削った上で収率が上がってくるま でわざわざ(!)反応時間を長くすることには,さ ほどの重要さは無かろう(論文がより「良い」学術 誌に掲載される見地からは大事なこともあるが).

筆者はかねてから、定量的に生成物が得られる目 安を数理的にきちんと簡単に推算できる方法さえあ れば,当該反応系に対する,ありとあらゆる要求に 対応できるし、それで充分なはず、と考えてきた. 今回,フタリドと1級アミンの触媒的脱水縮合によ る生理活性フタルイミジン誘導体の合成を手掛けた のを機会に、以上の目的を達成するための指標とし ての, 触媒当たり時間当たり変換率 (Hourly Conversion per Catalyst; HCC) の導入を提案する ものである^[1]. なお, HCC は、数値としては「単位 時間あたりの TON」に当たるが、単位としては %/h なので概念としては別のものであることを付言して おく. 今回の検討に於ける第一目標 (primary target)は、反応開始時 (t=0) での反応速度パラ メーターを求めることにあり、その方法も併せて報 告する.

2. 結果と考察

反応時間と収率(変換率)の間の関係は,直線と は限らないし,むしろ,成長曲線型や誘導期を持つ タイプ,即ち,数理的には,函数として見た場合, ロジスティック曲線の一部として取り扱われるべき ものが一般的と考えられる.いずれにせよ,事前情 報だけで数値を求めることができる TON と異なり, HCC は実地に即して信頼のおける物理恒数として決 定しなければならないのであるが,この場合,或る 触媒が少ない範囲内では,触媒使用量の増加に応じ て収率(変換率)も上昇するようなトレンド(要は グラフで表わした時に特異点が無い)でないとそも そも解析は無理であるから,このことも含めて解 析・判定できる方法を工夫する必要がある.

今回筆者の提案する方法はごくシンプルである. 即ち,収率(変換率)を触媒使用量(単位モル%) と反応時間(単位 h)で割って得られた値(HCC)を、 収率(変換率)に対してプロットし,回帰線を求め るだけである.収率(変換率)のデータは,筆者が 手掛けている 2-フェニルフタルイミジンをフタリ ドとアニリンの触媒的脱水縮合反応のものである^[2] ^{~[4]}。反応式を Scheme, データを Table, プロットし た結果と回帰線を Figure 1 に示す.



Scheme

Table. Results of Phthalimidine-forming Reactions

$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	Entry	InCl ₃ (mol%)	Time (h)	Yield (%)	Recovery (%)	HCC*
12 1 96 72 14 0.750	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11	200 20 20 10 10 5 5 2 2 2 1	2 6 12 2 6 6 24 6 12 24 96	95 45 95 91 23 41 36 92 15 26 30 72	0 45 0 9 70 43 58 0 74 61 54	0.235 1.125 0.792 0.379 1.150 0.680 1.200 0.767 1.167 1.083 1.250 0.750

*HCC = Yield (%) / [InCl₃ (mol%) x Time (h)]



Figure 1. Plot of Conversion % *vs.* HCC Values.

プロットした結果を見ると、Table のデータが独 立した実験に基いたため、ばらつきはあるものの、 右肩下がりの直線を当てはめて回帰線とすることが 可能である. 放物線近似も充分可能ではあるが、誤 差論の見地からは直線として解析できる方が、無理 式(=多項式)で解析するよりも、一般にベターと されているので、ここでは「回帰直線」を使って考 察を行うことにしたい^{[5]~[6]}.

不均一の触媒反応の反応場は中心金属の表面だけ であり、そこへ基質や反応剤がどのような頻度で衝 突できるかで単位時間あたりの反応速度が決まる. 従って、化学量論量の反応と異なり、触媒反応に於 いては、反応時間の増大とともに、反応速度は低下 していくのが普通である. Figure 1 は反応進行につ れて「平均的」反応速度が直線的に低下していくこ とを表しており,瞬間的反応速度ではないものの, 概ね,収率(変換率)は触媒量および反応時間の増 加に伴い,近似的に成長曲線に従う反応系であるこ とが明示された.

収率(変換率) = 0の点は,とりも直さず,t=0 の点に対応するので,この反応系の擬一次初期反応 速度は,「約1.4%変換/1%触媒使用時・1時間」 と求めることができた.もちろん,このtermは元来, 収率(変換率)の時間微分であるから,より精密に 数値として求めるためには,当然,一個の実験から 経時的にサンプリングしてデータを取る必要がある のだが,目下の反応の条件最適化を検討する局面に おいては,差し当たり,この精度で充分だと思う.

よく用いられる,反応時間 vs. 収率(変換率)の 反応曲線を求めるには,各収率(変換率)をそれに 対応する HCC で割って反応時間を求め,プロットす ればすぐに得られる. 結果を Figure 2 として示す.



Figure 2. Reaction-Progress Curves.

Figure 2 では、収率(変換率)のみ数値を2倍に したグラフを一緒にプロットしてあるが、これは近 似的に、2 %触媒使用時または HCC が2倍の大きさの 系での結果を表すことになる.以上述べた方法を用 いれば、反応完結までに必要な時間や、逆に完結時 間を決められた上での触媒使用量も、難なく決める ことのできることが明かになった.

3. 結論

今回筆者は、取り扱う反応系からの必要に応じる 形で、従来頻用されてきた TON に代わる指標として HCC を提案した. 収率(変換率)から得られる指標 は瞬間的なものではなく平均的なものではあるが、 それが徐々に変化する系か、急激な変化部分を持つ 系かはたちどころに見極めがつく.何よりも、特定 の収率変換率に到達するまでの反応時間を割り出す 数式が数点のデータから求められるメリットは大き い.HCC(*t* = 0)は言うまでもなく擬1次速度定数 に相当するので、意外と使い道があるのではないか と期待している.

この方法論を具体的に用いての有機合成化学系論 文は近日公表の予定である.

4. 謝辞

誤差論について以前からご教示いただいた高橋史 朗氏(元千葉経済大学教授,故人)に対し,また,平 均的反応速度を用いて反応解析を行うことの是非に ついて,筆者と積極的にご議論いただいた中島範行 教授並びに川端繁樹准教授(富山県立大学)に対し, この場を借りて感謝の意を表します.

5. 注記および参考文献

- [1] 筆者の専門とする生物有機化学の領域で HCC の acronym で 頻用 される 語 彙 の 大 先 輩 は, Hepatocellular Calcinoma (肝細胞癌) である. 念のため.
- [2]松永崇利,堀野優介,河上七重,稲垣 祥,高橋 一朗,細井信造:平成25年度有機合成化学北陸 セミナー講演要旨集,P-31,金沢市,2013年10 月.
- [3] 松永崇利:修士論文,福井大学大学院工学研究科, 2015年3月.
- [4]砂田優輝:卒業論文,福井大学工学部,2015年3 月.
- [5]高橋史朗:統計局研究彙報, <u>36</u>, 1 (1981).
- [6]高橋一朗,野村哲士,北嶋英彦:福井大学工学部 研究報告,40-1,7 (1992).

水素結合型錯体検証用キットに関する一工夫

高橋一朗* 酒井翔矢* 佑安愛佳* 三箇啓介* 神谷美里* 細井信造**

Proposition of a Series of Guest Compounds as a Molecular Crystal-Characterization Kit

Ichiro TAKAHASHI^{*}, Shoya SAKAI^{*}, Aika SUKEYASU^{*}, Keisuke SANGA^{*}, Misato KAMIYA^{*} and Shinzo HOSOI^{**}

(Received September 18, 2015)

A series of guest compounds composed of phenols, diphenols, and benzoic acids was utilized as a kit in the preparation of a series of crystalline molecular complexes involving 2-pyridone or 2-quinolone derivatives. Advantages of this strategy for regression analysis utilizing melting points before and after complexation are also discussed.

Key Words : Grinding method, Molecular recognition, Melting point, Rregression analysis, Host-Guest chemistry

1. 緒 言

化合物にせよ錯体にせよ,分子の構造を最も確実 に証明できる直接的方法は,*X*線結晶解析法をおい て他にない.有機合成分野の研究を進めるに当たり 欠くことの出来ない核磁気共鳴スペクトル(NMR)は, 最近,特に固体試料の測定に関し,筆者の学生時代 に比して格段の進歩を遂げているものの,*X*線結晶 解析法も,その首座を簡単に明け渡すことはないで あろう.何よりも,原子間距離と角度に関する情報 が直接,手に入る魅力は捨てがたい.但し,これは あくまでも,測定に耐えうる試料が調製できれば, の話であることは言うまでもない^[1].

良い結晶ができず、従って、結晶解析が困難な場 合には、普遍性を持ついくつかの方法(溶液でのス ペクトルなど)により得られた複数のデータを組み 合わせた「状況証拠」に基づいて考察を進め、構造 に関する作業仮説の裏付けを試みるより仕方がない. 事実、筆者の博士論文以来のテーマである「大環状

* 大学院工学研究科生物応用化学専攻

** 京都薬科大学

- *Applied Chemistry and Biotechnology Course, Graduate School of Engineering
- ** Kyoto Pharmaceutical University

シクロファン」も、包接錯体に関する直接証明は、 良い結晶ができなかったため未だに(!)成功して おらず、溶液のプロトン NMR スペクトルの集積と、 そこから錯体生成定数を算出する計算法の組み合わ せに基づき、取り込み現象の「実在」を証明すると いう手法を編み出して、研究を進めてきた^{[2]~[7]}.

筆者が最近取り組んでいる「水素結合型錯体」の 場合,状況はこれより多少は恵まれていると言えよ う.何故なら,これまで調製した試料の総数から見 ればほんの一握りではあるものの,いくつかの分子 結晶の *X*線結晶解析に成功しているからだ^[1].解析 に成功した一例をFigure 1 に示す^[8].



Figure 1. A Molecular Complex.

そうは言っても、ここから先、系統的に仕事を進 めるためには、起きている現象を客観的(半定量的) に裏付けする必要がある。そのためには、先に述べ た「大環状シクロファン」の研究の時と同様、新た な背景理論とそれに基づく数値計算法を編み出すこ とが不可欠となる。

筆者は、2-ピリドンを用いた水素結合型錯体生成 を利用した分子捕捉の研究に際し、このホスト分子 を多種類のゲスト分子(主力は内分泌撹乱物質=環 境ホルモン)と1:1で組み合わせて、溶液法または すり混ぜ法により固体試料を調製して融点(mp)測 定を行い,幅の狭いmpを与えた31個を分子結晶と 推定した.この場合,融点測定は,一次元の熱分析 として最も簡便に実行し得る方法として結晶研究者 の間で広く認められていることから採用したもので ある^[9]. 次いで,得られた 31 個の錯体 mp のデータ をゲストmpに対して二次元にプロットし,相関を見 るための回帰分析を行った際、過去に結晶構造を明 らかにし得た2試料 (p-ニトロフェノール, ビスフ ェノール A) と関連付けることにより, 分子結晶の 融点の平均線(右肩上がりの直線)からの「ぶれ」 が、二量化した 2-ピリドンの芳香環の平行型スタッ キングによるπ電子雲の重なり具合の大小で起きて いる(重なりが大きい→高い融点,重なりが小さい →低い融点)と想定できること,更に,このことを 容認すれば,結晶解析に成功していない試料を含め, 31 個すべてが同じ様式の錯体(ホスト:ゲスト= 2:2) と判断できることを考察し、この「新たな背景 理論とそれに基づく数値計算法」に関する論文を 2005 年に発表した(Figure 2; 具体的な化合物名に ついては後述) [10].



Figure 2. Regression Analysis Based on Melting Points.

私事で恐縮だが、この論文は、私の恩師の一人で ある古賀憲司博士が前年(2004 年)急逝したのを受 けて計画された追悼記念号に「間に合わせた」もの である.従って、内容的にいささか拙速であること は筆者自身百も承知であり、引き続き、仕事の基盤 を固めるための地道な検討に集中することにした. ところが、そうこうするうち、先の仕事でゲスト化 合物として使用した化合物のうち、ハロゲンがたく さんベンゼン環上に置換したフェノール誘導体を主 体とする「環境ホルモン様物質」のかなりの部分が、 著名な試薬メーカーで製造中止となり、カタログか ら消えるという事態が勃発した.

止む無く、ゲスト化合物を一部、構造類似の化合物で置き換えたりして検討を続行したものの、今度は、分子結晶をうまく生成しない組み合わせの割合が増加すると共に、サンプル数を増やしても特定の 錯体生成トレンドを提示する方向になかなか収束し ないことが明かになってきた.理由としては、初期 の研究で用いたゲスト化合物は、「環境ホルモン様 物質」と目されるフェノール誘導体が中心、即ち、 ベンゼン環上に電子求引性基(例:ニトロ基)また はかさ高い疎水基(例:t-ブチル基)を有すること により、静電相互作用または疎水性相互作用に基づ き錯体を形成し易かったのに対し、あとから追加し た試料の場合には、必ずしもそうしたトレンドを有 していなかったためではないかと考えられる.

事ここに至り筆者は、根本的に考え直すことにし た.まず,研究の目的を洗い直すと,「環境ホルモ ン様物質」の分子捕捉^[8]に関しては、かなり広い範 囲の誘導体に関して一般性を持つことを確認し得た ので、とりあえず一段落と見なすことにした.次い で,「環境ホルモン様物質」以外で分子結晶生成に よる固定化(immobilization)が必要と考えられる 候補を探すと,真っ先に,室温で液体(即ち,低い mp)のフェノール類を挙げることができる.具体的 には、例えば、クレゾールの位置異性体(o-, m-, p-)を分子認識により区別できるような系が見つか れば面白いであろう(クレゾール異性体の分離法そ のものは昔から知られているが、分子認識の原理的 な面での貢献という立場から意義がある)[11]. 但し、 ゲスト化合物が自己組織化し易い傾向を有していた 先の研究の場合とは異なり、ゲスト化合物を効果的 に固定化できる性能を持つようなホスト化合物を, 合理的に探索するための方法論を編み出すことが不 可欠となる.

ホスト化合物候補の検討は、以前の研究に引き続 きとりあえず、2-ピリドン誘導体からスタートする ことにした.2-ピリドン誘導体には生理活性を持つ 物質もいろいろ知られているが、複素芳香環上に位 置する置換基の、作用機序への影響は明かにされて いない^{[12]~[14]}. 有機化学的手法に基づく分子認識と いう見地から検討を加えることにより,ドラッグデ ザインにとって重要な知見(系を点や線でなく面と して把握するための「目」)の獲得が期待されよう.

以上の考察に基づき筆者は,前の論文^[10]に引き続き,回帰分析をベースにした方法論を構築することにした.本論文では,水素結合型錯体検証用キットの構成と,それを用いて調製した分子結晶のmpデータに基づく回帰分析について報告する.

2. 検証用キットの編成

周知の通り,分析化学などで頻用される検量線は, 相関係数(または決定係数)がほとんど1に近いよ うな正に「直線」である^{[15]~[18]}.これに対し、筆者 が取り扱っているのは Figure 2 に見られる通り, 結 晶の (スタッキング) 構造に由来するばらつきがは なっから大きい系である^[10].従って、検量線のよう なびしっと決まった回帰線を求め、それを用いて精 密な解析を行うことは、現時点では望めない.とは いえ、相関係数が小さ目に出ているから、という理 由だけでこの種の検討自体を否定するようなスタン スには反対である.要は,異なるゲスト分子同士で トレンドがどのように異なるのかについて、判断を 助けるような、データ点の分布の形を最低限、 吟味 するための方法論だ,という線を外さない限り,目 くじら立てず、おおらかに構えていても良いのでは なかろうか?

検証用キットを構成する化合物の個数をいくつに するかは,錯体生成実験を行った時にどれくらい「当 たり」(=分子結晶が生成)が出るかに懸かってい る.実を言うと,筆者のこれまで検討した範囲では, 錯体の生成率はホスト・ゲストの組み合わせにもよ るが,せいぜい50%を超える程度でしかない.他方, 分布の形を知るには最低でもデータ点が10点は必 要(分布の中心に1点,周囲には8方位(45度おき) に各1点は欲しい)と考えられる.一方,筆者の先 の検討に見られるように分布が帯状の場合,中心線 上と上下の限界線上にいくつかデータ点を配するの が望ましい.なお,中心線上は分布の方向性を規定 するため両端に点が必要なので,理想的には3*N*+2 個のデータ点が欲しい.

以上2つの条件を勘案して,化合物数は20個(N= 6)を目安とすることにした.実際問題として,近い 将来ある化合物が入手できなくなる可能性も加味し て(20+α)個にしておくのが安心と言える.よっ て,今回の検討では22個の化合物を選定することに した. 前の論文^[10]で使用したゲスト化合物の内,かなり の部分が市販品でなくなった事情は,緒言で述べた 通りである.強い生理活性を有する物質である以上, 簡単な構造だからとばかり,通例のように,研究室 で合成するのが好ましいとは思われない.そこで, ゲスト化合物はあくまでも市販品とし,研究室で行 うのは純度の確認にとどめる方針を採ることにした. 化学薬品の試薬カタログからの廃止は今後も心配で あるが,諸般の情報に基づき,当分は大丈夫そうな ものをピックアップする形で,ひと揃いのゲスト化 合物をキットとして編成(実質は再構成)すること にした.前の論文からのゲスト化合物の取捨選択を 整理したものをFigure 3 に,また,化合物の構造式 を Figure 4-1 及び 4-2 に掲げた.

Compo	d		Compd
No.(O	ld)		No.(New
1	m-Nitrobenzyl alcohol (MNBA	r)	
2	Pentafluorophenol		→ 1
3	2,4-Dichlorophenol		→ 2
		L-Menthol	→ 3
4	2-Nitrophenol		→ 4
5	4-Trifluoromethylphenol		
6	2,3-Dichlorophenol	2-Phenylphenol —	- 5
7	2,5-Dichlorophenol		
8	p-n-Nonylphenol		→ 6
9	2,3,5-Trichlorophenol	2,4,5-Trichlorophenol	→ 7
10	2,4,6-Trichlorophenol	3-Cyanophenol —	→ 8
11	3,4-Dichlorophenol	2,3,5-Trimethylphenol —	→ 9
12	3-Nitrophenol		→ 10
13	Pentafluorobenzoic acid	4-tert-Butylphenol —	→ 11
14	2-Chloro-4-nitrophenol —		▶ 12
15	4-Cyanophenol		
16	4-Hydroxybenzaldehyde		
17	p-Nitrophenol		→ 13
18	3-Fluorophenol		
19	3-Pyridinol	Methyl 4-Hydroxybenzoate	→ 14
20	3-Methyl-4-nitrophenol		
21	2-tert-Butylhydroquinone		→ 15
		2-Amino-4-methylphenol -	▶ 16
22	3-Nitrobenzoic Acid		→ 17
23	3-Chlorobenzoic Acid	2-Nitrobenzoic Acid -	→ 18
24	Bisphenol A		→ 19
25	Salicylic Acid		
26	Diethylstilbestrol		→ 20
27	Hydroquinone		
28	Pentachlorophenol		
29	4-Cyanobenzoic Acid		→ 21
30	4-Nitrobenzoic Acid		- 22

Figure 3. Correspondence Table of Guest Compounds.

4-Chlorobenzoic Acid



Figure 4-1. Guest Compounds (1).



Figure 4-2. Guest Compounds (2).

4 種類のホスト化合物と 22 種類のゲスト化合物 (キット)の組み合わせによる分子結晶生成実験の 結果については後で述べる.

3. 回帰分析に基づいて判定するための指針の検討

ホスト化合物を一連のゲスト化合物から成るキッ トと組み合わせて錯体生成能の考察を行うためには、 判定のための指針を予め決めておく必要がある.無 論,今後陸続と続く検討を通じて適用できるような ものでなければ意味がない.

緒言でも述べた通り、筆者が取り扱う系に当ては まる回帰線は、通常の検量線をつくるための回帰線 に比べ、ばらつきが遥かに大きい.実際、前報の結 果から例を挙げると、*p*-ニトロフェノールに基づく mpデータは回帰中心線より大きく上、ビスフェノー ルに基づく mpデータは回帰中心線より大きく下に 偏奇し、回帰中心線を基準に取ると両者の間には実 に 60 ℃近くもの差、即ち、標準偏差の 2 倍を超す ような差が付いていた^[10].従って、相関係数(決定 係数)も通常の検量線のそれに比べてかなり小さ目 に出ることになる.当然のことながら、回帰分析を 適用して検討を進めること自体ふさわしくない系と 捉えられていたとしても無理からぬ所ではあり、こ の種の系を取り上げての研究自体、筆者の検討以前 には皆無であった.

今回の筆者の目的は、厳密な差異を統計数理的に 検定することではない.異なるホストにより錯体(分 子結晶)生成能のトレンドがどのように変化するの か、見つける端緒を手に入れる点にある.判断の仕 方は難しいが、筆者としては、以下のように考える のが現時点では妥当と考えるものである.

3.1 回帰直線の取扱い1: y軸切片

回帰直線(Figure 2 として例示)の y 軸切片は, ゲ スト単独での mp が 0 ℃のとき,ホスト・ゲスト錯 体の mp がどれくらいになるかを意味する.即ち,ゲ スト mp の低い領域で,錯体生成による固定化=分子 捕捉が起こるかどうかの目安であり,切片の数値が 正で大きく振れるほど可能性は大と判断できる.

3.2 回帰直線の取扱い2: 傾き

ホスト・ゲスト錯体の mp に対するホスト分子の影響は, 錯体の示す mp を, 対応するゲスト単独時の mp に対してプロットして検討するのが早道と考えられる.

即ち,この場合,錯体がゲスト分子の性質を完全 に「引きずって」いる場合には、ゲストのmp上昇に 正比例する形で錯体もmpが上昇することになるの で、回帰線の傾きは1(ホスト・ゲストで分子結晶 生成による相乗効果があれば1を超えることもあり 得るが、実例なし)となることが想定される.

逆に, 錯体の構造がホスト分子に圧倒的に支配さ れている場合には, 錯体の mp はゲストの mp に関係 なく同じ値を示すはずであるから, 回帰線の傾きは 0 となることが想定される.

3.3 回帰直線の取扱い3:相関係数(決定係数)

3.1 と 3.2 で述べた二点が、回帰分析が可能であ るための大前提と考えて良い.実際、筆者のこれま での経験(本論文で検討したものを含めて)による と、傾きのトレンドは必ず0と1の間に入ってきて いるので、有力なメルクマールになる可能性がある. あとは相関係数(決定係数)によって示される「ば らつき」に対し、客観的根拠を与えることができる か否かが、筆者が今回提案する方法論が汎用性を持 つかどうかの鍵となる.

前にも述べた通り,筆者の検討の対象となる系で は、回帰(中心)線の上下にそれなりのばらつきが はじめから想定され,比色分析に於ける検量線のよ うな「びしっとした直線性」は期待できないから, 相関係数(決定係数)は当然小さ目に出る機会が多 くなることが想定される.これをはなっからナンセ ンスとして拒絶して良いものかどうか?何しろ,フ ランクフルトソーセージのような?分布の出っ張り の向き具合が判定できれば,ホスト分子と液体フェ ノール(ゲスト)の間での分子結晶生成による固定 化が有利かどうか判定できるのではないか,という 発想の元での検討なのだから・・・とはいえ,分子 認識に多少でも興味を持つ諸兄諸姉を納得させるた めには,客観的な目安が必要と考えられる.そこで, 現実に即したモデル系を使って,予め,相関係数(決 定係数)がどれくらいの値になるものか,具体的に 数値計算して確認することを計画した.

Table 1. Definition of Lattice Points

	(下第2限界線上)(下第1限界線	上)(中心線上)	(上第1限界線上)	(上第2限界線上)
	A	В	С	D	Е
0			(0, 0)		
1	(4, 0)	(3, 1)	(2, 2)	(1, 3)	(0, 4)
2	(6, 2)	(5, 3)	(4, 4)	(3, 5)	(2, 6)
3	(8, 4)	(7, 5)	(6, 6)	(5, 7)	(4, 8)
4	(10, 6)	(9, 7)	(8, 8)	(7, 9)	(6,10)
5	(12, 8)	(11, 9)	(10,10)	(9,11)	(8,12)
6	(14,10)	(13,11)	(12,12)	(11,13)	(10,14)
7			(14,14)		

格子点は、分布の中心線上(C)のものは端があ ることを考慮し、それ以外の限界線上(A, B, D, E)のものより2個多く設定した.ここでの「1ユ ニット」は、12.5倍すると前報^[10]で実測されたゲス トmp対錯体mpの回帰データ(y軸方向の標準偏差 =26 \mathbb{C} , x軸方向の温度幅 200 \mathbb{C})にほぼ近似す るように,取ったものである.今回の計算のために 設定した格子点の座標はTable 1に示した通りであ る.なお,各格子点を簡単に,例えば A4 (10, 6) や C0 (0, 0)のように省略して付番するための表記 も一緒に掲げた.

格子点座標を使っての具体的な数値計算の結果に ついては後で述べる.

4. 方法と結果

4.1 分子結晶生成実験

4 種類のホスト化合物(A~D)と今回編成したキットに属する22種類のゲスト化合物から1種類ずつをモル比で1:1になるように調合した後,乳鉢中で乳棒を用いて数分間すりまぜ,分子結晶の調製を行った^[9]. 試料中の成分比が1:1であることは,先に報告した研究の時と同様,溶液プロトンNMRスペクトルにより確認している。Mp測定は各試料について少なくとも2回行い,連続する2回の測定結果が一致することを確認の上,その実験における測定値として採用した(未補正).

分子結晶試料のmp測定の結果をTable 2に示す.

Host (mp/ °C) Guest (mp/ °C)	A OH (105 ~ 107)	B N SH (127~130)	Сод Сод (221~223) Сод Сод Сод Сод Сод Сод Сод Сод Сод Сод	
1 (34~36)	108~110	(oil)	(oil)	(oil)
2 (42 ~ 43)	$77 \sim 79$	$84 \sim 86$	111~113	$43 \sim 46$
3 (41 ~ 44)	(oil)	(29~130)	188	221
4 (45)	$28 \sim 32$	$(54 \sim 101)$	$44 \sim 46$	$45 \sim 48$
5 (57 ~ 59)	(78~88)	(oil)	$138 \sim 141$	$155 \sim 159$
6 (59)	$43 \sim 46$	(oil)	212	239
7 (65~67)	131 ~ 133	$99 \sim 100$	$165 \sim 168$	$127 \sim 129$
8 (78 ~ 81)	59~61	(oil)	$123 \sim 124$	$168 \sim 170$
9 (92 ~ 95)	(oil)	$78 \sim 80$	$120 \sim 123$	92~97
10 (96 ~ 98)	$103 \sim 104$	$56 \sim 57$	145	$157 \sim 161$
11 (96 ~ 101)	(oil)	$61 \sim 62$	$67 \sim 70$	97~100
12 (105~106)	$131 \sim 133$	$118 \sim 119$	$158 \sim 160$	$174 \sim 178$
13 (110 ~ 115)	$149 \sim 150$	$117 \sim 119$	$169 \sim 172$	188~191
14 (125 ~ 128)	(oil)	$89 \sim 90$	$136 \sim 138$	153 ~ 156
15 (127 ~ 129)	$70 \sim 73$	$60 \sim 61$	$149 \sim 152$	127~130
16 (133 ~ 136)	$51 \sim 52$	$80 \sim 82$	$115 \sim 118$	133 ~ 136
17 (139 ~ 141)	131 ~ 132	$123 \sim 125$	$167 \sim 169$	191 ~ 193
18 (146 ~ 148)	$(70 \sim 85)$	82 ~ 84	$125 \sim 127$	179~181
19 (158 ~ 159)	113~115	$74 \sim 75$	$134 \sim 138$	146~149
20 (170 ~ 172)	182~186	145	$163 \sim 167$	155 ~ 161
21 (219 ~ 221)	145~150	166~168	195~198	$205 \sim 210$
22 (237 ~ 240)	193 ~ 195	$158 \sim 160$	$201 \sim 204$	$221 \sim 225$

 Table 2. Results of Molecular Complex-Forming Experiments

データ処理は前報^[10]と同様の方法で行った.即ち, 分子結晶調製実験での結果のうちで,生成した試料 が液体の場合,及び,固体ではあってもmpの幅が広 いもの(Table 1の中でカッコ付きで表示)を除外 した. 次いで, 残りのデータ点について, 2次元で の回帰直線の計算を行った(x軸=ゲスト化合物の みの mp, y軸=分子結晶の mp).計算に当たっては 簡単のため,それぞれの mp に関し,溶け始め温度~ 溶け終わり温度の「幅」の中点の数字を用いた. 結 果を Table 3 に示す。

Table 3. Results of Regression Analyses

Entry	Host	n	а	b	R^2
1*	A	31	0.59	44.6	0.76
2	A	16	0.53	47.8	0.44
3	B	16	0.45	41.5	0.43
4	C	21	0.28	114.0	0.14
5	D	21	0.38	110.4	0.16



(*) From our previous work (Figure 2).

4.3 モデル系を用いた相関係数(決定係数)の数値 計算

 Table 1 に示した格子点の全部ないし一部を含む

 形で数値計算を行った結果を Table 4 に示す(格子

 点の付番は Table 2 で説明した).

Entry	Adopted Data Points	n	a	b	<i>R</i> ²
1	A1-6, B1~6, C0~7, D1~6, E1~6	32	0.76	1.65	0.583
2	B1~6, C0~7, D1~6	20	0.93	0.53	0.856
3	A1~6, C0~7, E1~6	20	0.73	1.89	0.533
4	A2, A4, A6, B1, B3, B5, C0~7,	20	0.85	1.03	0.677
5	D2, D4, D6, E1, E3, E5 A2~5, B1~6, C0~7, D1~6, E2~5	28	0.78	1.57	0.601

Table 4.	Theoretical	Regression	Analyses
		<u> </u>	-/

5.1 キットの信頼性の検証 (ホスト A 使用の時, Table 3)

前報^[10]で示した回帰線を,今回編成したキットを 用いて「再現」できているかどうかを,Table 3 の Entry 1 と 2 から検証した.以前は 31 個のデータか ら回帰線を求めることができたが,今回はキットを 構成する 22 種類のゲスト化合物のうち,分子結晶を 生成したと認められたのは 16 種類に止まった. Entry 1 と 2 の結果を比較すると,決定係数(*P*) は多少小さくなったものの,回帰傾向線の持つパラ メーター(*a, b*)の数値はほぼ同じであることが明か となった.故に,今回のキットでは,分子結晶を比 較的生成し易いと考えられる「環境ホルモン・タイ プ」のゲスト化合物の割合が,先に述べた事情で, かなり減少したものの,新規化合物を交えてのキッ トの編成自体は,一応妥当と判断される.

5.2 他のホストによる分子認識の結果(ホストB~D使用の時, Table 3)

次に,他の3種類のホストによる分子結晶生成実 験の結果について考察する.2-ピリジンチオール(B; 2-PySH)を用いての結果(Entry 3)が,Aを用いた 時の結果(Entry 1, 2)と同様の結果を示したのに 対し,2種の2-キノロン誘導体(C,D)による結果 (Entry 4, 5) は,明らかに異なるトレンドを示した.即ち,切片 *b*は大きな正の値を示し,決定係数

R は極度に小さな値を示した.更なる判断を行うため,2次元回帰のグラフをFigure 5として次に示す.



Figure 5. Regression Analysis utilizing "the Kit."

- (a) Host = 2-Pyridinol (A; 2-PyOH);
- (b) Host = 2-Pyridinethiol (**B**; 2-PySH);
- (c) Host = 4-Me-2-Quinolone (C);
- (d) Host = $6-NO_2-4-Me-2-Quinolone$ (D).

ホストAとBを用いた実験のグラフ(Figure 5, (a) & (b))上のデータ点の分布は、ばらつきがかなりあ るとはいえ、1本の直線による回帰として解釈可能 であるのに対し、ホストCとDを用いた実験のグラ フ(同,(c)&(d))上のデータ点の分布は、ゲスト のmpの低い領域(~50℃)ではy軸にほぼ平行な数 個の点の連なりが認められ、折れ曲がり(fold)が 起きていることを示している.故に、(1)決定係数 *R*が小さくなったのは、複数の回帰傾向線のうちの 1つに基いて「無理に」回帰直線の計算を行ったた めであること、(2)2-キノロンタイプのホスト(C, D)と低mpゲストの組み合わせによる分子結晶のmp は、2-ピリドンタイプのホスト(A, B)によるそれ に比べて,正または負に大きく偏奇するトレンドを 持つこと,の2点が明かとなった.分子結晶のmp とゲスト分子の構造との間に相関があるかどうかに ついては,今後の研究課題である.

5.3 2-キノロン誘導体から調製した分子結晶の性 質の相互比較(応用例)

以前,筆者らは,4-メチル-2-キノロン(C)を標 準的な反応条件(硝酸-硫酸,室温)により環ニト ロ化物(D~F)を得,これと数種類のゲスト化合物 を組み合わせて分子結晶を調製した結果を報告した^[19].結果をTable 5に示す¹⁾.

Host (mp/ °C) Guest (mp/ °C)	C O2N C O2N (221 ~ 223)		$ \begin{array}{c} $	F NO₂(114~120)
10 (96 ~ 98)	145	157 ~ 161	$124 \sim 128$	<30
13 (110 ~ 115)	169~172	188 ~ 191	$120 \sim 126$	78 ~ 84
3 (41 ~ 44)	188	221	73	104
6 (59)	212	239	$(112 \sim 140)$	31

 Table 5. Molecular Recognition utilizing 2-Quinolone Derivatives

学会発表の段階では、化合物 E 及び F から調製された分子結晶試料の示すトレンドが、化合物 C 及び D から調製されたそれと大きく異なることは明かにできたが、化合物 C と D 由来の錯体の性質に差があるのかどうかは明かにし得なかった.その時は、「ニトロ基の有無で mp に 20℃程度の差が出ているとも

考えられる」という考察は行ったものの,それ以上 の判断は保留した.

今回, ゲスト化合物のキットを編成し, かつ, 21 個のデータが得られた(Table 2)のを機会に, C由 来の錯体の mp と D 由来の錯体の mp の間の相関を調 べてみることにした。結果を Figure 6 に示す.



Figure 6. Regression between Melting Points of Molecular Complexes.

2組のデータセットの間で計算処理を行うと,強い正の相関を示し,かつ,回帰線は,傾き~1, y軸切片~0を示すことが明かとなった.このことは,

生成した錯体のトレンドは,6位のニトロ基の有無 に拘わらず,酷似していることを意味すると考えて 差し支えない.データ点を従前の4点→21点に増加 できたことにより的確な判断が可能となったと考えている.

5.4 決定係数に関する理論計算(Table 4)

まず, Table 1 で設定した格子点 32 個すべてを含 む計算(Entry 1)を行い,引き続き,実際のグラフ の形を考慮に入れて一部の格子点を外した形での計 算(Entry 2~5)を行った. 結果は, 格子点の採り 上げ方にもよるが、中心線から 2σ離れたデータ点 (AとEのシリーズ)を含む限り,決定係数は,格 子点の数に拘わらず, 0.5~0.7程度に止まることが 明かとなった. これは, Table 3 に掲げた実際の実 験データから求められたもの(Entry1~3)と同程度 の数値であり、今回検討している系が、元々ばらつ きが大きい以上、細かい比較は現時点ではなし得な いし、また、通常の検量線よりずっと小さい決定係 数を示すことを理由にその信憑性(というか研究者 の頭脳構造?)まで問題にすることは、決して科学 的態度とは言えないことを、心得るべきであろう. むしろ,決定係数が極端に小さく現れたら(Entry 4 &5), グラフの形そのものを疑う, という目安とし て対応するのがとりあえずは穏当であると考える.

6. 結論

筆者は長期に亘って分子認識の研究に携わって来 たが、錯体が「ホスト+ゲスト」の組み合わせで生 起する例は、「ホスト+ゲスト+溶媒」の組み合わ せによるものに比べて明らかに多い.溶媒はしばし ば「溶媒和」により錯体の構造を壊してしまうので、 そうしたリスクを含まない固相での物性測定&解析 の方法論で、信頼のおけるものを構築することは極 めて重要と考えられる.今回の検討で取り上げた 2-キノロン誘導体は多くの場合着色物質であり、X線 結晶解析に適さないこともしばしば起きる.筆者の 提起した方法は、まだ crude なものではあるが、20 個程度のデータ点があればいろいろな利用の仕方が できることが明かにできたことは大きく、今後の進 展に期待している.

7. 謝辞

筆者が分子認識に興味を持つ端緒を示して下さっ たのは古賀憲司博士でした.水素結合型錯体に興味 を持つ端緒を示して下さったのは北嶋英彦,毛海 敬両博士でした.有機結晶部会では,戸田芙三夫博 士から1次元熱分析としての mp 測定について色々 なご教示を頂きました.高橋史朗氏には誤差論と直 線回帰についてしばしばご教示頂きました.以上, お名前を挙げさせていただいた方々は皆,すでに故 人となられてしまったのですが,この場を借りて深 く感謝します.現役では,ここ10年来,密度の濃い 議論を持つ機会を続けていただいている,北陸(若 手)化学者談話会の諸兄諸姉に厚く感謝します.

8. 注記および参考文献

8.1 注記

 シンポジウムで報告した際は、簡単のため mp の「幅」の中点の数値のみを使って発表を行っ た.当時、10D は mp 169 ℃,13D は mp 199 ℃ と報告したが、再実験の結果、前の報告では測 定値の十のケタの数字を誤記した可能性が大と 判断し、今回表記の数値に訂正しておく.

8.2 参考文献

- [1] 高橋一朗:福井大学機器分析センター年報,9 (2001).
- [2] I. Takahashi, K. Odashima, and K. Koga : Tetrahedron Lett., <u>25</u>, 973 (1984).
- [3] 高橋一朗, 野村哲士, 北嶋英彦: 福井大工報, <u>40</u>-1, 7 (1992).
- [4] I. Takahashi, Y. Hirano, H. Arakawa, H. Kitajima, M. Hatanaka, K. Isa, K. Odashima, and K. Koga : Heterocycles, <u>46</u>, 589 (1997).
- [5] 高橋一朗:福井大工報, <u>47</u>-1, 15 (1999).
- [6] 高橋一朗:福井大工報, <u>47</u>-1, 35 (1999).
- [7] I. Takahashi, Y. Aoyagi, I. Nakamura, A. Kitagawa,
 K. Matsumoto, H. Kitajima, K. Isa, K. Odashima,
 and K. Koga : Heterocycles, <u>51</u>, 1371 (1999).
- [8] I. Takahashi, M. Takahashi, H. Kitajima, M. Wagi, Y. Takahashi, M. Sabi, M. Hatanaka, A. Yamano, T. Ohta, and S. Hosoi : Heterocycles, <u>59</u>, 517 (2003).
- [9] B. Hatano, S. Hirano, T. Yanagihara, S. Toyota, and F. Toda : Synthesis, 1181 (2001).
- [10] I. Takahashi, M. Takahashi, H. Kitajima, M. Wagi, Y. Takahashi, M. Sabi, A. Hishida, M. Hatanaka, K. Isa, A. Yamano, A. Sakushima, and S. Hosoi: Heterocycles, <u>66</u>, 195 (2005).
- [11] 読売新聞社編:人間この不可思議なもの, p.23, 読売新聞社, 1972年.
- [12] M. Jeanty, F. Suzenet, and G. Guillaumet : J. Org. Chem., <u>73</u>, 7390 (2008).

- [13] N. Catozzi, M. G. Edwards, S. A. Raw, P. Wasnaire, and R. J. K. Taylor : J. Org. Chem., <u>74</u>, 8343 (2009).
- [14] S.-S. P .Chou and Y.-T. Wu, Heterocycles, <u>89</u>, 1594 (2014).
- [15] 小林竜一,高橋史朗:統計学入門,白桃書房, 1960年,第8章.
- [16] 林 周二:統計学講義(第 2 版), 丸善, 1973

年, 第4章.

- [17] 森田優三:新統計概論,日本評論社,1974年, 第3章,第4章.
- [18] 高橋史朗:統計局研究彙報, 36, 1(1981).
- [19] 高橋一朗, 佐飛真知子, 佐飛奈緒美, 福山美貴,
 為則賢祐, 畠中 稔: 第14回有機結晶シンポジ
 ウム講演要旨集, P7, 京都, 2005年.

彷徨えるロボット

ー群ロボットの自己位置同定ー

竹下 聡亮* 髙田 宗樹** 平田 隆幸**

A Wandering Robot — Self-localization and Mapping of Swarm Robots —

Sosuke TAKESHITA*, Hiroki TAKADA** and Takayuki HIRATA**

(Received September 28, 2015)

Swarm intelligence has been attracted much attention of researchers in various fields. A swarm robot is one of the research fields of the swarm intelligence. In the study of the swarm robots, a number of small robots are used. Although individual robot ability is not so high, a colony of robots can achieve a complex task with co-operative work. The ant searches feeding area, and carries food to the nest with marking by pheromone. Other ants trace the pheromone and go to the feeding area. Many ants shuttle between the nest and the feeding area. The pheromone route between the nest and the feeding area is formed. Thus the route is confirmed and optimized. We focus on the swarm robot's self-localization and mapping in the exploration field.

Key Words : Wandering Robot, Swarm Robots, Self-localization and Mapping

1. はじめに

群ロボットは、自律分散システムによる群知能 (Swarm Intelligence)の研究分野の中の一つである^[1]. 群知能の研究とは、要素間の相互作用によって創発 現象(Emergence)が発生し、より高度な知的システ ムが現れることに注目したものである. 群知能を構 成するエージェントを抽象化した群知能の研究が、 コンピュータ・シミュレーションによって多くなさ れている. さらに、実体をもつロボットを仮定した 群ロボットの研究においても、コンピュータ・シミュ レーションによるものが多く存在する. なぜなら、 実際のロボットと環境との間に生じる相互作用が簡 単に表現できるためである. しかし、現実の系を理 想化および単純化したコンピュータ・シミュレー ションによる研究だけでは不完全である.

** 大学院工学研究科知能システム工学専攻

コンピュータ・シミュレーションによる研究には, モデル化を行う過程で本質的な部分が欠落する危険 性が常に存在する.群ロボットの研究において実機 のロボットを使用することは,ロボットの身体性を 含め,予想外の問題が生じる可能性があり,必要不 可欠である^[2].さて,群ロボットには,多数の小型 ロボットが用いられる.個々のロボットの性能は一 般的に高くはないが,相互作用し協調行動をとるこ とにより,単体のロボットでは達成困難な仕事がで きるという特徴がある.群ロボットの設計は自由度 が大きいため,かえって設計が困難になる.

蟻や蜂などの社会性昆虫(Social Insect)の行動を ヒントにして,群知能の設計を行うという研究がな されている^[3].例えば,蟻の群れの行動は,経路の 最適化問題などに応用されている(ACO(Ant Colony Optimization)^[4]).蟻は餌を見つけると,フェロモ ンを散布しながら巣へ帰り,仲間はそのフェロモン を辿ることで餌場へ向かう.多数の蟻が餌場と巣を 行き来することで,自己組織的に巣と餌場間の運搬 路の最適化が実現される.これは,自然界で観察さ れる自律分散システムの典型的な例である.

^{*} 株式会社 PFU

^{*} PFU LIMITED

^{**} Dept. of Human & Artificial Intelligent Systems

そこで、我々は社会性昆虫である「蟻」を手本と した小型ロボットを製作し、協調行動するロボット の研究を行っている^[5].ここでは、巣一餌場間の餌 運搬路形成と経路の最適化に焦点をあてて、実機を 使った群ロボットの実験における問題点を検証して いく.

さて、手本にした蟻の能力と小型ロボットの関係 をみていこう、蟻は、移動距離を歩測によって行う ことが知られている^[6]. 我々のロボットは、駆動部 にステッピングモータを使用しており、ステッピン グモータの回転角度を正確に知ることができる. つ まり我々のロボットも、歩測によって自己位置(移 動距離と方向)を同定することができる^[7]. また、 蟻は、餌場から巣に帰巣するときにフェロモンを散 布することにより、仲間の蟻に餌場の情報を伝達す る. 我々のロボットも水筆用紙、水、ライトセンサ を用いることによって擬似フェロモンを再現し、蟻 コロニーにおけるフェロモンと同様なフェロモンを 介した情報伝達を可能としている^[8].

蟻コロニーを手本とした群ロボットによる餌場運 搬経路実験を行ったときどのようなことがおこるの だろうか.ロボットが他のロボットや壁と衝突した とき,自己位置同定に誤差が生じる.自己位置同定 に誤差が生じると、巣の方向および距離に間違って いるため、餌場から正しく帰巣することが困難にな る.さらに、間違ったフェロモンのマーキングが発 生し、仲間のロボットは誤った場所に誘導されてし まうことになる.

自己位置同定の誤差や誤ったフェロモンルートを 辿ることで,誤った情報が伝達され,彷徨うロボッ トが発生する.本研究では,彷徨えるロボットにつ いてみていく.

2. 群ロボット

実験に使用した群ロボットを Fig. 1 に示す. ロ ボットは、高さ 166mm、直径 140mm の円筒形をし ており、重量はバッテリー搭載時で 850g である. ま た、判別用 LED を増設したときのロボットの高さは、 250mm である. ロボット後方には、水筆ペンを装着 し、水筆用紙に疑似フェロモンである水を散布する. 水筆ペンは、サーボモータにより制御され、必要時 以外は筆先を上げている. センサ部としては、タッ チセンサ、ライトセンサが挙げられる. タッチセン サは、車体前部に取り付けられており、壁などの障 害物を認識し、回避するために用いている. ロボッ トの底部に搭載されたライトセンサは、赤外線 LED と光変調型フォト IC により構成されており、水筆用 紙の色の違いを認識する.制御系統は4つのマイコ ンから成るマルチ CPU システムを採用している.メ イン CPU には、H8/3069F を使用し、マザーボード として秋月電子通商 H8/3069F-USB ホストボードを 用いている.このボードは、USB インターフェース を搭載しており、実験中のロボットの行動をログと して USB フラッシュメモリに記録することが可能 である.また、ロボットは擬似フェロモン場を介し たグローバルなコミュニケーションと、接触通信に よるローカルなコミュニケーションを用いて、ロ ボット同士の意思疎通を行っている.

群ロボットには、次のような特徴がある.1)ロボット1 台あたりの単価が安価であるため、多数のロボットを容易に製作できる.2)複数のロボットが協調行動を行い、複雑な仕事を達成することが可能である(創発性).3)数台のロボットが故障しても群ロボット全体の仕事には影響を与えない(頑健性).4) 用途を限定したロボットではないため、様々な作業 を行うことができる(柔軟性).



Fig.1 実験に使用した群ロボット.a)は正面の写真, b)は背面の写真,c)は底面の写真を示す.

3. 群ロボットの行動アルゴリズム

群ロボットによる巣─餌場間の運搬路形成は,大 きく分けて3つの段階で構成されている. 群ロボッ トによる採餌行動実験の模式図をFig.2に示す.こ こでは,実験に用いた3つの行動アルゴリズムにつ いてみていく.

- 探索フェーズ:巣から発進したロボットが、餌場を探す.
- 帰巣フェーズ:餌場に到達したロボットが、 フェロモンを散布しながら巣に帰る.
- フェロモントレースフェーズ:フェロモンを見 つけたロボットが、フェロモンを辿る.





3.1 探索

巣から出発したロボットは、餌場を見つけるまで 前後左右の4方向から後方を除いた3方向重みづけ ランダムウォークによる餌場探索を行う.1 ステッ プのロボットの移動距離は10cmとし、以下10cm移 動することを1ステップとする(正方格子上の移動 となる).後方を除く理由は、1 ステップ前の位置 に戻らないようにするためである.

探索する空間を探索済み領域と未探索領域にロ ボット内部で分類(Mapping)し、未探索領域を優 先的に探索することによって餌場発見の効率が良く なるようにする(ロボットの移動に誤差がない場合 は、格子点の探索となる).領域と格子についてみ ていく.220×220cmを11×11の121個の領域に分割 する(Fig.3).1つの領域は20×20cmであり、Fig.4 に示すように4つの格子で形成されている.

ロボットは,正方格子上を1ステップで1格子分 移動し,領域を通過した際に探索済み領域として記 録していく.過去に探索した領域を1,未探索の領 域を0としてロボット内部のマップ情報を更新して いく.ロボットは,Fig.5に示すように現在の領域の 正面および左右に存在する領域が探索済みか否かを 確認し,未探索領域の方向へ移動するのを優先する ような重み付けをしている.ここで,移動先として 選択する確率についてみていく.前述のように1つ の領域は4つの格子で形成されており,例としてFig. 6のようにロボットが移動した場合を考える.この とき領域Aにおいては,領域の1/4を探索したこと になり,ロボットは探索済みの領域と記録する.こ れは,領域における残りの3/4を見落とすことにな り,再度探索する必要がある.また,未探索の領域 を探索済みの領域で囲むようにマップ情報が形成さ れる場合,探索済みの領域に進む確率を0に設定す ることで領域Bに進むことができなくなってしまう. これらの問題を考慮して,未探索の領域を選択する 確率をFig.7のように設定している.

次に、ロボット間の相互作用(情報交換)につい てみていく. ロボットは、接触通信用ライン(1本 の通信ラインと GND から構成される)を他のロボッ トと同時に接触させることでお互いの情報を交換す る接触通信システムを備えている^[9]. 通信データは, 情報の正確性確認のための Start bit: 4bits, End bit: 4bits, 通信内容として, フェロモンの発見フラグ: 1bit, 餌場の発見フラグ: 1bit, 餌場の x 座標: 5bits, 餌場の y 座標: 5bits, マップ情報(領域:11×11):121bits で,スタートビットとエンドビットを含め 141bits で構成される.フェロモンの発見フラグは、接触し た相手ロボットがライントレース中か否かを判断す るために用いる. また, 餌場の発見フラグは, 接触 した相手ロボットが帰巣中か否かを判断するために 用いる. 交換したマップ情報は、内部マップと統合 し、3 方向重みづけランダムウォークに使用する. これは、お互いの探索済みの領域を教え合うことで 未探索領域を少なくし、探索の効率化を図るもので ある. また, 探索中のロボットは, 接触通信によっ て餌場の情報(餌場:x座標,y座標)を受け取った 後,餌場の座標に直線的に向かう.今回の実験では, 取得した餌場の座標よりもフェロモンを優先するた め、餌場の座標に到達するまでにフェロモンを発見 した場合は、そのフェロモンをトレースする、トレー ス中にフェロモンを見失った場合は、見失った場所 から,餌場の座標に直線的に向かう.



Fig. 3 220×220cmを11×11の領域に分割した模式図. 実験フィールドは,210×210cmである.各領 域の番号は,通信 bit の配列の添字に対応して





Fig.4 格子と領域の関係を表す模式図.1つの領域 は4つの格子で構成されている.座標は格子 に対応している.



Fig.5 ロボットが次に各方向に移動する確率を,領 域の重み付けで決定する模式図.ロボットは, 領域F,領域Lおよび領域Rが探索済みか否 かを確認し,未探索領域の方向を優先して,1 ステップで1格子分移動する.図中のnはス テップ数を示す.



Fig. 6 ロボットが内部マップで記録する領域を示 した模式図. a)は3方向重み付けランダム ウォークによる探索の例, b)は探索済み領域 のパターンを示す. 図中の×印は, ロボット が訪れていない格子を示す.



Fig. 7 3 方向重み付けランダムウォークの進行方向 として選択する確率. P₁は未探索領域の方向 を選択する確率, P₂は探索済み領域の方向を 選択する確率を示す. a)のとき P₁=1/3, b)のと き P₁=9/20, P₂=1/10, c)のとき P₁=4/5, P2=1/10, d)のとき P₂=1/3 である.

3.2 帰巣

餌場に到達したロボットは、巣の方向に直線的に フェロモンを散布しながら帰巣する.また、帰巣中 にフェロモンを見つけた場合は、フェロモンを散布 しながらトレースを行う.トレース中のロボットが フェロモンを見失った場合は、その位置座標から再 度巣の座標に直線的に帰巣する.巣に到達したかど うかはライトセンサの反応する個数によって判断す る.ここでは、ライトセンサが同時に6個以上反応 したとき巣と認識するようにする.内部マップに記 録している巣の座標まで進んでも巣が発見できな かった場合は、巣を見失った後の行動として四角状 螺旋行動を行う.四角状螺旋行動の模式図を Fig. 8 に示す.



Fig. 8 ロボットが帰巣中に巣を見失った後の四角 状螺旋行動の模式図. 点線は,巣の位置に向 かい前進する行動を示す.実線は,巣を見失っ た後の行動(四角状螺旋行動)を示す. 星印 は,ロボットが記録している巣の位置を示し, 実際の巣の位置は黒円を示す.

3.3 フェロモントレース

ロボットは、フェロモントレースと帰巣時に、 搭 載されている水筆ペンから擬似フェロモンを散布す る.実験フィールドの床には水筆用紙が敷かれてお り、水に濡れると色が青灰色から黒色に変化する. 変化した部分は、水の蒸発とともに元の青灰色に戻 るという特徴がある.この色の変化をロボットの底 部に搭載した8つのライトセンサで検出することで、 水をフェロモンとして使用することができる.この フェロモン場は、時間が経過するとラインが細くな り、消えていくことから蟻のフェロモンの蒸発を再 現している.また,視覚的にフェロモンを見ること が可能となり、フェロモン場が明瞭に観測できる. フェロモンルートはロボットの往復によって強化さ れ、水の蒸発によって細く・薄くなり、その後消滅 する.また、フェロモンは、ロボットの移動や衝突 等を要因として途切れることがある.

過去の情報を次の行動に反映させるトレースアル ゴリズムを用いることによって、消えてしまった フェロモンを補完し、フェロモンの途切れや、薄く・ 細くなった状況にも対応できるアルゴリズムが報告 されている^[10]. トレースアルゴリズムの模式図を Fig. 8に示す.ロボットが1ステップに進む移動距離は, 2cmとする. 図中のnは、ステップ数を示す. θ_n は、 ステップ数nにおけるθを示す. L_nは, ステップ数 nにおけるライトセンサの反応を表し、f(L_n)には、 256 パターンによってあらかじめ指定した角度での トレースに用いた関数を利用する. トレースアルゴ リズムの基本は、8つのライトセンサの中心のセン サが反応するようにθの角度を決定する. つまり, スムーズにトレースできている場合は, θは小さく なると考えられる. $g(\theta_{n-1}, \theta_{n-2})$ は、 $|\theta_{n-1} - \theta_{n-2}|$ の大き さによりロボットが移動した軌跡が滑らかかどうか を判断し、さらに $\theta_{n-1} \cdot \theta_{n-2}$ の値の正負により、曲が りすぎか,曲がりきれていないかを判断する. αの 値は 0.7 から 0.1 刻みで増加させた 1.3 までの値の 7 つの重みで、 θ_{n-1} ・ θ_{n-2} の値が正の値であった場合は、 ラインを曲がりきれていないので, αの値は1以上 の値となる. また, 負の値であった場合のαは, 1 以下の値となる. つまり α の値は $|\theta_{n-1} - \theta_{n-2}| \ge \theta_{n-1} \cdot \theta_{n-2}$ によって定める. $\theta_{n-1} \ge \theta_{n-2} \ge 1$ の関係を Table 2 に示す.また、トレース中にフェロモンを見失った 場合,その場で左右90度その場回転を行い,フェロ モンの有無を確認する.フェロモンが存在した場合 は、再びそのラインをトレースする.存在しない場 合は、停止するように設定している.



Fig. 9 過去の情報を次の行動に反映させるトレー スアルゴリズムの模式図^[10].

g(θ_{n-1}			
$\theta_{n\text{-}1} \times \theta_{n\text{-}2}$	0n-1 - 0n-2	α	
+	0~15	1	
+	16~30	1.1	
+	31~45	1.2	
+	46 ~	1.3	
—	0~15	1	
—	16~30	0.9	
—	31~45	0.8	
_	46~	0.7	

Table 2 Fig. 9 に示されたパラメータの表^[10].

 $\theta_{n-1} \ge \theta_{n-2} \ge 0$ の関係.

4. 群ロボットによる採餌行動実験

4.1 実験概要

実験は、5 台のロボットを用いる. ロボットは、 全台巣から出発し,初期方向を前方とする.各ロボッ トの出発時間は、全台を巣から同時に出発させるこ とはできないため, 30 秒の時間差をおいてスタート させる. 巣にロボットが存在していた場合, 十分な スペースが空き次第,次のロボットを発進させる. 各ロボットは,3章で述べたアルゴリズムに従い行 動する. ロボットは, 初期座標 (巣の座標) を (7,7) として与えられており,餌場の位置座標は入力され ていない. 実験フィールドの設定を Fig. 10 に示す. 実験フィールドには、2 か所の黒円があり、大きい 黒円(直径:20cm)を巣,小さい黒円(直径:15cm) を餌場に見立てている. 210×210cmの実験フィール ドは、高さ約 18cm の木製の壁に囲まれており、そ の内側の床に水筆用紙が敷かれている. ロボットは 物理的に壁の外に出ることができず壁の中を行動す る.また、実験フィールド上には実験の様子を観察 するために高さ約 2.5m の位置にビデオカメラを設 置している.



Fig. 10 実験フィールドの設定. 直径 20cm の黒円 を巣, 直径 15cm の黒円を餌場とする. ロボッ トの出発位置は巣とし, 初期方向は前方とす る.

4.2 実験結果

実験によって得られたパターンを3つ示す.

パターン1は、1台目がフェロモンを散布しなが ら帰巣した.しかしながら、帰巣中に2台目のロボッ トの水筆ペンにタッチセンサが反応し、ロボットが 後退した.このことにより、ロボット内部では、巣 の座標に到達した時点で帰巣が完了していなかった. そこで、巣を見失った後の行動として四角状螺旋行 動を行った.しかし、散布されたフェロモンが重な ることで、黒色の範囲が広くなりフェロモンを巣と 誤認識し停止した.4台目は、探索中にフェロモン を発見し、辿ることでフェロモンルートを強化しな がら、餌場を発見した(Fig.11).しかし、帰巣する 際に動作不良が生じ、その場足踏みのような動作を 行った.ロボット内部では、巣の座標に到達した時 点で餌場から移動しておらず、餌場を巣と誤認識し 停止した(Fig.12).

パターン2は、3台目がフェロモンを散布しなが ら帰巣し、巣を見失ったが四角状螺旋行動を行うこ とで巣に到達した.3台目が帰巣を開始した時点で、 1台目のライトセンサに誤作動が生じ、フェロモン が散布されていない場所でフェロモントレースを 行った(Fig.13).この誤作動により散布されたフェ ロモンを4台目がトレースしたことにより、フェロ モントレースを続け、行動が制限された(Fig.14). 2台目は、3台目が散布したフェロモンを発見するこ とができず、フェロモンは蒸発した.4台目は、3 台目が帰巣中に不具合により餌場付近で動作停止し た.



Fig. 11 散布されたフェロモンをトレースするロ ボット. robot A は,フェロモンを辿ること によって運搬路を強化しながら餌場に向 かっている. robot B は,四角状螺旋行動を 行っている.



Fig. 12 散布されたフェロモンを巣と誤認識し,停止したロボット.robotAは、散布されたフェロモンを辿ることで餌場に到達した.robotBは、散布されたフェロモンを巣と誤認識し停止した.

パターン3は、1台目がフェロモンを散布しなが ら巣の方向に帰巣した.しかし、帰巣中に発進開始 した5台目のロボットの水筆ペンにタッチセンサが 反応し、ロボットが後退した.帰巣する方向は正し かったが、前進距離が不十分であった.そこで、巣 の座標に到達した際に、四角状螺旋行動を行った. ここで、3台目のロボットに着目すると、ランダム ウォークにより餌場に到達し、帰巣を開始した.四 角状螺旋行動中の1台目のロボットと帰巣中に接触 したことにより、3台目のロボットと帰巣中に接触 したことにより、3台目のロボットの方向に大きな 調りが生じた(Fig.15).帰巣する方向に大きなずれ が生じたが、四角状螺旋行動により帰巣することに 成功した.5台目は、3台目が散布したフェロモンを トレースした(Fig.16).フェロモンを辿ったが餌場



Fig. 13 誤ったフェロモンを散布するロボット. robot A は,四角状螺旋行動を行うことで 巣に到達した.robot B は,フェロモンが散 布されていない場所でフェロモントレース を行った.



Fig. 14 誤ったフェロモンを辿ることで道に迷った ロボット. robot A は,不具合により餌場 付近で動作停止した. robot B は,誤った フェロモンを辿ることで行動が制限された.

に到達する事ができず、フェロモンを見失った.

5. 議論

蟻を模した群ロボットを用いて,採餌行動実験を 行った.採餌行動を含めた巣―餌場間の運搬路形成 過程において,個々のロボットが自己位置同定に失 敗することが大きな問題であることが再確認された. 自己位置同定の失敗が彷徨えるロボットを生み出さ れることになる.

では、なぜロボットは、自己位置同定に失敗する のだろうか?我々のロボットは、ステッピングモー タによって駆動されており、ロボットが単独でかつ 外界からの影響を受けずに行動する場合、歩測に



Fig. 15 帰巣中に方向に大きな誤りが生じたロボット. robot A は,他のロボットと接触することで誤った自己位置同定を行った. robot B は,四角状螺旋行動を行うことで巣に到達した.



Fig. 16 四角状螺旋行動によって散布されたフェロ モン (誤ったフェロモン)をトレースする ロボット. robot A は, 巣に到達した. robot B は, フェロモントレースを辿ることで運 搬路を強化した.

よって高い自己位置同定能力(その場10回転:±1.1 度/回転,1mの距離の往復運動:進行方向2.1mm/往 復,左右2.5mm/往復)を実現している.しかしなが ら,実験でも示されたように、ロボットが壁や他の ロボットと接触することによって、ロボットの自己 位置同定に大きな誤差が生じる.このように、複数 のロボットが協調行動をとりながら作業する群ロ ボットにおいては、ステッピングモータの回転角度 に基づいたロボットの歩測による自己位置同定は、 重大な問題点を抱えていることが示された.

さて,蟻を模してロボットを考えた場合,蟻は歩 測による自己位置同定とともに,フェロモンを散布 することによって,巣―餌場間の運搬路情報を仲間
	歩測	フェロモンルート
自己位置同定	高い精度	不用
衝突(外乱)	弱い	影響なし
誤った情報の修正	接触通信などによる補正	蒸発によるリセット
情報の保持力	長い	短い
誤ったデータのコロニーのロボットへの影響	限定的	広範囲

Table 3 歩測とフェロモンルートが生み出す彷徨えるロボット.

の蟻に伝えている.フェロモンによる巣―餌場間の 運搬路の情報伝達は、一旦、フェロモンによる巣-餌場間の運搬路が形成されてしまえば、蟻は自己位 置同定をすることなしに,餌を巣まで運ぶことがで きるようになる.しかしながら、実験で示されたよ うに,フェロモンルートが確立されるまでは,ロボッ ト(蟻)は自己位置同定をする必要がある.餌をみ つけたロボットが巣までフェロモンを散布しながら 帰巣する場合、巣の方向や距離を知っていいなけれ ばならない. 我々は、巣の方向や距離の情報に多少 の誤差があり巣を発見できなくても、巣の近くにき たとき螺旋タイプの巣探索を行うことによって巣を 発見できることを示した(Fig. 16参照). しかしな がら,これはロボットによって誤ったフェロモン(間 違った情報)がフィールド上に散布されことを意味 する. それのため, 他のロボットはそれらを辿るこ とで道に迷ってしまう. これは、フェロモンルート ることを意味している.

しかしながら、フェロモンルートによる巣―餌場 間運搬経路の情報共有には、時間が経つとリセット されるという特質がある.フェロモンの特性の一つ として、揮発性があげられる.フェロモンは、時間 が経過するとともに蒸発し消滅するため、誤った フェロモンルートはフィールド上に蓄積されない. この特性は、ロボットの自己位置同定の能力とフェ ロモンルート形成をうまく組み合わせることにより、 非常に効率的な巣―餌場間の運搬路形成が行えるこ とを示唆する.

さらに我々のロボットには、接触したときに情報 交換が行える接触通信機能を有しており、餌場や巣 の位置および現在いる場所の位置情報を交換できる. フェロモンルートは正しく形成されると自己位置同 定の必要もなく、外乱に強いという特徴がある.し かし、情報の保持力は短く、消えてしまう.また、 誤った情報が広範囲で伝達されてしまうというデメ リットが存在する. Table 3 に、これらの機能の特徴 をまとめたものを示す.

彷徨えるロボットが生まれる原因についてみてき

た.彷徨えるロボットは,新たな未知の餌場を発見 できる可能性を有しており,デメリットばかりでな く、メリットも存在する.しかし,効率的な巣―餌 場間での餌の運搬を考えた場合,デメリットが大き く,彷徨えるロボットをどうするかは重要な課題で ある.

謝辞

本研究を行う上で,福井大学大学院工学研究科知 能システム工学専攻非線形科学研究室の方々には, 実験および議論において大変お世話になりました. 心から感謝致します.

参考文献

- [1] E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz: Swarm Intelligence, Oxford Univ.Press, New York (1999).
- [2] F. Mondada, M.Gambardella, D. Flireano, S. Nolfi, J-L Deneubourg, M. DorigoL: IEEE Robotics & Automation Magazine, <u>12</u>-2, 21(2005).
- [3] 川村秀憲:生命複雑系からの計算パラダイム, 森北出版, pp.1-81(2003).
- [4] M. Dorigo and T. Stutlze: Ant Colony Optimization, The MIT Press, Cambridge (2004).
- [5] 首藤尚亮,平田隆幸:形の科学会誌,<u>20</u>-2, pp.222-223 (2005).
- [6] M. Wittlinger, R. Wehner, H. Wolf: Science, <u>312</u>, 1965 (2006).
- [7] 大場公隆, 松浦了麻, 平田隆幸: 形の科学会誌, <u>23</u>-2, pp.185-186(2008).
- [8] Naokatsu SHUTO, Takayuki HIRATA: AMiRE2005 Proceeding of the 3rd International Symposium on Autonomous Minirobots for Research and Edutainment, pp.307-313 (2005).
- [9] 平田隆幸, 川地秀平: 福井大工報, 55, 61 (2007).
- [10] 波田邦彦:福井大学大学院工学研究科知能シス テム工学専攻修士論文 (2012).

日本留学に関する基礎的研究 -タイ地方部における日本語教育と留学の現状を踏まえて-

松浦 康之* 小森 雄太** 高田 宗樹***

A Consideration of Studying in Japan Based on the Current State of Japanese-Language Education —A study on Contemporary Japanese-Language Education in the Southern Region of Thailand—

Yasuyuki MATSUURA*, Yuta KOMORI**, and Hiroki TAKADA***

(Received February 5, 2016)

In recent years, the number of Japanese-language students is increasing. The number of foreign students accepted into Japan is correspondingly increasing as well, while worldwide competition for international student enrolment has intensified between countries. On the other hand, problems that are related to studying in Japan remain unresolved. Japanese higher education institutions, and relevant ministries and agencies need to discuss how to address the prevalent issues and the new challenges of studying in Japan. International students need to have accessible information on Japan, its education system and enrolment-related procedures including the policies, laws and regulations.

Key Words: International Students, Japanese-Language Education, Foreign Students, Higher Education, Thailand

1. 緒 言

近年,大学のグローバル化が進められており, 「留学生30万人計画」や日本人学生の海外留学の 促進などが行われている.留学生30万人計画は, 平成20(2008)年1月,第169回国会における福田 康夫内閣総理大臣(当時)による施政方針演説の 中で,「日本を世界に開かれた国とし,人の流れを 拡大していくために重要である」と打ち出したこ

- *プリンス・オブ・ソンクラー大学人文社会科 学部
- ** 明治大学政治制度研究センター
- *** 大学院工学研究科知能システム工学専攻
- * Faculty of Humanities and Social Sciences, Prince of Songkla University
- ** Center for Advanced Research on Political Institutions, Meiji University
- *** Human and Artificial Intelligent Systems Course, Graduate School of Engineering

とに始まる. その後, 平成 20 (2008)年7月29日 に, 文部科学省, 外務省, 法務省, 厚生労働省, 経済産業省, 国土交通省の6省によって, 留学生 30万人計画が策定された^[1].

留学生 30 万人計画とは、「日本を世界により開 かれた国とし、アジア、世界の間のヒト・モノ・ カネ、情報の流れを拡大する「グローバル戦略」 を展開する一環として、平成 32 (2020)年を目途に 30 万人の留学生受入れを目指す.その際、高度人 材受入れとも連携させながら、国・地域・分野な どに留意しつつ、優秀な留学生を戦略的に獲得し ていく.また、引き続き、アジアをはじめとした 諸外国に対する知的国際貢献等を果たすことにも 努めていく」ものである^[1].

戦後の日本における留学に関する政策は,昭和 27 (1952)年のインドネシア政府派遣の留学生の受 け入れに始まる.昭和 29 (1954)年に国費外国人留 学制度を発足させた^[2].昭和 52 (1977)年,福田赳 夫内閣総理大臣(当時)は,東南アジア外交三原 則(福田ドクトリン,マニラ・スピーチ)を表明 する.福田ドクトリンは,昭和49(1974)年の田中 角栄内閣総理大臣(当時)がインドネシア訪問の 際,ジャカルタでの反日暴動などといった激しい 反日運動に遭遇したことを教訓として打ち出した 政策である.また,昭和49(1974)年には,福田赳 夫大蔵大臣(当時)の呼びかけで始まった外務省 招聘事業「東南アジア元日本留学者の集い」が行 われた.これらを契機として,ASEAN 各国の元 日本留学者会同士の交流,東南アジア各国同窓会 の連絡組織として,昭和52(1977)年にASCOJA (ASEAN Council of Japan Alumni, ASEAN 元日本留 学生評議会)が設立された.

その後,中曽根康弘内閣総理大臣(当時)の指示により設けられた「二十一世紀への留学生政策 懇談会」が昭和58 (1983)年8月に提出した報告書 「二十一世紀への留学生政策に関する提言」を取 りまとめた^[3].昭和58 (1983)年5月1日現在の日本の留学生受け入れ数は,10,428人であったが^[4], この提言の中で,21世紀初頭において提言当時の フランス並みの留学生数(約10万人)を受け入れ るため,留学生政策を総合的に推進するよう内閣 総理大臣及び文部大臣に提言している.

文部省(当時)はこの提言を受け,具体的なガ イドラインの策定を有識者に委嘱し,昭和 59 (1984)年6月に,報告書「二十一世紀への留学生 政策の展開について」を作成し^[5],21世紀へ向け た留学生政策の長期的指針を取りまとめ,「留学生 受入れ10万人計画(留学生10万人計画)」が実施 された.そして,平成15(2003)年に受け入れ留学 生数は109,508人となり^[4],目標となる10万人を 達成した.しかし,フランスの2013年の留学生受 け入れ数は,288,544人^[6]である.日本の平成25 (2013)年5月1日現在の留学生受け入れ数は, 133,519人であることを踏まえると^[4],その格差は 未だ大きいと言わざるを得ない.

また、日本語教育も「留学生受入れ10万人計画」 によって、大きな変化が起きた.「留学生受入れ 10万人計画」は、関連施策として日本語教師の養 成、国内の日本語教育体制の整備と充実を求めた. これにより、日本語教育機関が都市部を中心に、 世界各地に設立され、民間の日本語学校も急増し た^[7].また、同時期、就学生となるために必要な 就学ビザの取得手続きの簡素化措置の実施^[8](留 学生への簡素化措置は実施済^[9])、留学生や就学生 のアルバイトの解禁が行われた^{[10][11]}.しかし、こ れらの措置に伴い、不法就労や偽装入学といった 問題も生じた^{[7][12]}.受け入れ態勢の整備の前に、 受け入れ数が増加したために起こり、様々な混乱 が起きた.これらの問題をきっかけに、日本語教 育機関の質的是正が求められ、文部省の諮問機関 である「日本語学校の標準基準に関する調査研究 協力者会議」の設置や「日本語教育施設の運営に 関する基準」の制定、「日本語教育振興協会」の発 足などが行われた^[12].これによって、日本語教育 機関の適格性や査証発給の厳格化などが行われた.

「留学生受け入れ 10 万人計画」の中間年である 平成4(1992)年に,文部省の有識者会議が「21世 紀を展望した留学生交流の総合的推進について」 を取りまとめた^[13].この報告の中において,想定 より早く留学生受け入れが進み,受け入れ体制の 整備が追いついていないことから,後期期間にお いては,留学生のニーズの多様化への対応や留学 生受け入れの基盤整備に重点を置くことが重要で あるとした^[13].

ここで、世界に目を向けると、近年、留学生の 流動は世界的に活発になっている.グローバル化 の影響によって、1990年は130万人だった留学 生数は、2000年には210万人、2009年には370万 人と20年で約3倍になった^[14].一方、日本への 留学生数が世界の留学生数に占める割合は、3.5% 前後でこの20年で殆ど変化がない.これは、世界 各国の優秀な人材を受け入れるための体制整備を 日本国内で推進すべき環境が変化していないとい うことを示している.

留学生の受け入れは、日本と諸外国との友好親 善や対日理解の促進、教育研究における国際的な 協力関係の構築、相互理解の促進、開発途上国に 対する国際貢献といった意義があるとされてきた. さらに近年では、海外からの高度人材の獲得、日 本の高等教育機関の国際化、地域・企業の活性化、 国際競争力向上といった意義も重視されるように なっている.

現在の留学生受け入れ政策は、上記の「留学生 30万人計画」骨子に基づいて進められているが、 同計画においては、優秀な留学生の戦略的な獲得、 日本語教育拠点の増加、留学生の卒業・終了後の 社会の受け入れ促進に向けた取り組みが明記され ている.また、平成22(2010)年6月に閣議決定さ れた「新成長戦略」においても、「質の高い外国人 学生の受け入れを30万人することを目指す」こと が盛り込まれ、留学生の積極的な受け入れは、国 家的な目標となっている.これは、留学生30万人 計画が日本のグローバル化、特に日本企業のグロ ーバル戦略と融合させることを念頭に置いている ものである.さらに、留学生の獲得競争は先進国 のみならず, ASEAN 諸国にも広がっている.特に, ASEAN は昨年(平成 27 (2015)年) 12月 31 日に,

「ASEAN 経済共同体設立に関する首脳宣言(ク アラルンプール宣言)」に基づき,ASEAN 経済共 同体(AEC,ASEAN Economic Community)を発足 させた.今後,AEC 内の更なる人的交流が活発に なることが予想される.AEC 構成国の中でも,タ イは地政学的にも AEC のハブであり,かつインフ ラ整備も整っているため,日系企業の進出も多く, 政治的・経済的つながりも強い.また,ベトナム やカンボジア,ミャンマーなど周辺国の発展に伴 い,地域の中心部に位置するタイのバンコクは AEC のハブとしての地位を高めている.

一方で,近年,日本の大学とタイの大学との連携は急激に増加しており,留学生の受け入れなど といった国際交流を実施する上での具体的な課題 に関する早急な検討が求められている.また,タ イは日本以上の速度で,少子高齢化が進んでいる. 都市部(バンコク)では,合計特殊出生率が 0.8 未満と,日本の約1.4よりも低い.少子高齢化は, タイに限らず,AEC諸国全体で起きつつある.そ のため,今後,タイを始めとするAEC諸国の留学 生獲得のより熾烈な競争が起こりうる.

本論文では、タイやタイ地方部などにおける日 本語教育と留学事情の現状を踏まえ、今後の留学 生獲得について考察を述べる.

2. タイにおける日本語教育の現状

平成 24 (2012)年現在,日本語教育機関調査によると,全世界における日本語学習者数は約 399 万人,タイにおける日本語学習者数は約 13 万人である^[15].平成 21 (2009)年の調査では,全世界における日本語学習者数は約 365 万人,タイにおける日本語学習者数は約 7 万 9 千人であった^[15].平成 28 (2016)年末には,平成 27 (2015)年の調査結果が発表される予定であるが,日本語学習者数は漸増するものと予想される.

前述の様に、タイの日本語学習者は 129,616 人 であるが^[16]、内訳を見ると、初等教育 1,552 人、 中等教育 88,325 人、高等教育 19,908 人、学校教育 以外 19,831 人である^[16].これを見ると、日本語学 習者の約 3 分の 2 が中等教育機関であることが分 かる.その一方、高等教育機関での日本語学習者 は、中等教育機関の学習者と比べると、4 分の 1 程度しかいない.また、高等教育機関の日本語学 習者の中には中等教育機関で日本語を学習してい ない学生もいるため、中等教育機関で日本語を学習 した学生の多くが高等教育機関で日本語を学習 していないことにも留意する必要がある.

これは中等教育段階においては全ての学習者が 日本語を積極的に選択しているわけではなく,第 2 外国語の学習が必須のため,消去法的に選択す るケースもあるためである.また,最近の傾向と して,高等教育機関で日本語を主専攻とする学習 者数は殆ど変化が見られないが,副専攻(選択科 目)として日本語を選択する学習者数は減少傾向 にある.

しかし、日本語を選択できる中等教育機関(高 等学校)は増加傾向にある.例えば,タイ深南部 にあるプリンス・オブ・ソンクラー大学教育学部 付属高等学校(Demonstration School, Faculty of Education, Prince of Songkla University (通称: PSU Satit))においても、平成 25 (2013)年6月から日本 語教育が開始されている. PSU Satit は、タイ国内 に 11 校あるサイエンススクール (Science School) に指定されており, O-NET (Ordinary National Educational Test, 全国統一試験)の総合成績におい ても,タイ国内で上位10位以内に入るなどの優秀 な成績を収めている.また、プリンス・オブ・ソ ンクラー大学理工学部での特別講義・実験や、特 別カリキュラムの実施,海外の大学見学(国際交 流)などを実施し,高大連携教育も推進している. 特に国際交流においては、タイ人の訪日ビザの免 除(平成 25 (2013)年7月1日開始, 15日以内の観 光に限りビザ免除)や学生の強い希望もあり,訪 日ビザ免除以降は,毎年,日本の大学や科学教育 施設、企業への訪問を行うなど、日本への関心は 強い.

しかし,今後の AEC での更なる展開に向けて, タイでも英語教育に力を入れている.また,留学 先として希望者が多いのは,アメリカ,イギリス, そして,中国である.そのため,日本語の普及を 今後どの様に進めていくかが課題である.

タイには、PSU Satitの様な進学校が地方部にも 幾つか存在し、海外の大学への進学希望者が一定 割合存在する.その中には、日本の大学への進学 希望者も一定割合存在し、かつ日本語未学習者も いる.また、日本政府の東南アジア政策の一環と して、未来を担うアジアと日本の青少年が科学技 術の分野で交流を深めることを目的とした日本・ アジア青少年サイエンス交流事業「さくらサイエ ンスプラン」が平成26(2014)年4月から、ASEAN 諸国の日本語教育の支援を目的とした「日本語パ ートナーズ派遣事業」が平成26(2014)年9月から 始まり、今後、日本訪問者数・日本語学習者の増 加に伴う日本の大学・大学院進学希望者の増加が 見込まれる.

しかし,地方部において,日本の大学の情報に 接する機会は少なく,タイにおいても,地方部で も積極的な PR 活動を行っている立命館アジア太 平洋大学(以下,APU)の知名度が高いものの, 他の日本の大学の知名度が低い状況になっている. しかし,APUで学習できる内容は,日本文化や多 文化理解,国際開発,ビジネスなどの分野に限ら れ,日本の大学進学者のニーズ,特に理工系分野, 医学分野への進学希望者のニーズを十分に汲み取 れていないのが現状である.

3. タイの高等教育の現状と課題

1990 年代以降,進学率や大学数の増加に伴い, タイの大学は,エリート型からマス型へと移行した.タイの経済における所謂中流層の増加に伴い, 現在は高等学校卒業者の約 70%が大学への進学 を希望し,高等教育の総学生数は 200 万人を越え ている.その反面,急激な大学・学生数の上昇に より,入学者の学力の低下や高等教育の質の低下 が懸念されている.

近年, AEC 構成国は, 構成国各国内の高等教育 機関を巻き込みながら、積極的な高等教育の国際 化を国家戦略として進めている. AEC 構成国各国 においては,各国の高等教育の特徴や制度的・文 化的背景を踏まえ、それぞれの国で多様な高等教 育質保証システムが成立している.しかし,AEC 発足を受けて, 高等教育における交流や, 相互発 展を目指した活動が活発化している. 例えば, AEC 諸国による学生交流支援事業である AIMS (ASEAN International Mobility for Students)プログ ラムや、ASEAN 質保証ネットワーク(AQAN, ASEAN Quality Assurance Network)を中心とした AEC 構成国共通の質保証フレームワーク構築に 向けた動きだけでなく、教育・研究の世界的拠点 化,大学間交流協定,コンソーシアム形成,共同 学位プログラムなど多種多様な国際化が展開され ている.

さらに、平成 26 (2014)年 8 月より、AEC 相互の 留学を容易にするために、高等教育機関の学期開 始時期が統一され、これまで5月-9月が1学期、 11月-3月が2学期だったものが、8月-12月が 1学期、1月-5月が2学期に変更された.一方、 中等教育以下の学期は、従前通り、5月-9月が1 学期、11月-3月が2学期となっている.しかし、 予算年度は中等教育以下の教育機関のみならず、 高等教育機関であっても、従前通り、10月-9月 となっている.この学期のずれにより、数か月~1 年程度の短期留学の場合,留学前後の学期移行に 障害が生じている.

また、タイの大学の多くは、留学時に取得した 単位の単位互換を認めていない.そのため、4 年 間で大学卒業を希望する学生にとっては、タイで の大学の授業、または日本留学中の授業、あるい はその両方の授業の一部の履修が出来ない状態に なっており、早急な改善が望まれている.

4. 日本留学の現状と課題

4.1 日本の留学生の現状

この様な AEC の動きに対し,日本も ASEAN 発 足当初から,AEC と緊密な関係を維持し,近年で は,安倍ドクトリン(対 AESAN 外交 5 原則)が 発表されるなど,AEC を重視している.ちなみに, 日本に留学する留学生の約 20%は,AEC 構成国か らの留学生である^[15](中国・韓国からの留学生が 約 60%).

また、日本学生支援機構「平成26年度外国人留 学生在籍状況調査結果」によると、平成26(2014) 年5月1日現在の日本の留学生数は184,155名 である.ここで、大学(学部)と大学院における 留学生数をみる.()内の数字は、留学生総数に対 する割合である.大学(学部)では、総数65,865 人(100%)、国立大学10,844人(15.5%)、公立大学 1,755人(2.7%)、私立大学53,266人(80.9%)、大学 院では、総数39,979人(100%)、国立大学24,646 人(61.6%)、公立大学1,743人(4.4%)、私立大学 13,590人(34.0%)である^[15].

平成26(2014)年5月1日現在,日本の大学(学 部) 数および学生数は,総数 781 校 2,552,022 人, 国立大学 86 校(内, 4 校は大学院大学) 447,338 人, 公立大学 92 校(内, 2 校は大学院大学) 128,878 人,私立大学 603 校(内, 18 校は大学院大学) 1,975,806 人である[17]. 大学院は, 総数 627 校 251,013 人, 国立大学 86 校 150,336 人, 公立大学 78 校 16,071 人, 私立大学 463 校 84,606 人である. 1 校当たりの留学生数を見ると、大学(学部)で は,総数 87.0人,国立大学 132.2人,公立大学 19.5 人, 私立大学 91.1 人, 大学院では, 総数 63.8 人, 国立大学 286.6 人, 公立大学 22.3 人, 私立大学 29.4 人である[17]. 留学生は大学(学部),大学院共に, 国立大学に多く在籍する割合が多く, 留学生が全 学生数に占める割合は、学部の約2.6%に対し、大 学院が約16%と大幅に高くなっている.

平成 19 (2007)年5月,第165 回国会における安 倍晋三内閣総理大臣の所信表明演説を受け,「アジ ア・ゲートウェイ構想」が策定された.平成19 (2007)年5月,報告書「アジア・ゲートウェイ構 想」がまとめられ,「アジア・ゲートウェイ構想と して特に推進すべき政策分野」である重点7分野 の1つとして,「国際人材受入・育成戦略」を掲げ た.

また、同報告書においては、「アジア・ゲートウ ェイ構想の実現に向けて取り組むべき最重要項 目」の1つとして、「アジア高度人材ネットワーク のハブを目指した留学生政策の再構築」が掲げた. この中で、留学生交流の拡大を国家的戦略課題と して再認識すべきであるとした上で、「新たな留学 生政策策定に向けた基本方針」として、①留学生 のキャリアパスを見据えた産学官連携による就業 支援、②海外での留学生獲得・支援を行う現地機 能の強化、③日本語教育の海外拠点の飛躍的増大、 ④日本文化の魅力を活かした留学生獲得、⑥短期 留学生の受け入れ促進などを挙げている^[18].

4.2 アジア人財資金構想プログラムの概要

アジアの相互理解と経済連携の促進を目的とし て,経済産業省と文部科学省が平成19(2007)~ 平成24(2013)年に「アジア人財資金構想プログラ ム」を実施した^{[19][20]}.このプログラムにおいては, 日本に留学する予定あるいは既に日本に留学して いる留学生の中から,日本・日系企業への就職の 意思を持つものを選抜し,留学予定者に対しては 奨学金と人材育成プログラムの提供,留学中の留 学生に対しては人材育成プログラムの提供を行う ものである^[20].

アジア人財資金構想プログラムは,事業期間終 了後に「「アジア人財資金構想」事業結果まとめ」 を取りまとめているが,その中では以下の課題(① 大学における課題,②企業における課題,③留学 生の課題)が指摘されている^[20].

①大学における課題:全学的な取組みや複数大 学での連携による留学生支援が求められる.

・高度専門留学生育成事業では、プロジェクト資金終了後の自立化の状況を見てみると、アジア人財専門部署を全学的な取組に取り込めなかった場合は、資金的にプロジェクトの継続が困難となっているケースがある。

・高度実践留学生育成事業では、地域において、
 自立化を見据えた適切な関係者の巻き込みに成功していないコンソーシアムは、プロジェクト資金が途絶えるとコンソーシアムの活動も縮小せざるを得なくなっているケースがある。

・大学における留学生の就職支援については,支援する留学生数が少ない大学では,留学生向けに

財源・人材を投入することが難しい.

②企業における課題:中堅・中小企業と留学生 が互いを知る機会や就職後の定着支援が求められ る

・留学生のキャリアパスをうまく示せていないという声があり、採用された留学生のキャリアパスの認識とギャップが生じるケースが多く想定される.

・中小企業の留学生採用が進む中で、企業側の受け入れ準備が整っていない中での採用が見られ、 入社後にそれに起因するトラブルによって退社する学生も一定数存在.

・留学生と企業が互いを知る機会が少なく,特に 中堅・中小企業については,留学生が普段知る機 会がなく,マッチングに課題があると考えられる.

③留学生の課題:留学生を中心とする OB・OG, 日本人学生も巻き込んだコミュニティ形成への働 きかけが求められる

・留学生は、各種コミュニティに参加する環境が 少なく、日本企業・日本ビジネスに対する情報不 足に陥っているケースも多い.このため、特に支 援がない場合、日本の企業文化や就職活動を理解 できず、その結果、使える大学の情報があっても うまく使えず、最終的には卒業後に帰国すること となる傾向がある.

・留学生と日本人学生の交流が不足しており,留 学生のネットワーク形成を阻害しているとともに, 日本人学生の「内なる国際化」に活かされていない.

4.3 タイにおける留学の現状と課題

タイの留学の現状を見ると、ユネスコ統計によ れば、2012年のタイからの海外留学生は、26,233 人である^[21].タイからの留学生の留学先上位5か 国は、以下の通りである.なお、()内は、留学生 数と留学生全体に占める割合である.①アメリカ (8,455人、32.2%)、②イギリス(5,348人、20.4%)、 ③オーストラリア(4,229人、16.1%)、④日本(2,419 人、9.2%)、⑤マレーシア(1,301人、5.0%)であっ た^[21].なお、この統計には、タイから中国の留学 生が示されていないが、タイから中国の留学生は、約 14,000人とされている.上記のユネスコ統計に 中国への留学生を含めた数字を加えても、英語圈 に留学するタイ人留学生は約半数に達し、日本に 留学するタイ人留学生は約6%である.

タイからの日本留学の一例として,タイ政府が 実施している日本を対象として,タイ人学生を東 京学芸大学附属高等学校から大学卒業まで留学す る制度(国費留学生制度,長期海外派遣プログラム)が挙げられる.この制度は,昭和 50 (1975)年 に受け入れが開始され,40年以上の歴史を誇るも のである.しかし,タイ政府の国費留学生制度は 留学期間の倍の期間の公務員勤務の義務や欧米へ の留学希望者が増えつつあることなどから,近年, 留学希望者数が低迷している.

また,数年前までは,地方部から日本へ留学を することが困難であった.しかし,最低賃金の底 上げ,中間層の増加などに伴い,日本留学を希望 する生徒・学生は増えつつあるものの,日本の大 学や奨学金の情報はバンコクに集中しており,地 方部では日本留学に関する情報が少ないのが現状 である.そのため,日本の大学に進学を希望する ものの,情報がない不安から行動に移せない場合 も多い.

これらの課題に関連して、PSUの大学生や PSU Satit の高校生に、留学希望について質問すると、 まずは奨学金と日本語能力を気にする意見が多い. また、日本に留学したいと言う希望を持っていて も、日本での生活費への不安、情報の少なさ、語 学習得の難しさを抱えており、限定的な情報に左 右されやすい傾向がある.そのため、継続的な情 報提供、奨学金情報を提供することが重要である. 特に、国費留学以外の奨学金に関する情報を殆ど 知らない.また、留学関係の情報を得たとしても、 日本語による情報しかないため、高校生や大学生 が有している日本語能力だけでは、内容を理解で きない.そのため、日本語のみならず、英語、可 能であればタイ語での情報提供も急務であると考 えられる.

従って、これまでは都市部への情報提供が主流 であったが、地方部への情報提供も重要である. また、生活費の高さなどもネックになっているこ とも踏まえ、今後、地方部において、日本の大学 や奨学金制度について、積極的な PR 活動に取り 組み、日本の大学進学希望者の確保や、理工系分 野の人材発掘、潜在的需要の発掘を推進すること が求められている.特に、情報化社会になった現 在においても、学校や大学の教員からの情報提供 が大きな影響力を持っており、教員からの情報提 供によって、日本留学あるいは、日本留学に向け た行動を起こすケースもいくつかある.そのため、 各大学や高校の教員に情報提供することが求めら れている.

4.4 日本留学の現状と課題

近年,海外留学者数の減少やグローバル化の推 進に伴い,日本人学生の海外派遣が重視される傾 向にあるが,留学生の受け入れも依然として重要 な役割を有している.

日本の大学では,異なる国籍と一緒に学んだり, 議論したり,文化の違いに触れる経験が不足して おり,一部の学生に対してのみ国際化教育を提供 するだけではなく,留学生を受け入れ,共に学ぶ ことが必要である.海外留学をしない多くの日本 人にとって,大学で留学生と机を並べ,共に学ぶ ことを通じて,国際的な感覚を身につけられるこ との意味は大きい.しかし,留学生と日本人学生 の交流が不足していている^[20].例えば,留学生が 多く在籍する大学においても,また日本人と留学 生が同じ授業を取っていたとしても,クラブやサ ークルなどの課外活動に参加しない限り,日本人 学生と留学生が知り合う機会は殆どないのが現状 である^[22].

これに関連し、タイから日本へ留学した学生に 日本留学に関する質問を投げかけたところ、日本 の大学では、留学生と日本人の交流が少ないとい う意見が多く寄せられた.交流不足の一つの要因 として、留学生は留学生用の日本語履修科目を受 講することが多く、留学生同士のネットワークは 醸成されるものの、日本人学生との交流が皆無に なるということが挙げられる.これは日本語や日 本文化を学びに来ている留学生が日本人と交流す る機会を低減し得るものであり、大きな問題であ ると言わざるを得ないと考えられる.

また,受け入れ先の大学においては,留学関連 業務を所管する部局と国際交流関連業務を所管す る部局との連携が十分に機能しておらず,生活指 導や授業履修に関する手続等といった留学生への 対応がいわゆる「たらい回し」にされたという事 例も散見されている.これらの課題は,留学生自 身の不利益に止まらず,日本人学生や受け入れ先 となる大学にとっても,長期的には大きな問題に なる可能性がある.そのため,留学生の受け入れ 人数を効果的に増加させるために,留学生を受け 入れるための全学的な体制を早急に整備すること が各大学に求められていると考えられる.

加えて、日本の大学における複雑かつ不便な入 試制度や日本語学校経由の私費留学生の受け入れ 体制も留学生の増加を阻む要因の1つである.現 在,独立行政法人日本学生支援機構が実施してい る日本留学試験に留学生が合格したとしても、実 際に留学する際には、各大学が独自に実施する入

試を受験することが必須となっている. これにつ いて、「留学生の入学選考の改善方策について」の 「1.(2).i) 各大学等における入学選考の改善」に おいても,「我が国の大学は,一般に入学の段階で の選考は厳しく、いったん入学を許可した後はで きるだけ卒業又は修了できるようにする傾向があ るといわれている. 留学生の場合も同様に, 入学 許可に慎重な姿勢が見られる。もちろん優秀な留 学生を確保することは重要であるが、入学許可の 段階で他の国への留学に比べ重い負担を課すこと は、海外の学生に日本への留学を躊躇させ、結果 的に優秀な留学生にも来にくい状況をもたらして いる.むしろ門戸を広く開いた上で、入学後の進 級等についての成績評価を適正に行うという、基 本的な姿勢の転換を図ることが望ましい.」という 指摘がなされている^[23].

また、日本留学試験の認知度は、国際交流基金 と財団法人日本国際教育支援協会が運営する日本 語能力試験(N1(難)~N5(易)レベル)に比べ ると圧倒的に低い上に、日本留学試験が留学にお ける一次試験の様な中途半端な利用に留まってい ることも留学生受け入れを阻む要因であると看做 すことが出来る.

周知の様に、タイに限らず、外国人の日本語能 力は一般的に十分ではないが、意欲と学力が高い 生徒や学生は多い傾向がある. 例えば, PSU Satit で、日本語を学習し、日本への短期留学経験があ る高校3年生の場合、日本語能力が高いと考えら れる生徒も N3~N4 レベルであり、日本語能力の レベルとしては高くない. そのため、学部留学の 要件に N1, N2 レベルを求める日本の大学もある が、現実的には、日本語学習者の留学機会を閉ざ していると言わざるを得ない.また、日本の大学 への短期留学(数か月~1年)の場合であっても, 受け入れ要件に N2 レベルを要求している大学も あるが、概ね大学卒業時に N2 レベルに達するか どうかといった学生が多いのが現状であることを 踏まえると、日本語能力の要件の緩和や留学後の 日本語教育を重視するといった施策が求められる.

平成12(2000)年8月「日本留学のための新たな 試験について一渡日前入学許可の実施に向けて 一」が答申され、「5その他」において、「(4)大 学入学後の日本語補習の充実」として、「渡日前入 学許可を推進していく上で、大学入学後の日本語 力の不足を補うために、日本語補習が不可欠とな る.そのため、留学生センター等の学内の組織の 有効活用、学外の日本語教育施設との連携、さら には、ランゲージ・センターの設置等、日本語補 習を十分に行えるよう一層の学内整備を図り、それに関する施策を早急に検討する必要がある. さらに、日本語教育施設との連携を円滑に進めるためには、単位の認定、在留資格などの問題についても今後検討する必要がある.」と指摘している ^[24].同様に、西原(2001)も「基礎学力があるにも かかわらず日本語習得が十分でない試験結果を得 た受験生」も、「欧米の大学の例にならい、条件付 き入学許可を与えて渡日を許し、日本語能力が十 分であると判断できるまで日本語学習を義務付け ることであろう.」と述べている^[25].

そのため、大学入学後に受ける正規教育に先駆 けて実施する日本語準備教育と正規教育開始後の 日本語補助教育が重要である.しかし、日本の大 学における日本語教育体制は,十分とは言えない. そもそも、日本語という国際的な通用性が低い言 語でかつ、会得が難しいとされる言語を用いてい る日本の大学において、海外から直接留学生を受 け入れるのは困難である. 例えば、タイの高校生 が3年間日本語を学習したとして、500時間前後 である.一方、日本人が中学・高校の6年間で学 習する英語の総時間数が、約1.000時間である. このことから考えても、日本語学習に必要な学習 時間数が少ない状況である.従って、これまでに 指摘した点を踏まえ, 日本への留学生を増加させ るための包括的な取り組みを実施することが急務 であると結論付けられる.

5.
 今後の展開

多くの日本の大学が留学生 30 万人計画に書か れた「優秀な留学生」を求めていることは周知の 事実であろう.しかし,「優秀な留学生」と一口に 言っても,「GPA(Grade Point Average)の高い学生」, あるいは「日本語能力が高い学生」のみが優秀な 留学生とは一概には言えないという現実がある. 従って,現実的な評価としては,GPA(Grade Point Average)が一定以上の成績を修め,勤勉で,日本 社会での対応力(柔軟性,環境適応力,問題解決 能力)を持つ留学生であれば,日本留学によって, 今後の活躍が期待される「優秀な留学生」である と看做されている.

その一方,日本留学の意思や意欲があるものの, 日本語能力が一定の水準に達していない者も存在 する.また,ヒアリング能力やリーディング能力 が一定の水準に達していても,ライティング能力 がやや低いなど,大学,あるいは大学院で勉強す るには少し不安な場合もある.実際,留学生で, 日本の高等教育機関に入学する約60%が日本の日 本語学校を経由している^[20].

タイの隣国,マレーシアにおいては,東方政策 (Look East Policy)に基づき,日本語予備教育プロ グラムが行われている.東方政策とは,昭和 56 (1981)年にマハティール首相(当時)が提唱した 構想で,日本や韓国の成功と発展の秘訣が国民の 労働倫理,学習・勤労意欲,道徳,経営能力など にあるとし,日本・韓国に留学生,職業人を派遣 して,両国から上記の要素を学び,マレーシアの 経済社会の発展と産業基盤の確立に寄与させよう とする政策である^[26].

マレーシアにおける日本語予備教育プログラム は,マラヤ大学日本留学予備教育課程などに設置 されている.マレーシアにおける初等・中等教育 課程は、合計で11年と日本よりも1年短く、日本 の大学入学に必要な 12 年の要件を満たしていな いため、この日本語予備教育プログラムは、不足 分を補完する意味合いも持っている.また、この プログラムは,政府が推進する東方政策に沿って, マレーシア政府人事院および各教育機関が選抜す る学生を対象に、日本の大学(学部)に留学させ るための準備教育として,日本語および教科に関 する教育を行っている. このプログラムは日本政 府も協力しており、2年間の教育期間の中で、日 本の大学において可能な限り支障なく学習に入れ るような日本語能力と主要基礎教科に関する学力 (日本の高等学校卒業程度の学力)を身につけさ

せることを目的として実施されている^[27].

以上を総合すると,渡日前入学許可に伴う日本 語補習体制の整備が一番の課題として指摘するこ とが出来る.特に現在,国費留学生などを対象に 行っている日本語予備教育の拡大を行うことによ って,留学生の日本語能力の向上を図ることが有 用である.

しかし,国立大学では国立大学法人運営費交付 金が年々減少傾向にあるなど,各大学で日本語予 備教育を行うことは,規模や予算の面から困難で ある場合もあるため,地域ごとに共同で日本語予 備教育を行うことなども考えられる.さらに,日 本語補習だけの単調な授業では,来日当初にあっ た意欲も減少していく学生も出てくると予測され るため,受け入れ先の大学の一般教養科目などの 一部の授業を開放し,それらの授業を受講させる ことでモチベーションの維持を図るといった施策 も必要と考える.

6. 結 言

留学生 30 万人計画が策定されてから,8 年が経

過した.しかし,留学生30万人計画が策定される 前から指摘されている留学生受け入れに関する諸 問題は,解決されないまま残っている.一方で, 国立大学法人運営費交付金や私学助成金も減額さ れるなど,大学の財政状況は厳しくなりつつある. その反面,グローバル化の促進,世界的な留学生 獲得競争が激化する中,留学生受け入れに関する 諸問題が解決されないことは,日本留学を希望す る海外の生徒・学生の機会損失のみならず,日本 の国力低下にも繋がりかねない.留学生を増加さ せる方策を検討する以前の問題として,日本の大 学のあり方,海外地方部への留学・奨学金関連の 情報提供や,留学生を受け入れる体制の整備が急 務となっている.

グローバル化が進む現在,国際化や国際的視点 は,避けて通ることは出来ない.また,高い意欲・ 能力を有する留学生を企業が採用することは,グ ローバル化・人口減少に直面する日本にとっても 必須である.そして,留学生を増やすことは,短 期研修で海外に行くこととは異なり,常時外国人 と触れる機会が出来,多様な文化の学習,国際化 の醸成にも繋がると思料する.

今後,本論文で指摘した諸問題が1つでも多く 解決され,留学生を受け入れる各大学の負担軽減, また日本留学を希望する生徒・学生のハードルの 低減,そして消滅することを切望する.

参考文献

- [1] 文部科学省,外務省,法務省,厚生労働省,経 済産業省,国土交通省:「留学生 30 万人計画」 骨子 (2008.7.29).
- [2] 文部大臣裁定:国費外国人留学生制度実施要項 (1954.3.31).
- [3] 21 世紀への留学生政策懇談会: 21 世紀への 留学生政策に関する提言 (1983.8.31).
- [4] 日本学生支援機構:平成 25 年度外国人留学生 在籍状況調查結果 (2014).
- [5] 留学生問題調査・研究に関する協力者会議:21 世紀への留学生政策の展開について (1984. 6. 29).
- [6] UNESCO: UNESCO Statistical Yearbook 2013 (2013).
- [7] 丸山敬介:「日本語教師は食べていけない」言説:その起こりと定着,同志社女子大学大学院文学研究科紀要,15,25-61 (2015).
- [8] 緒方貞子:課題としての文化交流,国際文化社 会を目指して,国際交流基金 (1988).
- [9] 小川正人編著:教育財政の政策と法制度,エイ

デル研究所 (1996).

- [10] 川村湊:海を渡った日本語,青土社 (1994).
- [11] 岡益巳:留学生の資格外活動許可基準の歴史
 的変遷とその諸問題,留学生教育,9,19-34
 (2004).
- [12] 財団法人日本語教育振興協会:日本語教育振興協会 20 年の歩み (2009).
- [13] 21 世紀に向けての留学生政策に関する調査研究協力者会議:21 世紀を展望した留学生交流の総合的推進について (1992.7.17).
- [14] OECD: Education at a Glance 2011 (2011).
- [15] 日本学生支援機構: 平成 26 年度外国人留学生 在籍状況調査結果 (2015).
- [16] 国際交流基金:海外の日本語教育の現状-2012
 年度 日本語教育機関調査より、くろしお出版 (2013).
- [17] 文部科学省:平成26年度学校基本調查 (2014).
- [18] アジア・ゲートウェイ戦略会議:アジア・ゲートウェイ構想 (2007.5.16).
- [19] 廣瀬幸夫:留学生 30 万人計画とその受入れ促進のためのアジア人財資金構想プログラム,留学生教育,13,1-9 (2008).
- [20] 経済産業省経済産業政策局産業人材政策室:
 「アジア人財資金構想」事業結果まとめ (2013.
 10.)
- [21] UNESCO: UNESCO Institute 2012 (2012)
- [22] 足立恭則:留学生・日本人学生合同の日本事 情授業:留学生から学ぶ日本事情,東洋英和女 学院大学 人文・社会科学論集 25,103-114 (2008).
- [23] 留学生の入学選考の在り方に関する調査研究 協力者会議:留学生の入学選考の改善方策につい て (1997.3.28).
- [24] 「日本留学のための新たな試験」調査研究協力者会議:日本留学のための新たな試験について-渡日前入学許可の実施に向けて-(2000.8.).
- [25] 西原鈴子:留学生に対する日本語教育の現状 と課題,留学交流, 3, 2-5 (2001).
- [26] 立堀尚子:マレーシア東方政策による日本留 学の意味,国際開発研究フォーラム,13,179-196 (1999).
- [27] 日本政府派遣マラヤ大学予備教育部日本人教 師団:マレーシア政府派遣学部留学生予備教育 ガイドブック,マラヤ大学予備教育部日本人教 師団 (2004).

Android 端末上の加速度センサを用いた新しい生体認証システム

古賀 尭志* 小高 知宏* 黒岩 丈介** 白井 治彦***

New Biometric System Using Accelerometer on Android Terminals

Takashi KOGA*, Tomohiro ODAKA*, Jousuke KUROIWA** and Haruhiko SHIRAI***

(Recieved February 5, 2016)

In this paper, we developed the wrist motion-based authentication system using accelerometer on Android terminals. In the previous researches, hand moving of writing the letter in field was set to target, although our system is using the wrist motion to improve visual silence and availability. Our system requires the moving after the vibration to improve the accuracy of authentication. We got characteristics of motion in 8 subjects. As the result, we got 11.25% of FRR at 10.357% of FAR on change the threshold estimation value.

Key Words: Authentication, Biometrics, Wrist Motion-based System, Android Terminals, Time Lag of Reaction

1 はじめに

近年,スマートフォンやタブレット型端末といった 携帯端末が急速に普及してきており,特に日本国内に おいてスマートフォン所有率は2010年と比較して6倍 以上に増加している^[1].これらは従来の携帯電話と比 較して大容量・高機能化しており,パソコンと比肩す るまでに性能や用途を広げる一因にもなっている.し かしこれに伴って,紛失に因る個人情報データの流失 のリスクも上がっており,実際に流失した場合は損失・ 損害も増加する可能性もある.その対策として端末本 体の個人認証技術の強化が不可欠となっている.

従来から用いられている認証手法としては,ログイ ン時にパスワードを使用する方法や,画面をスワイプ するパターンを要求する方法がある.これらの方法は 特別な装置無しに認証を行う事ができるが,その反面, 入力する内容を亡失すると使用できなくなる,また入 力内容その物を見られてしまうと効力が完全に失われ てしまうという欠点もある.更に表1や表2に示す通 り,これらの手法を用いた場合のパターンの組み合わ せは有限である事も計算上明らかであり,計算機的な

** Technical Division

総当たり解析 (Brute-force attack) により侵入を許して しまう可能性もある.これらの事から,セキュリティ 上は一定回数間違えた場合の再試行の禁止や,文字列 等の組み合わせの定期的な変更等の対策が必要となる.

以上を踏まえると,セキュリティの面においては見 ただけでの複製が困難な各個人特有の特徴を用いる生 体認証が優れていると言える.一例として,指紋,指 静脈の透視イメージを用いる物が挙げられ^[2],実用化 されている物も多数ある.しかし,検出する対象によっ ては特殊な機器を使用しなければ読み取る事ができず, 読み取り・データ登録に抵抗感を示しうる特徴もある 等,即時の導入が難しいという欠点もある.

その為,一般的な民生端末に搭載されているセンサ 等を用いて人の行動の特徴を検出し,それを生体的な 特徴として認証に用いる手法が提案されている.検出 する行動として,歩行動作や画面のスクロール速度等 が用いられている.また前述のパスワード・パターン 認証と組み合わせた研究も行われてきているが,本研 究では人の手首の動きの特徴の個人差を用いる事にす る.具体的には,多くのAndroid端末に搭載されてい る加速度センサを用いて使用者の端末を持った手の手 首を動かす動作を検出し,その動きの速さや方向を用 いて個人を識別する^[3].

本稿では,以前から研究が行われてきた生体認証手 法と比較しながら有用性を検証していく.第2章では 生体認証技術の歴史と本研究のシステムの特徴につい

^{*}大学院工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

^{**}大学院工学研究科知能システム工学専攻

^{***}工学部技術部

^{*}Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course, Graduate School of Engineering

 $^{^{\}ast\ast}{\rm Human}$ and Artificial Intelligence Systems Course,

Graduate School of Engineering

表1 各種文字列における8文字の組み合わせ総数と計算時間^[4]

文字の種類	組み合わせ総数	秒間 100 万回	秒間 1000 万回	秒間1億回	秒間 10 億回
数字 (10 種)	10^{9}	約 1.5 分	約10秒	瞬時	瞬時
英字 (大小)(52 種)	約 53×10^{12}	約 1.5 年	約 62 日	約6日	約 15 時間
英数字 (62 種)	約 218×10^{12}	約7年	約 253 日	約 25.25 日	約 60.5 時間
英数字及び記号 (96 種)	約 7.2 × 10^{15}	約 229 年	約 23 年	約 2.25 年	約 83.5 日

表 2 3×3格子のパターンロック認証の組み合わせ^[5]

通る点の数	組み合わせ総数
4	1,624
5	7,152
6	26,016
7	72,912
8	140,704
9	140,704
参考:英字大小 52 種から 3 文字	140,608

て述べ,システム構成や実験方法について第3章で述べる.第4章で述べる実験で,被験者夫々の動作の特徴を確認した上で FAR/FRR を検証する.そして第5章でこれらの結果を考察し,総括する.

2 生体認証

本節では,生体認証の特徴と既知の問題点,及び本 研究で用いる解決手法について述べる.

2.1 従来の研究における生体認証技術

2.1.1 歴史的背景

^[6]によれば,各個人固有の特徴を用いた個人同定は 古くから行われており,例えば指先の表皮紋様である 指紋は,「万人不同」「終生不変」の特徴が経験的に理解 されてきていた.この特徴は日本でも利用されており, 拇印を本人筆の書面に押すという習慣もある.英国の N.Grew は 1684 年にこれの科学的研究を行ったと言わ れている.また,インドに派遣された英国政府職員の W.J.Harschel はこれを個人認証手法として実用化し, 英国医師 H.Faulds は 1874 年の来日時に前述の習慣に 着目した研究を行なっている.後に,英国のF.Galton によって弓状,渦状,蹄状の3種類に指紋を大別した 上で,古くから経験的に得られていた特徴を裏付けた. 日本国内では 1908 年に施行された刑法において,再犯 者を厳罰化すべくこれの識別に指紋法を用いた事が始 まりで,以降前科者の管理手法としての利用が試みら れてきた. 1971 年に運用開始された犯罪者管理システム AIFS ではより実用的なものとなっている. 現在,指 紋は犯罪捜査のみでなく,様々な場面での本人認証の 手法に用いられている.

2.1.2 生体認証の様々なモダリティ

我々の社会生活の中では,見覚えのある「顔」や聞 いた事のある「声」だけで本人か否かを判断する事が 多く,これらの曖昧且つ主観的な特徴のみで本人であ ると認めた上で金品の授受を行う事は現実的には不安 が残る.ネットワーク上においてはこの危険度が更に 増しており,より厳密且つ客観的な尺度で本人認証を 行う事が推奨されている.即ち,本人以外が知り得な い事や所持し得ない物で紛失・忘却・盗難の危険性が より少ない物による認証を行う必要がある.本人の記 憶にある暗証番号やパスワード,及び各個人の生体的 及び行動的特徴でこれらの認証を行う事は,セキュリ ティ上において理に適っているとされる^[7].

生体認証に用いられる特徴の大分類をモダリティと 呼び,一般的には表3に示す様な物が挙げられる.

生体認証においては,全ての人に一般的に存在する 「普遍性」,ある人と同じ特徴を持つ人が誰もおらず, 複製も不可能な「唯一性」,加齢によって減少あるいは 滅失する事の無い「永続性」が特に重要視されている. 指紋や顔,虹彩,静脈といったモダリティは個人を直 接特定するもので身体的特徴と呼ばれ,認証誤差が比 較的少なく,経時変化が少ないのが特徴である.現在, 身体的特徴を利用した方法は図1に示す様な各種端末 における指紋認証,金融機関ATMにおける指静脈認 証等が実用化されており,近年では顔認証も携帯端末 に実用化されてきている.

しかし,これらには夫々に短所が存在し,それらを解 決する手法の確立が急がれている.例えば,指紋を用 いる場合は人工手指でのログインが可能である事,ま た顔認証においては照明,顔の角度,表情によって認証 結果が変化するという課題が知られている.特にここ までに挙げた方法で本人拒否が発生してしまった場合 に,それ単独での認証となっているとログインが不可

種別	生体情報	特徴量	普遍性	唯一性	永続性	問題点
身体的特徴	指紋	指紋の特徴点等	高	高	高	指の状態により結果変化
	虹彩	虹彩領域の模様	高	高	高	回転変化への対応、ピント調整
	顏	顔面の特徴	中	低	中	顔の向き,表情等への対応
	(指)静脈	静脈の透視撮影	中	中	中	撮影機器が別途必要
行動的特徴	動的署名	座標等の時間変化	低	低	低	動作の経年変化
	声紋	音声の個人差	中	低	低	ノイズ,声の変化等
	步行	端末本体の加速度等	中	低	低	動作の経年変化

表3 各種生体認証手法の特徴 [6] [7] [8]



図1 生体認証の民生端末での使用例,中央部が指紋 センサ

能になってしまう為, PIN 入力やパターン認証といっ た非生体的方法と組み合わせて利用している.これら の様に,身体的特徴を利用した方法では「物」を認証 対象としている以上,複製物による認証の対策を行う 必要があると言える.

一方で音声,署名といった,何らかの行動に伴って現 れる生成物から抽出した特徴を行動的特徴と呼び,採 取されても心理的負担が比較的少ないという特徴があ る.これらは複製の対象が「行動」であり,関節の可動 域や動きの癖が人間夫々にある以上完全な複製が困難 である為,普遍性及び唯一性においては理論的には優 れていると考えられる.しかし永続性については,練習 や外界の状態,あるいは病気等によって動作が変化す る可能性もあり,何らかの方法で常時更新されたデー タを用いる必要がある.

2.2 行動的特徴と既知の問題点

行動に伴う生起物を利用し,それの個人差を用いた 認証手法を行動的特徴と呼ぶ^[8].例えば音声認証にお いては,発声時の音声をマイクロホンを用いて録音し, その際に得た音声波形をFFT等を用いて周波数領域に よる変換を行い,予め録音したテンプレートと照合す る.その結果がある一定の閾値以内である場合に認証 成功としている.身体的特徴と比較すると,特殊な外 部装置を用いずとも比較的入手が容易なセンサを導入 する事で受容性を維持しつつある程度の認証精度が得 られる長所があり,特にスマートフォンの様な,拡張 性よりも携帯性を重視する事の多い小型端末において は特に重要な要素であると言える.

また,終生不変な身体的特徴と違い,利用者が意図的 に認証に利用するパターンを任意に変更する事も可能 であり,模倣されにくいパターンを作成する事が重要 視されている.これは既存の認証手法であるパスワー ドやスワイプパターン認証と同様に,一度そのパター ンが盗まれても登録している内容を変更する事で再度 利用可能となる事が利点である事を意味している.即 ち,個人差の出る行動的特徴を利用しつつユーザが自 身で任意の動作を手軽に登録できる利便性を併せ持つ 特徴がある.

既知の短所としては外乱等の作用に弱い事や,動作 その物を記録されてそれを認証に使用される事が挙げ られる.前述の音声認証においては,静粛な場所では 成功した認証が騒音の中では失敗するという事も考え られる.これは一定の周波数の音声をカットするフィ ルタを通す事で解決可能だが,発話側の問題,例えば 風邪等で声が変化している場合には対応できない.ま た,録音された音声を認証で使用された場合,特に認 証基礎データの登録時の音質が悪い場合には二つの音 声の差が小さくなってしまう事が考えられる.

2.3 本研究での着目点

本研究では、スマートフォンにおいて標準搭載され ているセンサを用いて生体認証を行うという目標から、 それらのセンサで収集可能な行動的特徴をモダリティ として扱う.スマートフォンに搭載されるセンサとし て、加速度センサ、重力センサ、ジャイロセンサ等が挙 げられるが、本研究では加速度センサを用いる.加速 度センサを用いる手法は、スマートフォン普及以前よ り行われてきていた^[9]が、認証に用いる動作の大きさ が問題になる場合もある.特に実際の使用時に取得す る動作が大きい場合には心理的負担が掛かる可能性も ある.

ユーザの癖を検出する行動的特徴を用いる際には「正 確」「静粛」「迅速」の3つの要素を前提として,精度や 遅れ,消費電力とのバランスを考慮する事が重要であ ると言える^[10].本システムでは,端末を持った側の, 大きな動きを伴わない静粛な数回の手首動作を対象と し,短時間で正確な特徴抽出を行う.これにより前述 の3要素を満たしつつ,高精度での認証を行えると予 想される.

対象動作を小さくする事に伴うデメリットも考えら れる. 例えば, 図2の様に手首動作のみを特徴量とし た場合、加速度の変化が小さく動作を侵入者に模倣さ れ易いというリスクが挙げられる.これは認証精度に 関わる重大な欠点となり得る.これの解決策として,複 数の生体認証技術のインテグレーション手法が提案さ れている. 表4に示す通り, これらはアンサンブルモデ ル,マルチサンプルモデル,マルチモーダルモデル[6] に大別される.本システムにおいては、マルチサンプ ルによって認証を行う際の基礎データを作成している が、更にマルチモーダル化する事による高精度化を目 標とする.原理を図3に示す.先ず,(1)のタイミング で端末本体から何らかの信号が発生する.利用者はこ れを受け取りその後に(2)のタイミングで動作を行う. これにより,「動きの初動までの時間」をモダリティと して追加する事が可能になる. 初動までの時間は,得 られた手首動作の加速度データから導出が可能であり, 受容性を維持したままでの認証精度の向上が期待でき る.以上の2つのモダリティを併用し、手首の可動域、 動作速度だけでなく信号を受けてからの反応までの時 間を動きの個人差として取り扱う.

3 実験方法

本研究では、Android 端末に認証用アプリケーション をインストールし、それを用いて各ユーザの動きデー タを取得する.得られた動きは軸毎に分けられた CSV ファイルに加速度の変化として記録する.そのデータ を用い、パソコンを用いて数値的に比較検討する.シ ステムの構成を図4に示す.また、アプリケーション 構築の環境を表5に示す.

Android アプリケーション上では,SensorManager クラスを呼び出す事で,センサ数値が変化した際に実行 される onSensorChanged メソッドが利用可能になる. また,加速度センサの精度はプログラム内で指定可能で, 今回はリアルタイムに動作を取得する為,端末搭載セン サの最小遅延時間ですぐ取得する SENSOR_DELAY_FASTEST を指定した.



図3 本研究で利用するマルチモーダル認証



モデル分類	融合する情報	精度向上	利便性・可用性・受容性	その他特徴
アンサンブル	照合アルゴリズムの複合	中	一般的なシステムと同様	UI 変更不要
マルチサンプル	複数回サンプルの照合	低	利便性低下	システム構成変更不要
マルチモーダル	複数種の生体情報の照合	高	可用性・受容性向上	高精度化

認証に用いる加速度データは、一連の動作1サイク ルにつき440サンプル分取得する.本システムでは、図 5の様な、椅子に座り携帯端末を利き手で持ち、画面 を見ている状態での認証操作を想定しており、また単 純な動作での認証操作が行えるかを検証する為、認証 に用いる動作は手首を左 \rightarrow 上 \rightarrow 石 \rightarrow 下に返すもの とした.振動のタイミングは50,150,250,350サン プル目とし、以降掲載の測定結果には縦軸と平行な線 で示してある.

表 5 構築環境

作成環境	Eclipse(Kepler SR2)
ADT バージョン	22.6.1
使用端末	Sony Ericsson 製 SO-03D
Android バージョン	4.0.4



図5 測定の様子

マスタデータ登録を行う前に,登録方法の習熟の為 1サイクル練習を行う.その後に元データを1サイク ル分連続で取得し,各サンプルでそれらの平均を取り これを認証のマスタデータとする.認証においてはこ のマスタデータと認証データとを,各点において誤差 の自乗を取り,それらの総和を評価値とし,ある閾値 を下回った場合のみ認証成功とする.

4 実験

前節の条件のもと,実験を行った.被験者は8名で 全員右利きである.

4.1 各被験者の測定結果

表5の環境で作成したソフトウェアを使用し,動作 における各軸の加速度データを8名分取得した.取得 したデータの例として,図6に被験者4の測定結果,図 7に被験者6の測定結果を夫々3軸分示す.図6より, 被験者4では全ての軸において10回分の測定データ波 形にバラつきが大きいことが確認できる.一方,図7 より,被験者6では10回分の波形が概ねまとまってい ることが確認できる.また,動作時においては各軸で 何らかの加速度変動が発生している.これは^[9]と異な る結果となっているが,この理由として,^[9]での実験 方法による動作が概ね平面上となっているのに対して, 本システムでの方法は3次元各方向での動作であるこ とが挙げられる.

前節での評価方法を用いて 10 回分の動作の平均を求 め,それを認証マスタデータとした場合の,10 回分の 動作の評価値の平均を求めたグラフを図 8 に示す.特 に評価値の大きい被験者 4 を除くと,他の被験者は各 軸 1000 以内に収まっており,また y 軸方向の評価値は 500 以下に収まっていることが確認できる.これらの 結果より,10 回の平均では認証に用いるマスタデータ としての使用が難しいユーザも出る場合がある為,練 習回数の増加又はマスタデータ作成に用いるデータ数 の増加が必要と考えられる.

4.2 全被験者の動作の平均

10回分の動作の平均を各被験者データに対して求めた結果を図9に示す.この図より,加速度数値の増加が急峻になる点,即ち動作開始点の差が3軸で最も大きい方向は*x*軸と考えられる.

4.3 FAR/FRR 比の検討

各被験者のマスタデータに,別の被験者のデータを 当てはめた場合の評価値を求め,閾値を変化させた場 合に他人受入率 (FAR) がどの様に変化するかを求めた. また,同じ閾値に設定した場合の本人拒否率 (FRR)の 変化を求め,本システムでの認証精度を評価した.

閾値は0~2000まで50刻みで変化させ、各軸にこれ らを適用し、全ての軸で適用した閾値未満となった場合



図 6 被験者 4 の測定結果





のみ認証成功とする. その結果を図 10 に示す. 閾値を 1400 に設定した際に, FAR = 10.357, FRR = 11.25 となった.

FAR, FRR 共に 10%を超える結果となったが, この 理由として, 事前の練習回数が 10 回, その後の測定回 数が各 10 回と少なく, 被験者の動作習熟が不十分だっ た事や, ^[9] よりも単純な動作を認証対象としている事 が挙げられる.後者については,初動までの時間等, 認 証の次元を増やす事で改善されるのではないかと考え られる.また,今回は全ての軸で同じ閾値を設定して FAR/FRR 比を求めたが,図8より, y 軸の評価値の み被験者8名中7名で3軸中最低となっている.この 事から,3軸夫々に独立した閾値を設定する事で,特に FAR の低下を図れるのではないかと考えられる.

5 考察・まとめ

今回,振動のタイミング毎に手首を指定した順番に 返すという動作を用い,その動作の変化を認証に用い るシステムを作成し被験者8名に対してその有効性を 検討した.その結果,各被験者に対して動作の変化が 確認でき,特に *x* 軸においては初動の速度も認証の対 象にできる可能性がある事を確認した.

また取得したデータを用いて FAR/FRR 比を求め た結果, 閾値 1400 の時に FAR = 10.357%, FRR = 11.25% となった. これは動作習得回数の増加, 前述し た認証の次元の増加, 及び3軸で独立した閾値の設定 によって改善される事が予想される.

このシステムの様な本人の行動的特徴を用いた生体 認証では、行動の経年変化によって特に FRR が増加 する可能性も懸念されており、その対策としてマスタ データの更新機能の実装も検討されている^[9].以上を 踏まえた上で、今後は認証の次元の増加と共にマスタ データの経年変化への対応を行い、誤認証の減少を目 指す事を検討していく.





参考文献

- [1] 総務省. 平成 26 年通信利用動向調査の結果 (Jul 2015). http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/150717_ 1.pdf.
- [2] 鷲見和彦.進化する生体個人認証技術とシステムの未来展望.高精度化する個人認証技術.株式会社 エヌ・ティーエス (2014).
- [3] 古賀尭志,小高知宏,黒岩丈介,白井治彦.携帯端 末のセンサを用いる新しい個人認証システム.平 成 26 年度電気関係学会北陸支部連合大会 (Sept 2014).
- [4] Ivan Lucas. Password recovery speeds. http: //www.lockdown.co.uk/?pg=combi.
- [5] delight.im. https://github.com/delight-im/ AndroidPatternLock.
- [6] バイオメトリクスセキュリティコンソーシアム. バイオメトリックセキュリティ・ハンドブック. オーム社 (2006).
- [7] 映像情報メディア学会,半谷精一郎.バイオメトリ クス教科書:原理からプログラミングまで.コロ ナ社 (2012).
- [8] 小松尚久,内田薫,池野修一,坂野鋭.バイオメト リクスのおはなし:あなたの身体情報が鍵にな る.おはなし科学・技術シリーズ.日本規格協会 (2008).
- [9] 石原進,太田雅敏,行方エリキ,水野忠則.端末自体の動きを用いた携帯端末向け個人認証 (モバイルアプリケーション, <特集> ユビキタス ITS とモバイルアプリケーション). 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 12, pp. 2997–3007 (2005).
- [10] Cheng Bo, Lan Zhang, and Xiang-Yang Li. Silentsense: Silent user identification via dynamics of touch and movement behavioral biometrics. *CoRR*, Vol. abs/1309.0073 (2013).

Web 技術を用いた能動的学修支援の試み

中西 栄次* 小高 知宏* 黒岩 丈介** 白井 治彦***

Active Learning Support System by the Student Reaction

Using the Web Technique

Eiji NAKANISHI^{*} , Tomohiro ODAKA^{*} , Jousuke KUROIWA^{**} and Haruhiko SHIRAI^{***}

(Received February 5, 2016)

In this study, we investigate active learning support system using the web technique. We suggest a technique to support an interactive lecture to improve the interactivity in the large lecture. In previous research, we developed two-way communication system between lecturer and students. In this study, we develop new class support system to be used during a lecture mainly. The lecturer writes a text of lecture contents on the Web page for lecturers. The students use the text written in web page for students. In addition, the students become able to return some reactions by utilize the reaction button. This system works on web browser. Therefore we can use it by simple operation on PC and smartphone.

Key Words : Education Support, Active Learning, Web Techniue, Student reaction

1. はじめに

大学において講義を履修する際,学生は複数の講義 から選択して履修を行う.予め規定された時間に教 室に集められ,講師1人に対し多数の学生が一斉に講 義の聴講を行う,といった伝統的な講義の形式が,日 本に広く浸透している.

このような形式の講義を行うことにより,学生1人 当たりの講師の負担の減少,また短時間で効率よく 学生の学習指導を行えるなどといった利点が挙げら れる.

**Human and Artifical Intelligent Systems Course, Graduate School of Engineering

***Technical Division

しかし,こういった形式の講義を行うことによる問題点がいくつか挙げられる.講師と学生の距離関係による集中力の変化,座席の位置関係による学習定着率の変化,一度に大人数で講義を受けるため周囲との関わりが薄くなり,結果的に学生1人1人の個性が薄れてしまう,などがある^[1].

この問題は,中央教育審議会の「新たな未来を築く ための大学教育の質的転換に向けて〜生涯学び続け、 主体的に考える力を育成する大学へ〜(答申)」に おける,学生の能動的学修への転換を行うにあたって 大きな弊害となっている.学生の能動的学修とは,主 に発見授業,問題解決学習,調査学習,グループ・ディ スカッション,ディベート,グループワーク等を有効 に活用し学生に能動的に学習に取り組ませる講義の ことを指す.

そこで,本研究では Web 技術を用いた講師と学生 間のより容易な双方向情報共有の手法を開発する.

Web ブラウザを黒板として利用し, 内容の理解度 によって授業応答システムによって双方向情報共有

^{*}大学院工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻 **大学院工学研究科知能システム工学専攻

^{***} 工学部技術部

^{*}Nuclear Power and Energy Safety Enginnering course, Graduate School of Engineering.

を図る.また既存の能動的学修における双方向情報 共有の手法の問題点の解決を図り,より容易な導入や 使用をすることが可能となる教育システムの開発を 行う^{[2][3]}.

2. アクティブラーニングの実用化に向けた手法

2.1 アクティブラーニングの概要

従来の講義形式は, 講師から学生への一方的な情報 伝達を行い教授するといった形態が多く取り入れら れている. こういった形式の講義は, 学生の創造力や 学習意欲の育成といった課題について十分な成果を 出せていないとされている. そのため, 文部科学省は 学習指導要領の改訂を行い, アクティブラーニングを 取り入れた講義への方針転換を行うことを検討して いる^[4].

アクティブラーニングとは、学生の能動的な学習 の取り組みを主眼に置いた学習形態のことを指して おり、主に大学教育での活用が検討されている.具体 的な手法として、学生だけでの討論やディベート、グ ループでの作業、調査学習、体験学習などが現在挙げ られている^[5].21世紀型スキルと呼ばれる、創造力 とイノベーション、批判的思想や問題解決能力などの スキルの育成が目的とされる.

2.2 アクティブラーニングの問題点

学生の能動的学習の育成を図るアクティブラーニ ングだが,大学での講義に取り入れるにあたっていく つかの問題点が隆起する.発生する問題点を以下に 述べる.

- 講師の負担の増加
- 時間的制約
- 講師の意識

まず講師の負担の増加について,従来の講義では講師は教壇に立ち学生にカリキュラム通りの講習を行うことが一般的である.しかし,アクティブラーニングを行うにあたって,従来の講義に対して講師が学生1人に対して接する時間が増加し,講師の負担の増加に繋がる問題がある.

次に時間的制約について,アクティブラーニングを 行うにあたって学生はいくつかのグループに別れ討 論や作業を行う.そのため,従来の講義に比べ討論な どの準備や施行の時間が生じてしまう.一般的な大 学の講義の時間は90分と設定されているため,アク ティブラーニングを行うと従来のカリキュラムに大 幅な遅れが生じてしまう問題がある.

他に講師の意識の問題について、これまで従来の講 義形式に慣れた講師が、アクティブラーニングを実践 するにあたって発生するリスクや、これまで以上の負 担を背負ってまで行う必要はないという意識が、アク ティブラーニング普及を堰き止めているという問題 がある.

2.3 関連技術

先に述べた問題について,解決するための研究が いくつかされている[6][7].そのうちの1つにクリッ カーという技術がある. クリッカーとは講師と学生 の双方向対話を支援するオーディエンスレスポンス システムである. 主にアメリカなどの教育システム が進んで導入されている海外の大学で広く普及され ている. クリッカーとは. 学生がレスポンスを返すリ モコン状のカードと、カードから発信される情報を受 信する受信機の2つを使用する. リモコン状のカー ドを講義に参加する学生全員に配布を行い, 講師の 出す提示する複数の選択問題に対して,学生はカード 上にある複数のボタンを使って回答を行う. 回答さ れた選択肢は、講義室の各所に設置された受信機を通 して講師のパソコン上に集計され、集計結果がグラフ などを使って提示される. このクリッカーを活用す ることにより、学生の講義の理解度を図ったり、能動 的学修を促したりすることが可能となる^{[8][9]}.しか し、クリッカーを使うことによる問題点も生ずる.ま ず、学生1人1人にリモコン状のカードの配布、また は回収をする必要があり,結果的に他の能動的学修 の問題の1つである時間的制約の解消を図ることが できないことが確認されている.また,講師がクリッ カーの操作を熟知していないと十分な能動的学修の 成果が出ず,学生の理解度の向上に繋がらないといっ た問題も生じてしまう.

3. 本システムの設計

本研究では, 講師によって書かれたテキストを保 存, 表示を行い, それを閲覧した学生による反応を受 け取り集計することでアクティブラーニングを支援 するシステムを設計し, 実装を行う. Web ブラウザ上 で実装することにより, パソコンだけでなくスマート フォンからでのアクセスが可能となる. そのため, イ ンターフェースをパソコン, スマートフォンの双方か らでも操作可能としなければならない.

図1に本システムの全体図を示す.

Web 黒板とは、Web ブラウザを擬似的に黒板代わ りとし、講師が Web 黒板上に板書を行うことで 講義が進行するものとする. 能動的学修の問題 の1つに時間的制約による講義の進行の遅れと いう問題がある. そこで、この Web 黒板を使用す ることにより,講師が講義中に板書を行ったもの がインターネットを通じてサーバ上に保存され る. サーバ上に保存された板書内容は, 学生がイ ンターネットを通じていつでも閲覧可能となっ ており、それにより学生のノートなどへの板書 を書き写すといった時間を省くことが可能とな る. その結果. 時間的制約という問題をある程度 解消することが可能となると推測する. 図2に Web 黒板機能の設計を示す. 講師が Web 黒板上 に板書した内容は、インターネットを通じて Web サーバー上に送信され、データベースに登録され る. 登録されたデータを学生は各個人のパソコ ン、スマートフォンを通じて閲覧することが可能 となっている.また,手元にパソコン等がない場 合でも, 講師が Web 黒板をスクリーン上に投影 することにより閲覧を可能とする.

• リアクションボタン

リアクションボタンとは、学生が講義中に疑問に 思ったり、理解ができなかった場合に即座に講師 に知らせることができる学生反応システムであ る. また他に、講師が Web 黒板上に設題した選 択問題に回答を行うことも可能とする. リアク ションボタンを使用することに、クリッカーの問 題点である導入の問題、学生に貸出や回収すると いった手間の問題や故障や紛失といった問題の 解決を図る.図3にリアクションボタンの設計 を示す. 学生は、講師が出題した選択問題に対し て,Web 黒板上に設置されているリアクションボ タンを押すことにより、インターネットを通じて Web サーバ上に保存される. 講師は保存された データを呼び出し、集計結果を円グラフの形で出 力することを可能とする.これにより,講師は学 生の理解度を瞬時に把握することができる.ま た,学生に対し何故このような結果になったかを 議論させることにより、より綿密な能動的学修を 図ることが可能となる.



講師用インターフェースでは,Web 黒板に板書を 行うためのテキストエディタの設置を行う. 講



師が複数の科目で使用することを想定し, 科目 の切り替え機能を設置し, それぞれの科目ごと にデータベース上に分けて保存を行う. Web 黒 板上に書き込まれた板書内容が自動でサーバに 送信され, 瞬時にデータベース上に保存されるよ うにする.

• 学生用インターフェース

学生用インターフェースでは, 読み取り専用の Web 黒板が表示される. 学生が履修した講義に 対応した科目ページへアクセスできるよう, 科目 の切り替えが必要となる. また, 講師が Web 黒 板に書き込みを行いデータベースが更新される たびに, 学生用の Web 黒板が自動で更新を行い 常に最新の状態を保つようなシステムの実装が 求められる.

• セキュリティ

講義内容の板書データを蓄積する際に, 講師用 ページに対する講師以外からのアクセスを防ぐ ためのセキュリティが要求される.また,イン ターネットで公開するといった関係上, 講師や学 生以外の第三者からのシステムへのアクセスに 対するセキュリティの作成も必要とされる.

4. システムの実装

本研究では,Apache にて構築された Web サーバを 使用して動作を行う. Web ブラウザでの動作やイン ターフェースは HTML,PHP を用いてシステムの開 発を行う. 講義内容の共有を行うデータベースには MySQL を用いて実装を行う.

本研究では, 講師の入力したデータを迅速に保存を 行い, 学生側に瞬時に反映されるシステムを目指す. 本システムは Web サーバ上に構築されることで, Web ブラウザを使用できる環境であれば, どのような環境 でも閲覧が可能なよう設計を行った. 図4 は本シス テムの実装構成を示す.

• Web 黒板

講義中に使用する Web 黒板は常に最新の状態を 保たなければならない. この問題を, 非同期通信 技術を利用することで解決を図る. 非同期通信 は,Web ブラウザ標準搭載の技術で実現され, ス マートフォンでも動作を行うことが可能となっ ている. 非同期通信を使用するにより, 常にサー バからのレスポンスの待機が行うことができ, レ スポンスを受け取り次第画面遷移を行わない動

認証が必要

http://odlab.moe.hm サーバーでは、ユーザー名とパス ワードが必要です。サーバーからのメッセージ: Please enter your ID and password

ユーザー名:		
パスワード:		
	ログイン	キャンセル



的な操作が可能となる. これにより,Web 黒板の 更新があるたびに瞬時に最新の状態に更新が行 われるため,講師や学生は従来型講義に近い環境 で学習を行うことが可能となる.

• リアクションボタン

リアクションボタンにて学生からの反応を集計 する際に,同一学生からの連続投票を予め防ぐ 必要がある.そこで,Web ブラウザにあるキャッ シュを利用し,同一端末からの投票を一定時間制 限することで講義に使う正確なデータの取得を 可能とした.

• セキュリティ

学生の誤った操作による Web 黒板に蓄積された データの改変や, 第三者によるデータの傍聴な どから保護を行うために, 講師用の Web 黒板の ページに認証の設定を行う(図 5).

5. 考察

本研究は,大学での講義中における講師と学生間 の双方向情報共有をより円滑に行うことができる授 業支援システムの考案を行った.本システムは,イン ターネットを用いたブラウザ上で起動することがで き,パソコンやスマートフォン上で簡単に操作可能に した.本システムは,Web 黒板とリアクションボタン の2つを組み合わせることによってより双方向性を 持った講義を行うことが可能となった.Web 黒板を 使用することにより,大人数での講義での問題や,学 生がより講義に集中できる環境を整えることができ

×



図4システム実装構成

た. リアクションボタンを使用することにより, 講師 と学生間の円滑なコミュニケーションを図ることが できると考える.

本システムの今後の展望として,遠方の大学間とビ デオ通話にて講義を行う,遠隔講義についても対応で きるシステムを作成する.

6. 結言

本稿では教育現場における能動的学修への転換に 対して,大人数での講義にて発生する問題の解決手法 の考案を行った.

従来の能動的学修へのアプローチの一つとして,ク リッカーと呼ばれる小型端末を用いた双方向対話型 講義がある.しかし,クリッカーを使った講義を行う ためには,学生1人1人に端末の配布や,端末からの 信号の受信機の設置,また講師のパソコンにデータ の解析を行う専用のソフトウェアのインストールが 必要となってくる.このような手間の問題や,また導 入するにあたっての費用などの問題から日本では広 く普及することがなかった.そこで,本研究ではWeb ブラウザを用いて学生からの反応を収集するシステ ムの実装を行った.Webブラウザを用いることで,ソ フトウェアのインストール等が不要となり,パソコン やスマートフォンからアクセスするだけで使用を開 始することができる.これにより,能動的学修にかか る手間の問題の一部の解消を図った.

本研究では, 講義中の板書内容を記録するデータ ベースを作成し, それを用いて Web ブラウザを擬似 的な黒板とする, Web 黒板システムを作成した.ま た, Web 黒板に書かれた内容から学生の理解度に準じ て反応を返すことができるリアクションボタン作成 し, より容易な能動的学修のためのシステムを構築し た.Web 黒板は講師用と学生用の2つのページに別 れており,講師用のページでは講義の板書の保存,板 書する科目の切り替え,新規に科目の追加の機能の実 装を行った.学生用のページでは,講義の板書内容の 閲覧,過去の講義内容の確認,板書された科目の切り 替え,また板書内容から反応を返すリアクションボタ ンの機能の実装を行った.これにより,講師は学生の 講義に対する理解度を瞬時に理解したり,また学生は 周囲の人がどのような考えを有しているかなどを新 しい討論の材料にし,より積極的な能動的学修を図る ことも可能となる.

本システムの実装により,学生は終始板書に追われ る必要がなくなり,より講義の内容に集中して取り組 むことができるようになった.またリアクションボタ ンによって,講師と学生相互が情報の発信を行えるよ うになり,能動的学修の手助けをし,よりよい学習環 境に貢献することができた.しかし,電子媒体を用い ることによって発生するいくつかの問題点も発生し てしまった.講義の内容を電子的に保存することに より,紙媒体での保存があまり行われなくなるため, データが破損してしまった場合に講義の内容が消失 してしまう問題が生じてしまう.また,Web ブラウザ を使うことによるセキュリティ上の精度の問題も生 じうる.以上のことから,強固なバックアップ体制と, セキュリティ性の高いシステムを維持しつつも現在 のシステムを保持する工夫が必要となる.

参考文献

- [1] April R. Trees, Michele H. Jackson: The Learning Environment in Clicker Classrooms: Student Processes of Learning and Involvement in Large University-Level Courses using Student Response Systems, Learning, Media and Technology, Vil.32, No.1(2007).
- [2] 中西栄次, 小高知宏, 黒岩丈介, 白井治彦:Web 技 術を用いた双方向性通信授業支援システム, 電気 関係学会北陸支部連合大会 (2015).

- [3] 山口龍太郎, 黒岩丈介, 小高知宏, 小倉久和, 白井 治彦:リアルタイム双方向通信授業支援システム の WebSocket による実装, 電気関係学会北陸支部 連合大会 (2012).
- [4] 新たな未来を築くための大学教育の質的転換に 向けて〜生涯学び続け、主体的に考える力を育 成する大学へ〜(答申):http://www.mext.go.jp/b_ menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325047.htm.
- [5] 岩井洋:初年次教育におけるアクティブラーニン グの可能性, リメディアル教育研究 第1巻 第1 号 (2006).
- [6] 新誠司, 杉山公造:教員・学生間のインタラクショ ンを活性化する授業支援システムの研究開発, 電 子情報通信学会技術研究報告 (2002).
- [7] 米谷雄介,東本崇仁,殿村貴司,古田壮宏,赤倉貴子:受講者による逐次評価と総括評価を教員の講義改善支援に利用する講義映像フィードバックシステム,日本教育工学会論文誌 (2014).
- [8] 鈴木久男, 武貞正樹, 引原俊哉, 山田邦雅, 細川敏 幸, 小野寺彰:授業応答システム " クリッカー " による能動的学習授業, 高等教育ジャーナル―高 等教育と生涯学習― 16(2008).
- [9] 三尾忠男:授業におけるアクティブ・ラーニング とオーディエンス・レスポンス・システムの使用 に関する学生の印象評価, 早稲田教育評論 (2015).

P2Pを利用したデータバックアップシステムの提案

吉田哲平* 小高知宏* 黒岩丈介** 白井治彦***

Fault Tolerant Data Backup System Using Peer-to-Peer Network

Teppei YOSHIDA* , Tomohiro ODAKA* , Jousuke KUROIWA** and Haruhiko SHIRAI***

(Received February 5, 2016)

In this study, we investigate the backup-system using peer-to-peer network system. In general, as a way to backup the data, we use magnetic tape, hard-disk, flash memory, file server, and online storage, etc. However, these devices have some problems on redundancy, dispersiveness, or security.

We propose fault tolerant data backup system with peer-to-peer network. To improve the level of redundancy and dispersiveness, our system employs the number of peer-to-peer network's nodes and redundant encrypting backup data. We attempt to reduce the nodes' load by halving backup data and sending it to separate nodes.

Key words : Peer-to-Peer, Data Backup, Fault Tolerance, Redundancy, Dispersiveness, Security

1. はじめに

本研究では、個人や企業などで用いられるデータの バックアップを行う時、災害や障害に対して強固なデー タバックアップシステムを構築することを目的とする。 従来行われているバックアップの手段として、磁気 テープ、ハードディスク、フラッシュメモリ、ファイル サーバ、オンラインストレージなどを利用したデータ の管理が存在する。磁気テープやハードディスクはコ ストが低い一方、物理的な力に弱い^[11]2].フラッシュメ モリは比較的高速であるが、書き込むことにより劣化 する.ファイルサーバやオンラインストレージはデー タの一括管理が可能であるが、障害やセキュリティ面 に不安を残す.

**Human and Artificial Intelligent Systems Course, Graduate School of Engineering

***Technical Division

これらのバックアップの手段で共通して問題となっ てくることは、冗長性、分散性、セキュリティの3つで ある.冗長性は、障害に備えて余剰の予備装置を用意 しておく度合いである.冗長性の問題は記憶媒体を増 やすことで解決することができる.しかし、記憶媒体 を増加させることはコストが嵩み、分散性の問題を解 決することができない.本研究での分散性は、データ が複数存在する場合、データの記憶媒体が地理的に分 散している度合いを指す.磁気テープなどの一個人が 管理する形態では、分散性を高めるには移動方法、管 理場所などを一個人が把握していないといけないので 非常に手間である.セキュリティに関しては、記憶媒 体の管理方法が杜撰であったり、オンラインストレー ジにおいては利用する際の ID やパスワードが紛失して しまったりする恐れがある.

そこで本研究では、Peer to Peer ネットワークを利用 した障害に強いデータバックアップシステムを提案す る. この Peer to Peer 通信を用いると障害に強いシステ ムを構築することできる. この通信方式を利用するこ とで、従来のバックアップ手法で問題提起した冗長性、 分散性、セキュリティの3つを解決できるのではない かと考えられる. 冗長性と分散性は Peer to Peer ネット ワーク上に存在するノードの数を増やすことによって

^{*}大学院工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻 **大学院工学研究科知能システム工学専攻

^{***} 工学部技術部

^{*}Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course, Graduate School of Engineering

向上する.また,セキュリティはデータを暗号化する ことによって向上させる.

しかし、ネットワーク上の各々のノードにそのまま のデータで保存しておくのは一つのノードのストレー ジに対して、負荷が掛かってしまう可能性がある.本 研究では、一つのデータを二分割し、それぞれのデー タをネットワーク上の別のノードに保存することによ り、一つのノードの負担を軽減を行った.しかしなが ら、一つのデータを保存しているノードに障害が起こっ た場合、二分割する前の元のデータに復元することが できなくなるという問題が発生する.そこで、本研究 では排他的論理和を二分割したデータのバイナリに用 いることで解決する.

本稿は、2章で従来のバックアップ手法と問題点、本 システムの概要について述べる、3章では、本システム の設計について述べる、4章では、考察について述べ、 5章で本研究のまとめを述べる、

2. 従来のバックアップ手法と問題点

2.1 従来のバックアップ手法

従来使われているバックアップ手法として以下のようなものが存在する.

- 磁気テープ 音声や映像信号などのアナログ信号や計算 機のデジタル信号などの波形の強弱を磁化し,記 録して再生することのできるテープ上の磁気記録 媒体である.この媒体の特徴として,安価であり, 保存時に電源を必要としないことから長期保存に 向いている.一方で,磁気や物理的な力に弱く,定 期的なメンテナンスを必要とする.また,ランダム アクセスができないということから,一部のデー タだけリストアする用途には向いていない.
- ハードディスク 内部の磁気ディスクをモーターで高速 に回転させ、磁気ヘッドに近づけることでデータ の読み書きする記憶装置である.磁気テープと同 じような特徴を持っているが、こちらはランダム アクセスが可能で、振動に弱い.
- 光ディスク レーザー光によってデータの読み書きを行 う記憶媒体である. CD, DVD, Blu-ray Disc など の種類があり,容量があまり大きくないが,寿命 が長く取り扱いが容易,また製造コストを抑えら れるため音楽や映像などを記録した記憶媒体とし て普及している.
- フラッシュメモリ フラッシュメモリのセル(記憶素子) の浮遊ゲートに電子を封入することでデータを記

憶する媒体である. 読み書きが比較的高速である がこの電子によってセルが劣化するため, 書き込 み可能回数が限られてくる. USB メモリや SSD な どの種類があり, 近年では書き込み可能回数が改 善されてきている.

- ファイルサーバ ネットワークを利用して外部のコンピ ュータとデータの読み書きが行えるコンピュータ である. 個人や組織のデータの一括管理が可能で あるが、導入を一から行うと困難で利用する人数 が多くなるほど誤操作などによって保存データを 消失する可能が高くなる. また、ネットワークに 障害が起こると使用することができなくなる.
- オンラインストレージ 特定の組織が個人にディスクス ペースを貸し出し,ファイルをアップロードするこ とでバックアップを行えるオンラインサービスで ある.他人とのファイル共有も可能であるが,デー タの流出やサービス停止によるデータの消失など が懸念される.また,悪意のあるユーザがオンラ インストレージのあるユーザのログイン ID やパ スワードを入手してしまうと,そこに保存されて いるファイルを閲覧・書き換えができるので,こ れを狙ったフィッシングサイトも横行している.

2.2 従来のバックアップ手法における問題点

前節で挙げられているバックアップ手法は一般的に 取られているものである.しかし,これらには冗長性, 分散性,セキュリティが不十分ではないかと考えられ る.そこで,この3つを向上させる手法を考案する.

まず冗長性に関しては、一つの記憶媒体でデータを 管理していた場合、その装置がいつ故障してしまうか を考えなければならない.このとき、データを管理す る記憶媒体を増やすことで、一つの装置が故障したと しても復旧できる可能性を増やすことが出来る.しか し、装置を増やすことでコストが増加する.

また,分散性に関しては,特定の場所だけで記憶媒 体を管理する場合,地震や火事の災害などによってデー タごと消失する可能性がある.この解決方法として,物 理的に記憶媒体を移動する方法が考えられるが,非常 に手間で移動するコストもかかってしまう.また,分 散性を更に高めようとすると,一個人では管理する場 所が賄えなくなってしまう.

最後にセキュリティに関しては、光ディスクやフラッ シュメモリの場合、手軽に持ち出せるため、紛失する 可能性が高くなる.したがって、何らかの対策を講じ ていないと他人にファイルの中身を閲覧されてしまう. また、オンラインストレージなどでログイン ID やパ スワードが流出してしまった場合は、ネットワーク上 の人間に悪用されてしまう可能性があり非常に危険で ある.

2.3 Peer to Peer ネットワークを利用したバックアップシステム

本研究では、Peer to Peer ネットワークを利用したバッ クアップ手法を提案する. Peer to Peer とは、ネットワー クを形成するピア、またはノードと呼ばれる端末が対 等の立場で通信しあう方式である. この Peer to Peer 通 信の端末を更に増やしていくことによって、作られて くるものが Peer to Peer ネットワークである.

この通信方式を利用したものとして,Gunutella^[3],Napster,WinMX,Winny^[4],Skype^[5]などがある.しかし, 著作権上などの問題から Napster や WinMX はサービ スが停止^[6]され,WinMX に至っては逮捕者が出てい る^[7].

本研究では、特定のネットワーク上に、個人が信頼 できる人で構成されたグループ内での使用を想定した Peer to Peer ネットワークを形成する. このネットワー クを形成することによって、ファイルをネットワーク 上の端末ごとにアップロードするシステムを構成する. このシステムにより、前節で挙げられた問題点が解決 できるのではないかと考えられる.

冗長性に関しては, Peer to Peer ネットワーク上に参加している端末の数だけ冗長性を高くできるので, 信頼性が増加する.また,参加しているユーザは複数台持つことなくネットワーク上の参加している端末にデータを置くことができるので, 個人のコスト削減にも繋がる.

また,分散性に関しては,Peer to Peer ネットワーク に参加しているユーザが,それぞれ地理的に離れてい れば分散性が増す.このとき,ファイルの移動方法は ネットワークを介した通信であるので非常に簡単であ る.そして,災害などによって一つの端末が消失した としても,他の端末にデータが残っていれば復旧する ことができる.

セキュリティに関しては,個人が信頼できる人で構成されたグループ内で使用を想定しているが,他人に見られてはいけないファイルも存在するため暗号化処理を行う必要がある.この暗号化処理はファイルを圧縮する際に行う.また,保存したノードの所有者にデータを改竄される恐れがあり,これを検出する手法として誤り訂正符号のBCHを用いたシステム^{[8][9]}が存在するが大きなデータに対して処理時間が掛かってしまうため,今回はハッシュを使用した手法を用いた.

また、本研究では一つのファイルを二分割し、その

二つのバイナリファイルの排他的論理和を計算するこ とでパリティファイルというものを作成する.このパ リティファイルを作成することにより,二分割した片方 のバイナリファイルが Peer to Peer ネットワーク上から 消失したとしても,残っている片方のバイナリファイ ルとパリティファイルの排他的論理和を計算すること により,消失した片方のバイナリファイルを復元する ことができる.この3つのファイルを Peer to Peer ネッ トワーク上に分散させることによって,ネットワーク 上の端末が同時に2つ以上壊れない限りは復元するこ とができるため,障害に強いシステムが構築できるの ではないかと考えられる.

3. 設計方法

本章では本システムの設計方法について述べる.本 システムは Peer to Peer を用いたデータバックアップシ ステムを実装する.本システムで実装する機能は、バッ クアップ部,ネットワーク部,リストア部,ユーザイ ンターフェース部、内部処理部の5つの機能に分かれ ている. バックアップ部はファイルの暗号化やファイ ルの分割,パリティを生成することでバックアップを 可能とする.ネットワーク部はファイルの送信や検索 を行うことでネットワーク上の処理を行う. リストア 部はバックアップ部で処理を行ったデータを元のバッ クアップデータに戻すことでリストアすることを可能 にする. ユーザインターフェース部はユーザがファイ ルの検索や送信の命令をシステムに出すことのできる インターフェースを実装する. 内部処理部はスレッド を使うことで並列処理を行う.処理の内容や手順につ いては以下で述べる.

また,バックアップ処理からリストア処理までの一 連の処理の流れを図1に示す.

- まず、本システムのバックアップ部が本システムの同じ階層の backup ディレクトリを監視しているため、バックアップファイルを backup ディレクトリに置くことでバックアップ部の処理を開始する.
- バックアップ部ではファイルの暗号化やファイル の分割,パリティの生成処理などを行ったあと、3 つのファイルは cache ディレクトリに置かれる.
- その後、ユーザがシステムのユーザインタフェー スで操作することによりネットワーク部でのファ イルの送信が行われる.
- 4. バックアップファイルを自分の端末に戻す時は, ユーザがユーザインタフェースからネットワーク部

5. 取得後, リストア部によってファイル結合などを することで元のファイルに戻すことができる.

また,本システムでは KEY と UID という固有の ID を用いることでファイルの暗号化やファイルの検証な どを行う.



図1 システムの全体図とバックアップからリストア までの流れ

3.1 バックアップ部

バックアップ部では、ネットワーク上にファイルを バックアップするために必要な処理を行う.バックアッ プ部のフローチャートを図2に示す.以下に示される 工程を本研究ではキャッシュ化と呼び、キャッシュ化さ れたファイルをキャッシュファイルと呼ぶ.プログラ ムが開始されると、backupディレクトリの監視をする. このとき、backupディレクトリにファイルが置かれる と、そのファイルを二分割し、二分割したファイルの それぞれを backup ディレクトリを図2の最下段に当た る cache ディレクトリにキャッシュファイルを保存する ことによりキャッシュ化が完了する.



図2 キャッシュ化のフローチャート

図2で示される工程を以下で述べる.

- ファイルの分割 バックアップを行うファイルをそのま まで Peer to Peer ネットワーク上の他の端末に送信 した場合,送信先の端末が故障するとファイルの 復旧を行えなくなる.この解決法として,送信先 の端末を増やすことで冗長性を高めることが挙げ られるが,その分送信先の各端末の負担が増えて しまう.これを軽減するために,ファイルを二分 割しファイル容量を減らすことによって解決する.
- ファイルの圧縮 バックアップを行うファイルは容量の 小さいものから大きいものまで存在する.そのた め,そのままのファイルでは,通信量が多くなっ たり保存先の端末のストレージに負担がかかるこ とからファイルの圧縮を行う.本研究では ZIP 形 式で圧縮を行う.
- パリティファイルの生成 ファイルを二分割して二つの ファイルを送信する場合,送信先の一つの端末が 故障するとファイルの復旧ができなくなる.その ため,新たにもう一つのパリティファイルという

ものを作成する必要がある.このパリティファイ ルは二分割したファイルの二つのバイナリの排他 的論理和を計算し,作成したファイルである.こ のパリティファイルを作成することにより,二分 割したファイルの片方を管理している端末が故障 したとしても,二分割したファイルのもう片方と パリティファイルの排他的論理和を計算すること によって,ファイルの片方の復旧が可能となる.

- ファイルの暗号化 生のデータでインターネット上にフ ァイルを保存した場合,インターネットに接続した 者は誰でもファイルの中身を閲覧することが出来 る.悪意あるユーザからファイルの中身を閲覧で きないように AES-256^[10]によって暗号化を施す.
- ヘッダ情報の付与 ファイルをそのまま Peer to Peer ネッ トワーク上の他の端末に送信した場合, どのファ イルが誰のものかわからなくなってしまう恐れが ある.そのため,暗号化されたファイルのヘッダ 上に所有者の ID やハッシュ値を書き込む処理を 行う.
- ファイル名の変更 一般的にユーザがつけるファイル名 は多彩であるが、ファイルを送信する際に、Peer to Peer ネットワーク上の他の端末に保存されてい るファイルと送信するファイルの名前が同じにな る恐れがある.この事態を防ぐために、ファイル を送信する前にシステムが指定した規則でファイ ル名を決定する.

3.2 リストア部

リストア部では,バックアップファイルをネットワー ク上に送信した後,自分が使用している端末に戻すと きの処理を行う. リストア部はネットワークから自分 のキャッシュファイルを取得した後に行う処理である. リストア部の処理の流れを図3に示す。この処理は二 分割されたキャッシュファイルを同時に処理する. 処理 開始後、改行コードを利用してキャッシュファイルの ヘッダ情報とデータに分けた後,ヘッダ情報から UID を取得し、自分の UID と異なっていた場合、この後の 処理を行わないこととする.次に KEY を使用してファ イルを復号する.パスワードが異なった場合はこの後 の処理は行わないこととする.ファイルの複合に成功 するとファイルの解凍を行う.ファイルを解凍後,ファ イルが自分のバックアップしたファイルであるかどう かファイルの検証を行い,最後に restore ディレクトリ に元のファイルが保存される.

ヘッダ情報解析 ファイルをキャッシュ化する際に、ファ

イルにヘッダ情報を書き込んだため,この情報を 手がかりに元のファイル名や誰が所有しているファ イルであるかを確認することが出来る.

- ファイル復号 キャッシュ化したファイルは暗号化され ているため、そのままの状態では扱うことが出来 ない.そのため、復号する必要がある.キャッシュ ファイルに入力したパスワードと誤っていた場合, 以後の処理は行わない.
- ファイル解凍 キャッシュ化したファイルは圧縮されて いるため,そのままの状態では扱うことが出来な い.そのため,解凍する必要がある.本研究では ZIP 形式のファイルの解凍を行う.
- ファイル検証 バックアップを行うファイルは Peer to Peer ネットワーク上の自分が所有している端末と は違う別の端末へと保存される.そのため,信頼 できる Peer to Peer ネットワークとはいえ,ファイ ルの送信先の端末の所有者がファイルを改竄する 可能性がある.これを防ぐために,ヘッダ情報を 付与する際にハッシュ値を計算し,ファイルのヘッ ダ上に書き込んだ.これを行うことによって,リ ストアしたファイルとファイルのヘッダ上のハッ シュ値を比較することでファイルが改竄されてい るか検知することができる.
- ファイル結合 二分割ファイルはそのままで扱うことは できないため、二分割したファイルを結合する必 要がある、二分割したファイルのバイナリを結合 することで復元する.

3.3 ネットワーク部

本システムでは、Peer to Peer を利用したネットワー クを実装する.その上で以下の機能を実装する必要が ある.Peer to Peer ネットワークには様々な種類のプロ トコルが存在するが、本研究では Chord^[11]というプロ トコルを用いてネットワークを実装する.Chord は図4 で示すような環状のネットワークをイメージしたハッ シュ空間を探索することで、探索効率や確実性が高い. 図4では、それぞれのノードに端末 ID が振られルー ティングがなされている.

このプロトコルを実装するために以下の機能が必要となる.

ネットワークへの参加 ユーザが本システムを利用して バックアップを行う際に、端末を本システムのネッ トワークに参加させる必要がある.ネットワーク に参加するために、参加したいネットワーク上の



図3 リストアのフローチャート



図4 Chordのイメージ図

-つのノードの情報を知る必要がある.このノードのことを本研究では初期ノードと呼ぶ.

- ネットワークからの離脱 ネットワーク上に参加してい る端末を本システムを終了させるときなどにネッ トワークから離脱させる必要がある.また,シス テム上にネットワークから離脱する機能を作った としても,端末の電源を切ることでネットワーク を物理的に遮断する場合もあるのでそれを考慮し た設計が必要となる.
- ルーティングの更新 ネットワークの各々のノードはネ ットワーク上のどのノードと繋がれているかを知っ ておかなければならない.そのため,目的のノー ドに達するための最適なルーティング情報を持つ 必要がある.また,ネットワーク上ではノードの参 加・離脱が頻繁に行われる可能性があるため,ルー ティング情報を定期的に更新する必要がある.
- ファイル送信 データのバックアップはネットワーク上 のノードにファイルを送信することで完了する.本 研究では、二分割したファイルとパリティファイ ルを分けなければならないので、ネットワーク上 に自分が使用しているノード意外に最低3つ存在 しなければならない.
- ファイル検索 ファイルをリストアするときに,ネット ワーク上のノードからファイルを取得する必要が ある.そのため,ネットワーク上のどのノードが 自分のファイルを持っているかを検索できる機能 が必要である.このとき,二つのキャッシュファイ ルとパリティファイルの3つのファイルが本来あ るべきノードにないとき,ファイルを復元する機 能が必要となる.

3.4 ユーザインターフェース部

本システムを使用するユーザがバックアップ機能やリ ストア機能などを使用するときに必要なインターフェー スを実装する必要がある.

また,ネットワークに参加する際の初期ノードを登録するためのポート番号や IP アドレスを入力する欄が必要である.

更に現在どのノードと接続されているかの確認,キャッシュファイルの表示,リストアの状況表示,ログの 表示を出力させなければならない.

4. 考察

本システムは, Peer to Peer を利用することで手軽に バックアップを行うことができると考えられる. その一 方,手軽さ故にデータの送信先が悪意のあるユーザで データを悪用される危険性も孕んでいる. しかし本研 究では,信頼されたユーザでネットワークを構築する ことを想定しており,その危険性は低いと考えられる.

また,ファイルを二分割し,パリティファイルを生 成することによって冗長性・分散性が増し,ファイルが 消失したとしても復元できる可能性が高くなる.ただ し,その分ネットワーク上のノード数を増やさなけれ ば信頼性が失われるため,少人数で運用していく場合, ノードーつあたりの責任の比重が重くなってしまう.

システムを運用する上で、考えられる問題点として、 他のユーザのストレージの容量を考慮していないため、 送信先の容量が少なくなっている場合、ストレージを 圧迫してしまう可能性がある.そのため、ユーザは予 めバックアップ領域を決めておき、キャッシュファイル をネットワーク上に送信する時、システムが動的にファ イルの送信先を決定するべきだと考えられる.

5. まとめ

本研究は Peer to Peer ネットワークを利用して障害に 強いデータバックアップシステムの構築を行った.従 来のバックアップ手法である,磁気テープ,ハードディ スク,フラッシュメモリ,ファイルサーバ,オンライン ストレージなどは冗長性や分散性,セキュリティなど の問題が存在した.

そこで本研究は、Peer to Peer ネットワークを用いて 冗長性や分散性、セキュリティなど問題の解決を図ろ うとした. 冗長性、分散性について本システムの Peer to Peer ネットワーク上のノード数を増やすことによっ て、セキュリティについてはデータの暗号化処理など を施すことによって他人からの閲覧を防ぐことで向上 させる.

また,送信先に対してそのままのデータで送信して しまうと,送信先の負担が大きくなってしまう.この問 題はファイルを二分割,更にパリティファイルという データを生成し,それぞれネットワーク上の別のノー ドへ送信することで負担の軽減,ファイルの信頼性を 図った.このシステムを用いれば地理的に離れている 場所であっても容易にデータを分散することが出来る.

今後の展望としては、システムの実装や考察で述べ たようなシステムを運用する上での問題点を解決する 構想を練っていかなければならないことが挙げられる.

参考文献

- Van Bogart, John WC. Magnetic Tape Storage and Handling: A Guide for Libraries and Archives, Commission on Preservation and Access, 1400 16th St, NW, Suite 740, Washington, DC 20036-2217 (1995).
- [2] Kim, Kwang-Kyu: Supporting device for minimizing vibration, noise and external impact of a hard disk drive, U.S. Patent No. 5, 587, 855, 24 Dec (1996).
- [3] Adar, Eytan, and Bernardo A. Huberman: Free riding on Gnutella, First monday 5.10 (2000).
- [4] 金子勇: Winny の技術, ASCII (2005).
- [5] http://www.skype.com.
- [6] SOFTIC 一般財団法人ソフトウェ ア情報センター: Napster 事件, http://www.softic.or.jp/lib/cases/riaa_v_napster.htm
- [7] http://www2.accsjp.or.jp/criminal/2012/1199.php.
- [8] 平野仁之, 岩切宗利, and 中村康弘: B-6-15 冗長度を 付加する分散ストレージシステムの一実装方式, 電 子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2003.2 15 (2003).
- [9] 平野仁之, and 中村康弘: 冗長度とアクセス制御を 考慮した分散ストレージシステムの一方式, 情報処 理学会研究報告, CSEC,[コンピュータセキュリティ] 2003.126 53-57 (2003).
- [10] Feldhofer, Martin, Sandra Dominikus, and Johannes Wolkerstorfer: Strong authentication for RFID systems using the AES algorithm, Cryptographic Hardware and Embedded Systems-CHES 2004, Springer Berlin Heidelberg, 357-370 (2004).
- [11] Stoica, Ion, et al: Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications, ACM SIG-COMM Computer Communication Review 31.4 149-160 (2001).

Briefings for Local Resident of Ono City about Nuclear Power Generation In the Neutral Position —Practice after the Fukushima Daiichi Nuclear Disaster—

Kiyotaka YONETSU* and Yoshimi KAWAMOTO*

(Received February 5, 2016)

After the Fukushima nuclear power plant accident, we conducted the briefings about nuclear power generation under neutral position to the local residents. As a result, by describing from a neutral standpoint, the possibility of promoting the understanding and spontaneous learning of residents against nuclear power has been suggested.

Key Words : Nuclear Power Generation, Awareness of Nuclear Power Generation, Neutral Position, Local Residents and Women's Society

1. Introduction

After Fukushima Daiichi nuclear disaster (Fukushima nuclear power plant accident) in March 2011, we practiced the briefings about the nuclear power generation for local resident and members of women's society in Ono-city, Fukui. Local resident planned these briefings voluntarily, so we cooperated with it in a neutral position titled "Think again about nuclear power generation"

The influence of the Fukushima nuclear power plant accident is so huge that many residents of Fukushima were forced to withdrawal to the outside because of the damage caused by the radiation in the Great East Japan Earthquake, and still less returns to the hometown now. There are 14 nuclear power plants in Fukui, so not a few inhabitant of Fukui prefecture felt that it is not the opposite shore of the fire. In addition, many TV and newspaper reported about the influence on human being by the Fukushima nuclear plant accident. In such a situation, local resident of Ono-City planned briefing to know about a kind of influence or terribleness of the radiation will continue to release on the human body and the natural world in the future. However, the expert opinions and views of nuclear power and radiation are hard to understand, so general public

*Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course, Graduate School of Engineering asked for a neutral and easy-to-understand explanation.

Prior to the briefings, we confirmed to residents a favor and opposition both of thinking, to determine their correctness or good or bad had been described to be a resident rather than us. This study was intended to search for the awareness of the residents to the description about nuclear power generation in a neutral position by questionnaire survey.

2. Viewpoint of the Attitude Survey

It cannot be denied what jitters and distrust of nuclear power generation after the Fukushima accident amplified when we look at the contents of the public opinion polls such as an atomic energy culture promotion foundation or the newspaper. Various reasons were thought about it, we have assumed that there is a cause of the understandable difficulty in the way of explanation to residents.

For example, the supporters of the nuclear power generation seem tend to insist on superiority of the probabilistic safety and cost only in the community of the supporters of the nuclear power generation. On the other hand, opponents of the nuclear power generation seem tend to insist on the safety of uncertainty and risk of life only in the community of the opponents of the nuclear power generation.

Like this, we thought that it become hard to catch understanding and awareness of residents for the nuclear power generation only by the explanation in those partial scenes. We realized from the

experience we participated in the discussion by the past seminar that there is the scene that did not necessarily lead to social consensus from general remarks favor to detailed exposition agreement that Inoue^[1] insists on. There is much information from the media as a method that residents understand it in conventional progress about the nuclear power generation and lead to a judgment, but this is because the consciousness of inhabitants is not only a case to learn from agreement and the dissenting opinion (both opinions) from an expert of the nuclear power generation through the media after Fukushima accident, and it experienced a thing. On top of that, we practiced a briefing for residents of a ward on October 23, 2011 and done the first questionnaire survey just after the briefing. In addition, we practiced a briefing for the women's society on March 10, 2012 and done the first questionnaire just after the briefing in the same way. Furthermore, we done the second questionnaire survey after about one year from the first investigation to a ward for a women's society on the same day March 16, 2013.

3. Explanation Contents and Questionnaire Result of the Nuclear Power Generation

The briefings were done once each to participant residents of a ward (29 people) and women's society (60 people) in Ono-City. First of all, we explained from unit 1 to unit 4 condition after the Fukushima nuclear power plant accident. Next, we explained high radiation that has been considerable attention among people. At the end, we explained the characteristic of the major accident that happened in the past such as Chernobyl accident.

After these briefing, first questionnaire survey to participant done. Table 1 shows the result of this survey. Second questionnaire survey done as well as the first one after one year later as table 2. From Q1, Q1-1, Q2 of the over twice questionnaires, change of the awareness can be confirmed (thick frame part in table 1 and table 2). This change of awareness is considered to be the influence of the easy-to-understand explanation from the neutral position. Also it is possible to watch for a change in the awareness of the effects of radiation.

For the percentage of people who think that it is

necessary to explain the neutral position, comparing first and second questionnaire, residents to think this role is needed is to maintain a high level of interest at 80% from 70%. Almost the same trend was confirmed in the women's society. Looking at the Q1-1, for example, answer percentage that because the role of the neutral position is important changed from 31% (first questionnaire) to 43% (second questionnaire) in the residents. Also it changed to increase from 24% to 31% in the women's society. However, answer percentage that because the easy-to-understand on radiation equitable education is important changed to decrease from questionnaire) 29%37% (first to (second questionnaire) in the residents. Similarly, it changed to decrease from 51% to 36% in the women's society. But after this briefing, those who think that the description of nuclear experts has become an easy-to-understand was significantly increased from 6% (first questionnaire) 50%to (second questionnaire) in the residents. In the women's society, it also significantly increased from 8% to 33%.

From the results of the questionnaire, many people think that it is necessary to explain about the nuclear power generation in a neutral position to understand easily. Awareness of the radiation has seems to be continued till now and the explanation about the Fukushima disaster condition make their anxiety easing. In addition, people are believed to want to give a description or information there is no deviation from a third-party neutral position. Against nuclear problem, residents themselves can feel the sense of trying to show judgment and responsibility.

4. Conclusion

In this study, we practiced the briefings for local resident of Ono-City about nuclear power generation in the neutral position and it explored the evaluation seen from the residents. The results are consistent with Sawa^[2] shows that a citizen has both essentially considerable sensibility and reason under discussion with commentators that sense of balance. Also it consistent with Takeda^[3] shows that debate on nuclear power has not been widely discussed in public point of view.

Question Items		Ward residents			Women's soc		ety
		Total	Num.	%	Total	Nim.	%
Q1. In neutral position, do you think	1. I think that it is necessary		22	75	n=	29	85
we need people to demystify for	2. I do not think that it is necessary	n=	1	3		0	0
and the government further	3. Neutral		3	10	34	2	5
nuclear power businesses and professionals?	4. No answer		3	10		3	5
	1. Because it can't be discussed without the understanding of the description contents		8	27		10	34
	2. Because it becomes uneasiness and the distrust without the understanding of the description contents		14	48	-	17	58
Q1-1 Question to whom answered "I think that it is necessary" in Q1. What is the reason you think that it is necessary? (all that apply)	3. Because it is hard to understand the difference of the opposite opinion and favor		7	24		11	37
	4. Because I feel that the progress of the discussion is insufficient only by moderator		1	3		1	3
	5. Because I think that the role of the neutral position and fairness are important		9	31	n= 29	7	24
	6. Because I think that the opinion of the true intention of both groups are hard to appear	n= 22	3	10		5	17
	7. Because I think that I want to know the process of the discussion of both groups		4	13		3	10
	8. Because I think that the plain fair education is important about a radiation		11	37		15	51
	9. Because I feel that the difference in foreign (Germany France) electric bill is incomprehensible		0	0		1	3
	10. Others		0	0	· · ·	0	0
	11. None		0	0		0	0
0.0	1. Plain		2	6		3	8
Q2.	2. Incomprehensible	n=	21	72	n= 34	24	70
description of the expert?	3. Neutral	29	2	6		5	14
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	4. No answer		4	13		2	5

Table 1 1st questionnaire and result

Note: Thick frame _____ express the main discussion part in this paper

Question Items		Ward residents		Wom	ety	
		Num.	%	Total	Num.	%
1. I think that it is necessary		5	50	n= 50	17	34
2. I think that it is slightly necessary		2	20		19	38
3. Neutral	10	1	10		7	14
4. I do not think so much necessary		2	20		5	10
5. I do not think that it is necessary		0	0		2	4
1. Because it becomes uneasiness and the distrust when I do not understand explanation contents		2	29		10	28
2. Because I cannot discuss it when I do not understand explanation contents		1	14	n= 36	2	6
3. Because the difference in opposite both opinions is incomprehensible agreement		2	29		4	11
4. Because the role of the fair viewpoint thinks that it is important the neutrality of the third party		3	43		11	31
5. Because I think that the role that makes sure of each conclusion, and can explain a fact to the nation is important	n= 7	4	57		11	31
6. Because I think that the plain fair education is important about a radiation	Items Total Num. $\%$ Total Num. $\%$ accessary 5 50 17 34 ightly necessary 10 1 10 5 50 19 38 unch necessary 2 20 5 10 1 10 5 10 it is necessary 0 0 0 2 4 10 28 nes uneasiness and the distrust stand explanation contents 2 29 10 28 not discuss it when I do not ion contents 1 14 2 66 rence in opposite both opinions is reament $n=$ 3 43 11 31 that the role that makes sure of can explain a fact to the nation is diation $n=$ 7 4 57 $n=$ 31 31 that the plain fair education is diation 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0					
7. Because oneself wants to join a discussion about the energy	'	0	0		0	0
8. Because I think that I want to know the process (progress) of agreeable opposite both discussions		2	29		4	11
9. Others	'	0	0		0	0
1. I think so		0	0		1	2
2. I think a little bit so	n-	5	50	n-	17	31
3.Neutral	10	2	20	54	17	31
4. I do not think too much so 5. I do not think so	10	$\frac{2}{1}$	$\frac{20}{10}$	04	$\frac{13}{6}$	$24 \\ 11$
	Items1. I think that it is necessary2. I think that it is slightly necessary3. Neutral4. I do not think so much necessary5. I do not think that it is necessary1. Because it becomes uneasiness and the distrust when I do not understand explanation contents2. Because I cannot discuss it when I do not understand explanation contents3. Because the difference in opposite both opinions is incomprehensible agreement4. Because the role of the fair viewpoint thinks that it is important the neutrality of the third party5. Because I think that the role that makes sure of each conclusion, and can explain a fact to the nation is important6. Because I think that the plain fair education is important about a radiation7. Because I think that I want to know the process (progress) of agreeable opposite both discussions9. Others1. I think so2. I think a little bit so3.Neutral4. I do not think too much so5. I do not think so	Items War Total 1. I think that it is necessary n= 1. I think that it is necessary 10 n= 3. Neutral 10 10 4. I do not think so much necessary 10 10 4. I do not think that it is necessary 10 10 4. I do not think that it is necessary 10 10 5. I do not think that it is necessary 10 10 6. Because I cannot discuss it when I do not understand explanation contents 10 7. Because the difference in opposite both opinions is incomprehensible agreement 10 4. Because the role of the fair viewpoint thinks that it is important the neutrality of the third party 10 5. Because I think that the role that makes sure of each conclusion, and can explain a fact to the nation is important 10 6. Because I think that I want to know the process (progress) of agreeable opposite both discussions 10 8. Because I think that I want to know the process (progress) of agreeable opposite both discussions 10 9. Others 10 10 1. I think a little bit so 10 3. Neutral 10	ItemsWard resides Total1. I think that it is necessary52. I think that it is necessary53. Neutral104. I do not think so much necessary25. I do not think that it is necessary01. Because it becomes uneasiness and the distrust when I do not understand explanation contents22. Because I cannot discuss it when I do not understand explanation contents13. Because the difference in opposite both opinions is incomprehensible agreement14. Because the role of the fair viewpoint thinks that it is important the neutrality of the third party35. Because I think that the role that makes sure of each conclusion, and can explain a fact to the nation is 	ItemsWard residents Total1. I think that it is necessary $$ 2. I think that it is necessary $$ 3. Neutral 10 4. I do not think so much necessary 10 5. I do not think that it is necessary 10 1. Because it becomes uncasiness and the distrust when I do not understand explanation contents 2 2. Because I cannot discuss it when I do not understand explanation contents 2 3. Because the difference in opposite both opinions is incomprehensible agreement 1 4. Because the role of the fair viewpoint thinks that it is important 1 6. Because I think that the role that makes sure of each conclusion, and can explain a fact to the nation is important 1 6. Because I think that the plain fair education is important about a radiation 2 7. Because I think that I want to know the process (progress) of agreeable opposite both discussions 2 9. Others 0 0 1. I think so 2 20 2. I think a little bit so 5 3.Neutral 10 4. I do not think too 5 5. I do not think so 10 1. I to not think so 2 2. 2001. I do not think so 1 1. I do not think so 10 2. 2001. I do not think so 1 1. I do not think so 10 </td <td>ItemsWard residentsWomTotalNum.$\%$Total1. I think that it is necessary$5$$50$2. I think that it is necessary$2$$20$3. Neutral$10$$1$$10$4. I do not think so much necessary$2$$20$5. I do not think that it is necessary$0$$0$1. Because it becomes uneasiness and the distrust when I do not understand explanation contents$2$$20$2. Because I cannot discuss it when I do not understand explanation contents$1$$14$3. Because the difference in opposite both opinions is incomprehensible agreement$1$$14$4. Because I think that the role that makes sure of each conclusion, and can explain a fact to the nation is important about a radiation$n=$ $7$$4$$57$7. Because I think that the plain fair education is important about a radiation$0$$0$7. Because I think that the plain fair education is important about a radiation$0$$0$8. Because I think that I want to know the process (progress) of agreeable opposite both discussions$0$$0$9. Others$0$$0$$0$1. I think so$2$$20$$54$4. I do not think too much so$5$$50$$11$10$2$$20$$54$</td> <td>$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$</td>	ItemsWard residentsWomTotalNum. $\%$ Total1. I think that it is necessary 5 50 2. I think that it is necessary 2 20 3. Neutral 10 1 10 4. I do not think so much necessary 2 20 5. I do not think that it is necessary 0 0 1. Because it becomes uneasiness and the distrust when I do not understand explanation contents 2 20 2. Because I cannot discuss it when I do not understand explanation contents 1 14 3. Because the difference in opposite both opinions is incomprehensible agreement 1 14 4. Because I think that the role that makes sure of each conclusion, and can explain a fact to the nation is important about a radiation $n=$ 7 4 57 7. Because I think that the plain fair education is important about a radiation 0 0 7. Because I think that the plain fair education is important about a radiation 0 0 8. Because I think that I want to know the process (progress) of agreeable opposite both discussions 0 0 9. Others 0 0 0 1. I think so 2 20 54 4. I do not think too much so 5 50 11 10 2 20 54	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$

Note: Thick frame _____ express the main discussion part in this paper
Furthermore, Kitazawa ^[4] shows the final judgment of the energy is choice of the nations is the same thing. In other words, we can guess that the residents are awareness for judgement based on the fact information in the neutral position. But it has a limit to show a judgment of the awareness by only from this questionnaire survey exactly. However, it is thought that the inhabitants might notice the change that is going to arrest the consciousness that is going to make the decision in own consciousness with a tendency as an example by performing the opinion of both groups without deflection from the consciousness of the neutral viewpoint by the briefing session to inhabitants at the same time. From this and others, the briefing about the future nuclear power generation considers it that the awareness of residents promotes autonomous how to catch by practicing the opinion of both groups without being partial at the same time.

References

- [1] Takeshi Inoue: Nuclear power generation and local policy, Kouyousyobou, 232 (2014).
- [2] Akihiro Sawa: Introduction without a mind theory to electricity, New tide new book, 206-207 (2012).
- [3] Toru Takeda: Why barren of the nuclear debate, Tyuukou new book Rakure 214-217(2013).
- [4] Koichi Kitazawa: Atomic Energy Society of Japan, <u>56</u>-3 122-126 (2014).

障害者の自立と起業

中西孝平* 竹本拓治**

Promotion of Starting a Business by the People with Disabilities with the Aim of Their Independence

Kohei NAKANISHI* and Takuji TAKEMOTO**

(Received February 5, 2016)

Generally, it is difficult for the people with disabilities to get a job in enterprises. And even though they get a job in enterprises, many of them retire in a few years. So that, various policies are made to enable enterprises to employ them in many countries. Also it is essential to support employee with disabilities to cooperate with their family, employer and various supporter of theirs so that they keep working for long term. Thus, they work depending on the network constituted of these members. In short, this network is community they depend on. Therefore, in this paper, I suppose the people with disabilities themselves start a business making use of this community and they themselves create their work.

Key Words : The People with Disabilities, Independence, Starting a Business, Community

1. はじめに

本稿は障害者雇用の一形態として障害者による起業 の促進を提起することを目的としている.

障害者は自身の障害のゆえに思うように働くことが できず、そのため就業の機会が少ない、それは公的支 援が手厚くなり、かつ市民社会が成熟した現代におい ても完全には克服されていない.

しかし,障害者の能力は健常者のそれと異なるわけ ではない.その意味で,障害者が就業できずにいる社 会は彼らの能力を無駄にしている.

障害が「社会にうまく合わせられないこと」を意味 するならば、障害者にとって住みよい社会とは自身の 障害を感じることなく過ごせる社会のことであり、そ れは当然健常者にとっても住みよい社会である.

障害者は日本企業において周縁的ステークホルダーと して位置づけられてきたが、わが国においても障害者 が自身の障害を感じることなく働ける企業社会が求め られる.そのような企業社会とはどのようなもので、 どのような仕組みをしているのか.それが筆者の検討

* 四国大学

** 産学官連携本部

* Shikoku University

** Headquarters for Innovative Society-Academia Cooperation 課題である.

一般就業が難しいために自ら起業することはしばし ば見られることであるが、本稿では、障害者自身が起 業するための基盤の存在を示すことで、障害者も起業 を通じて自立した生活を送ることができることを示す つもりである.

第2章では、『障害者の生活状況に関する調査』を 基に、障害者の完全雇用への道は半ばである一方で、 障害者が自ら起業する可能性があることを示してい る.

第3章では、わが国の障害者雇用を取り巻く状況に ついて述べた上で、第2節と第3節において、障害者 雇用問題について検討する上での前提となる知識とし て「割当雇用制度」と「特例子会社」、「就労支援シス テム」について述べている.

そして、障害者雇用は地域とのつながり、人とのつ ながりによって成り立つことを明らかにした上で、障 害者は障害者同士、家族、地域、企業、行政からなる コミュニティを形成していることを指摘している.

第4章では、障害者が起業するに際しては、上述の コミュニティを基盤にすることができることを指摘し ている.

2. 障害者による起業の提起

日本企業のステークホルダーには「コア」のメンバーと「周縁」のメンバーがあり、障害者は女性などと ともに周縁に置かれ、必ずしもメンバー内での利益配 分に与れたわけではなく、景気の調整弁として位置付 けられてきたとされる¹⁾.

その原因として、日本企業の多くが株式持ち合いを 進めてきたことと、新卒一括採用と終身雇用によって 内部労働市場が形成されてきたことの二点から、従業 員を中心とする企業観が形成されたことが指摘でき る.

このような企業システムにおいては従業員の雇用の 維持が第一義的なこととされ、企業は人員配置に関し て強い裁量権をもつ.したがって、企業の要請に自由 に応えることのできない障害者は雇用面で不利にな る.

また,企業が従業員に対して投資した結果得られた 成果は企業に帰属することから,障害者のように不測 の要因によって中途退職する可能性のある人は採用時 点から排除される可能性が高くなる.

しかし,後述する通り,近年障害者の実雇用率は着 実に上昇しており,企業が障害者を雇用しようとする 意欲は高い.

この傾向は今後も続くと考えられるが、後にアンケート調査で見る通り、「障害者を雇いたくない」との 声も上がっていることから、障害者の完全雇用への道 は半ばであると言ってよい.

さて,社会の就業基盤として企業以外にも公務員や 自営業などが存在するが,障害者雇用という場合,企 業への就業に目が向けられがちである.

これは障害者を雇用する場合,健常者に比べて費用 が高くなりがちであるために企業において特に障害者 の雇用が困難になるためであると考えられる.

ここで、「身体障害者と精神障害者の就労状況」(図 1,図2)を見ると、自営業者や家族従事者として生 計を立てている人の割合は、身体障害者では21.2%、 精神障害者では37.0%となっている.

ここから,企業や行政機関などの特定の機関に勤め ることなく生計を立てている人が一定程度おり,自営 業や家族従事者が障害者の就業基盤として無視できな い存在であることがわかる.

次に、「家族がいなくなった場合の経済基盤」(図 3)を見ると、「自分の貯金や年金」を答えた人が 70.6%に達する一方で、「就業して自立したい」と答 えた人は31.9%、「友人・知人に支えてもらう」と答 えた人は0.0%、「生活保護を受ける」が10.1%、「そ の他」が 3.8%となっている.

ここから、障害者の多くは自分の貯金や年金に対し て強く信頼を抱いているものの、自力で生活していく ことを志向していると考えられる.そして、条件さえ 整えば、障害者の中に自ら仕事を起こすという選択を 行う人が現れるのではないかとの仮説が成り立つ.

そこで、本稿では、障害者が自ら就業基盤を構築 し、自立化を図る手段として「起業」を提起したい.

なお,本稿では,起業する障害者として身体障害者 を想定している.

その理由は、企業経営等には抽象的な思考がつねに 求められ、かつ強いストレスが伴いがちであるため に、抽象的な思考が苦手な知的障害者やストレス耐性 が低下している精神障害者は企業経営等に向かないた めである.

ただ,後述する通り,障害者による起業はコミュニ ティの支えによって成り立つものである.そのため, 筆者は知的障害者や精神障害者が起業者を取り巻く支 援者の役割を果たすことを排除しない.これらの障害 者も社会への参加者であるとの想定に立つ.

また、本稿で言う企業経営等には、通常は企業とは 言えない自営業を含むものとする.

その理由は、障害者が起業するという場合、その身体的制約から、まずは自らに身近なことから仕事を起こすことが想定されるためである。そのため、比較的 生業的な事業が中心になることが想定されることから、企業経営等に自営業も含むこととした。



図1 身体障害者の就労状況 出所:厚生労働省『障害者の生活状況に関する調査』 2003 年



図2 精神障害者の就労状況 出所:厚生労働省『障害者の生活状況に関する調査』 2003 年



- 図3 家族がいなくなった場合の経済基盤について (複数回答)
- 出所:厚生労働省『障害者の生活状況に関する調査』 2003 年

6. 障害者雇用の仕組みと障害者のコミュニティ 3.1. 障害者雇用を取り巻く状況

障害者の雇用は着実に進展している. 図4に見る通 り,実雇用率は平成16年(2004年)以降急速に伸び ており,雇用される精神障害者の数が増加するなど, 企業が雇用しようとする障害者の類型は広がりつつあ る.

その背景には、第一に、戦後一貫して障害者施策が 展開され、障害者雇用に関して企業に対して課される 公的な義務と支援が厚くなったこと、第二に、人権意 識の高まりを受けて一般市民の障害者に対する評価が 大きく変化したこと、第三に、企業が社会的責任を果 たそうとする風潮が強まり、その一環として障害者の 雇用を増やしたことがある.

しかし、図5に見る通り、企業者の間に「積極的に 雇用したい」や「一定の行政支援があれば雇用したい」 という声が聞かれる一方で、「雇用したくない」と回答 した企業者も一定数存在している.

とりわけ、知的障害者や精神障害者の雇用に関して は、「積極的に雇用したい」とする企業者の割合が身体 障害者に比べて著しく低く、「雇用したくない」と企業 者の割合が身体障害者に比べて著しく高い.

一般に、知的障害者や精神障害者は家族も含めた手 厚い支援が必要であり、かつ長時間の勤務が難しいな ど、身体障害者に比べて雇いにくい.

つまり,企業に障害者を積極的に雇用しようという 傾向は強いものの,できる限り雇用しやすい障害者を 雇用しようとする傾向があるものと推察される.

その意味で、障害者が自身の障害を感じることなく 雇用される企業社会の実現まではまだかなりの時間が かかるものと推察される.

こうした中,これまで障害者の起業を促進する方策 を検討する向きはあまり見られなかった.障害者によ る企業の事例がないわけではないが,報告書や論文に 関してはわずかに 2003 年頃に見られる程度である.

しかし,情報機器の急速な発展を受けて障害者が自 ら活動する基盤は確実に整いつつある.

障害者が自ら起業し,周囲の支えを受けながらも主体的に仕事を行う社会を描くことができれば,障害者の自立を訴求することができると考える.

そこで,以下では,障害者関連施策の歴史と概要に ついて述べた上で,障害者が起業する場合の条件につ いて論じたい.



図4 実雇用率と雇用される障害者の数の推移

(注)法定雇用率は、平成24年までは1.8%、平成25年以降は2.0%.

出所:内閣府編『平成26年版 障害者白書』勝美印刷





図5 障害者雇用の方針

出所:厚生労働省『平成25年度障害者雇用実態調査 結果』より作成

3.2. 障害者雇用の歴史

わが国において障害者福祉が始まったのは戦後であ る.しかし、障害者福祉というものが当初から制度と して一貫して存在したのではない.

それは第二次世界大戦による貧困者の増大や貧困家 庭児童の問題,戦傷者の増大を受けて施行された 1946 年の生活保護法, 1947年の児童福祉法, 1949年の身 体障害者福祉法の3つを起源として、戦後の市民社会 の形成とともに各時代の要請に応える形で発展し、障 害者福祉として徐々に形成されていったものである.

とりわけ、1981年に国際障害者年が障害者の権利宣 言を実効性のあるものにすることを目的として始まっ て以降,障害者福祉は急速に進展を見ることとなった.

そして、それは基本的に「施設福祉から地域福祉へ」 「医学モデルから社会モデルへ」という二つの大きな 流れをもっていた.

障害者福祉は現在、障害者の福祉を地域ぐるみで支 えつつ、社会を障害者にとっても生活しやすいものへ と改変することを主眼に置いていると考えてよい.

こうした流れの中で、障害者雇用制度は 1960 年の 身体障害者雇用促進法(現・障害者の雇用の促進等に 関する法律)を嚆矢として発展していった. そして、そ れは「規制の厳格化」と「適用対象の拡大」の二つを特 徴とするものであった.

例えば,身体障害者雇用促進法が制定された当初は, 企業による障害者の雇用は努力義務であったものが 1977年に雇用義務となった. その後, 雇用率 ²⁾は段階 的に引き上げられており, 雇用義務制度が開始された 当初は1.5%であったものが現在は2.0%となっている.

また, 2004 年には除外率 ³⁾が廃止された.

60

他方、義務の適用対象は当初身体障害者だけであっ たものが、1997年に知的障害者に拡大し、2018年に は精神障害者の雇用義務化が予定されている.

2016年には合理的配慮4が企業において努力義務と なることから,企業は障害者を雇用するに際して,各 障害者の障害特性を踏まえた対応が求められることに なる.

表1 障害者雇用の発展の流れ

1960年	身体障害者雇用促進法(現・障害者の雇用
	の促進等に関する法律)
1977 年	雇用義務制度開始(法定雇用率 1.5%).
1981年	国際障害者年
1988年	法定雇用率を 1.6%に引き上げ.
1993年	障害者基本法
1997年	障害者雇用促進法改正.
\checkmark	知的障害者が雇用率算定の対象に.
\checkmark	雇用率を 1.8%に引き上げ.
2004年	障害者基本法を大幅改正. 除外率廃止.
2013年	雇用率を 2.0%に引き上げ.
2016年	障害者差別解消法
\checkmark	「合理的配慮」 が行政では義務化,民間事業
Ę	者では努力義務化.
2018年	精神障害者雇用が義務化.

出所:筆者作成

3.3. 障害者雇用制度の概要

わが国の障害者雇用制度は、「割当雇用制度」「特例 子会社|の2つを特徴とする.

割当雇用制度は第一次世界大戦後にヨーロッパで始 まったものであり、企業に対して障害者を一定の割合 雇用することを義務化するものである.わが国におい ては 1960 年の身体障害者雇用促進法によって初めて 導入された.

この制度は「雇用率制度」と「雇用納付金制度」の2 つから成り立っているが、具体的には次の2つの義務 を課している.

第一に,従業員50人以上の事業所に対して法定雇用 率 2.0%以上の障害者を雇用する義務を課す.

第二に,法定雇用率に満たない事業主から「不足分1 人当たり月額5万円,年額60万円」の「障害者雇用納 付金」を徴収する一方で、法定雇用率を超えて障害者 を雇用している事業主に対して、その超えている人数 に応じて、1人につき月額25000円の「障害者雇用調 障害者雇用納付金は一般に法定雇用率を達成できて いない企業に対する罰金と見なされる.

しかし,割当雇用制度を成り立たせている基本理念 が事業主にとって「社会連帯の理念,障害者に雇用の 場を与える共同の責務」である³ことを思えば,障害者 雇用納付金は罰金というよりもむしろ,法定雇用率を 達成できていない企業に対しても応分の負担を求める ことで,障害者の雇用を社会全体で支えていこうとす るものであると言える.

表2 企業による共生社会実現への取り組みの事例

福井県永平寺町でごま豆腐を製造する K 社では, 法定雇用率を大きく上回る数を障害者を雇用してい る.

同社の話では、障害者の業務への取り組みの姿勢 が他の社員にも良い影響を与えているという.

障害者は真面目に業務に取り組むあまり,時に自 身の体力的な限界を超えて無理をすることがあるた め,障害のない社員は障害のある従業員に気を配り ながら業務に取り組まなければならない.その結果, 組織内に障害のある社員と障害のない社員が協力し て業務に

取り組む組織文化が形成されたのである.

また、同社では障害者や高齢者に配慮した商品開 発にも積極的である.後期高齢者に多いとされる嚥 下障害への対応として、もっちり感を抑えたごま豆 腐を開発し、農林水産省が後援する第1回介護食品 コンクールにおいて審査員特別賞を受賞した.

このように, K 社は障害者雇用とユニバーサルデ ザインの商品開発の2つの側面から共生社会の実現 に貢献している.

出所: 『福井新聞』 2014年4月19日及びインタビュー

表3 雇用割当制度の概要

- ◆ 従業員 50 人以上の事業所に対して法定雇用率
 2.0%以上の障害者を雇用する義務.
- ◆ 法定雇用率に満たない事業主から「不足分1人 当たり月額5万円,年額60万円」の「障害者 雇用納付金」を徴収.
- ◆ 法定雇用率を超えて障害者を雇用している事 業主に対して、超えている人数に応じて、1人 につき月額25000円の「障害者雇用調整金」を 支給。

出所:筆者作成

次に、「特例子会社」は、障害者の雇用の促進と安定 を図るため、事業主が障害者の雇用に特別の配慮をし た子会社のことであり、表4に示す要件を満たす場合 には、特例としてその子会社に雇用されている労働者 を親会社に雇用されていると見なし実雇用率を算定で きるとするもので、日本独自の障害者雇用制度である.

特例子会社を設立することによって、企業は障害者 の特性に配慮した仕事の確保や職場環境の整備が容易 になる上、親会社と異なる労働条件の設定が可能とな るなど、企業にとって管理面でのメリットは大きい.

ユニバーサルな企業社会の実現を求めるならば、本 来、障害者と健常者が同じ職場で自身の障害を感じる ことなく働くことができることが理想である.そのよ うな観点からは特例子会社は障害者を特定の組織や仕 事に押し込めるものと見なすこともできる.

しかし,企業が雇用した障害者を容易に管理するこ とができるようになることで,障害者にとっては雇用 機会の拡大につながりやすいなどのメリットが得られ るのも事実である.

実際,図6に見る通り,2004年から2012年にかけ て特例子会社の数は153社から349社へと急速に増え たが,それと同時に特例子会社に雇用される障害者の 数^のも6861人から17743.5人へと急速に増えている.

このように、わが国の障害者雇用制度は雇用納付金 と雇用調整金によって企業に障害者の雇用を促す一方 で、特例子会社によって障害者の就業機会の拡大を図 るという仕組みになっている.

表4 特例子会社認定の要件

- ♦ <u>親会社の要件</u>
 - 親会社が、当該子会社の意思決定機関(株主 総会等)を支配していること.
- ♦ <u>子会社の要件</u>
 - 親会社との人的関係が緊密であること(親 企業からの役員派遣等).
 - ② 雇用される障害者が5人以上で、全従業員に占める割合が20%以上であること.また、 雇用される障害者に占める重度身体障害者、知的障害者及び精神障害者の割合が 30%以上であること.
 - ③ 障害者の雇用管理を適正に行うに足りる能 力を有していること.
 - ④ その他,障害者の雇用の促進及び安定が確 実に達成されると認められること.

出所:厚生労働省『「特例子会社」制度の概要』





出所:厚生労働省『「特例子会社」制度の概要』

たしかに,このような政策的強制によって障害者の 就業機会は拡大するが,それでもなお障害者の中には 就業できない人が多数存在する.

また、障害者は自身の障害のゆえにさまざまな制約 を抱えている上に、各障害者の抱える障害の態様や程 度はそれぞれ異なる.同僚の理解が得られず、職場で のコミュニケーションが円滑に進まないことも起きう る.そのため、障害者が職場から疎外され、退職してし まうこともある.ひとたび障害者が労働市場から退出 すれば労働市場に再び復帰するのは難しい.

障害者の勤続年数(表 5)を見ると,身体障害者 10 年,知的障害者 7 年 9 カ月,精神障害者 4 年 3 カ月と 軒並み短くなっている.

次に、障害区分ごとの雇用比率(図7)を見ると、身体障害者は年齢が高くなるほど雇用比率は高くなる. 知的障害者は若年層での雇用比率が高く、年齢が高くなるとともに雇用比率は下がっていく.精神障害者の 雇用比率は中年層でもっとも高くなっている.

身体障害者の場合,雇用が義務化されて以来長い年 月が経過していることから雇用が進んでいると考えら れる上,年齢が高くなるほど交通事故等によって受傷 する可能性も高くなることから,年齢が高くなるほど 雇用比率が高くなるのは容易に理解できる.

『平成 25 年度障害者雇用実態調査結果』によると, 身体障害者となった時点は,採用前が 71.1%,採用後 が 27.1%となっているが,この統計からは,その統計 結果が障害を得て退職した元健常者が職場復帰した結 果なのか, 就業前から障害者だった人が就業後雇用を 継続しているためなのかまではわからない. それは精 神障害者についても同様である.

ただ,身体障害者,精神障害者ともに勤続年数は短いことから,いずれも何らかの理由で労働市場から退出していることは間違いない.

知的障害者の場合,雇用義務化から20年近くが経過 しているが,勤続年数は短く,年齢が高くなるほど雇 用比率が下がっている.

したがって,退職した知的障害者の多くがその後地 域生活に帰るなどして労働市場に復帰していない可能 性が高い.

このように、障害者の雇用問題は一般就労の問題に 加えて就労の継続性が問題となる.そのため、次の4つ が課題となる.

第一に、障害者の一般就労への移行が政策的に支援 されるとともに、就労後も企業に対して行政からの支 援がなされること、第二に、支援学校と企業の間での マッチングが適切に行われること、第三に、企業と地 域や家族の間に協力関係が形成されること、第四に、 企業内で障害をもつ従業員がいることを前提に適切な 管理がなされること。

つまり、障害者の就労が継続するために企業に対し て政策的な支援がなされるとともに、企業と地域や家 族との間でコミュニケーションが密に交わされること が求められる.

表5 障害者の勤続年数

身体障害者	10 年
知的障害者	7年9カ月
精神障害者	4年3カ月
出所:筆者作成	



図7 障害区分ごとにみた年齢別雇用比率

出所:厚生労働省『平成 25 年度障害者雇用実態調査 結果』より作成

2006年に施行された障害者自立支援法は、障害者が その能力や適性に応じて自立した日常生活・社会生活 を営むことができるように必要な支援を行うことを目 的としたもので、2013年に障害者総合支援法に発展的 に解消された.

その中で, 就労支援事業が定められたが, それには 就労移行支援 A 型(福祉工場)と就労移行支援 B 型 (旧法授産施設)の2つがある.

就労移行支援A型は、通常の事業所に雇用されるこ とが困難であって、雇用関係に基づく就労が可能であ る人に対して、就労に必要な知識と能力の向上のため に必要な訓練を提供する支援事業のことである.

就労移行支援 B 型は,通常の事業所に雇用されるこ とが困難であって,雇用関係に基づく就労が困難な人 に対して,就労に必要な知識と能力の向上のために必 要な訓練を提供する支援事業のことである.

つまり、A型とB型を分けるメルクマールは事業者 と利用者の間に雇用関係が成り立っているかにある.

図8に見る通り,企業と就労移行支援事業の間に障 害者の転出入があり,特別支援学校と就労移行支援事 業や企業との間にも障害者の転出入がある.

前述の通り,障害者の勤続年数が軒並み短いことに 鑑みて,障害者の移動は極めて流動的で,企業から就 労移行支援サービスや地域生活への移動が大きいこと がうかがわれる.



図8 就労移行支援

出所:福祉行政法令研究会『障害者総合支援法がよ~ くわかる本』秀和システム,2015年

身体障害者が離職した理由(図 9, 図 10 参照)は, 「職場の雰囲気・人間関係」が 33.8%,「賃金,労働条 件に不満」が 29.7%,「疲れやすく体力,意欲が続か なかった」が 28.4%,「仕事内容が合わない(自分に向 かない)」が 28.4%,「作業,能率面で適応できなかっ た」が 25.7%,「症状が悪化(再発)した」が 25.7%, 「家庭の事情(但し,出産・育児・介護・看護を除く)」 が 8.1%,「出産・育児・介護・看護」が 1.4%となって いる. この結果から、障害者が就労先の職場の雰囲気や人 間関係に適応し、かつ自分の適性に合った仕事が得ら れれば、就労期間が長くなる可能性があることがわか る.

倉田・江川(2012)は滋賀県信楽町(現・甲賀市) における知的障害者の地域就労の事例を取り上げ,地 域内の中小企業と地域の支援施設による協力関係によ って地域内の知的障害者の就労継続が図られているこ とを指摘している.

その中で、知的障害者を雇用する際に、雇用者の実 が全責任を負うのではなく、支援施設もともに担って いく体制がとられており、そのことが企業にとって知 的障害者を雇用する上での安心感につながっているこ とが明らかにされている.

具体的には、知的障害者の就業中に何らかのトラブ ルがあるたびに支援施設の職員が駆けつけ職場の要請 に常時即応する体制がとられており、そのことによっ て、支援施設は受け入れ先の企業の業態や仕事内容、 人間関係を把握することができ、知的障害者の能力や 個性に適すると思われる企業を選択し、ミスマッチや トラブルが発生した時には就業先を柔軟に変更すると いった対応がとれるようになっているとのことである.

障害者を受け入れた当初,企業はその障害者の個性 や障害の態様,適性について詳しく知らない.そのた め,トラブルが発生した時には対応を誤る可能性が高 い.

そのため、障害者の家族や支援施設など、障害者の 個性をよく知る人が企業に赴き、企業との協業によっ て問題の解決を図ることが重要である.

信楽町の事例は、支援施設と企業の協業によってマ ッチングを図ることと、臨機応変に就労先を変えられ る体制がとれることの重要さを示している⁷.

このように、障害者雇用は政策的強制のみならず、 地域ぐるみの支援と、支援者や家族と企業との協力関 係によって成り立つのである.その依拠する基盤は障 害者を取り巻く一つのコミュニティとなっていると言 える.





果』より作成





4. 障害者による起業

前述の通り、障害者の中には様々な政策的支援によってもなお就業できずにいる人がかなりの数おり、また一度は就業できたものの離職して、その後は地域生活に帰った人も少なからず存在する.

就業機会に恵まれない場合,自ら業を起こすという 選択がありうるが,これまで,障害者の起業について 取り上げられることはほとんどなかった.

その理由は、起業することの障壁の高さにあったと 言ってよい. 障害者は行動上、かなり制約を受けるこ とから、起業することは障害者にとって健常者が感じ る以上の障壁となることは言うまでもない. そのため、 障害者の起業の事例も少なかったものと思われる.

しかし,1990年代末以降の情報機器の発展によって, 障害者は自身の活動を支える手段を多く得ることにな った.

2000 年代になって障害者問題関連の雑誌において わずかながら障害者の起業が取り上げられた背景には, このような情報機器の発展があったものと思われる.

障害者は自身の抱える障害のゆえに思うように働く ことができない. 各障害者が抱える障害の程度は異 なり,それがその人の労働形態に与える影響も様々 である. 当然,必要とする支援の態様も異なる.

そのため、障害者が起業するに際しては、さまざ まな支援者からの支援をつねに必要とすると同時に、 障害者同士が支えあうことが利益となる.

ここから、障害者が起業する場合、このコミュニティを基盤として複数の障害者や支援者、家族と協働することで、自身の障害を前提に自分の生活にあった企業活動を展開することが可能になるものと思われる.

表6 障害者による起業の事例

- ◆ 企業組合ユニフィカ(身体障害者,肢体不自由)
 2000 年設立,高知県四万十市,コンサルティング
- ◆ 株式会社アンウィーブ(視覚障害者,全盲)
 2003 年設立,大阪市,在宅就労支援システム構築
- ◆ 株式会社仙拓(難病,全身不随)

2011 年設立, 愛知県, ホームページ製作, デザ イン名刺作成

5. おわりに

本稿では、障害者の雇用が社会全体で支えるべきも のであることが示せたと思う.

具体的には、企業の政策的強制による障害者の就労 機会の醸成であり、就労継続のためのコミュニケーシ ョンの醸成であり、そのために、地域ぐるみの支援体 制が有用であることも述べた.

これらの条件は障害者が起業する際にも必要とされ るものであると考え、本稿では、障害者とそれを取り 巻く支援者などからなるコミュニティを基盤にした起 業を促進することを提起した.

しかし、本稿ではそれを提起するにとどまり、それ をいかにマネジメントするかまでは論じなかった.そ の点については今後の課題としてさらに深い検討を加 えたいと考えている.

出所:『ノーマライゼーション』第23巻第9号, 2003年9月

注釈

- 1) 谷本寬治:CSR, NTT 出版, 22 (2006).
- 2) 常用労働者数に対する障害者数の割合のことで、 障害者の常用労働者と失業者の和を常用労働者 数と失業者数の和で除して算出する.「法定雇用 率」と言う場合と「実雇用率」と言う場合がある が、前者の言う障害者が身体障害者と知的障害 者を指すのに対して、後者の言う障害者はこれ に精神障害者を加えたものを指す.
- 3) 雇用する労働者数を計算する際に、除外率に相当する労働者数を控除する制度で、当時障害者の就業が困難であるとされた職種に適用された.
- 4) 障害者から何らかの助けを求める意思表明があった場合に、負担になり過ぎない程度に、社会的障壁を取り除くために必要な便宜のこと.(障害者権利条約第2条参照).
- 5) 手塚直樹:日本の障害者雇用,光生館,260 (2000).
- 6) 重度障害者がダブルカウントされている.法定 雇用率の算定における障害者数のカウントの仕 方は、労働時間数や障害の重さによって異なり、 重度の障害者で週所定労働時間が 30 時間を超 える者は二人としてカウントされる.
- 7) 信楽町の場合,製陶業という地場産業が存在した上に、家族経営の企業が多かったという地域的な条件が貢献した部分も大きいとされる.

参考文献

- [1] 倉田誠・江川緑:経営行動科学学会年次大会:発表論文集, 15, 37-42 (2012).
- [2] 厚生労働省:平成 25 年度障害者雇用実態調査 結果 (2013).
- [3] 手塚直樹:日本の障害者雇用, 光生館 (2000)
- [4] 中川昭一:特例子会社における障害者雇用,学
 苑社 (2013).
- [5] 福祉行政法令研究会:障害者総合支援法がよ~ くわかる本,秀和システム (2015).
- [6] ノーマライゼーション, 23-9 (2003).

Formation of Periodical Structure Formed on Diamond-like Carbon Film with a Femtosecond Laser — The formation on sliding surface of machine part—

Masanori TAO* Yoshiro IWAI** and Eisuke SENTOKU***

(Received February 5, 2016)

Recently, it was reported that nano scale structure are formed on the metal surfaces by irradiating femtosecond laser pulses at an energy power density (fluence) slightly above the ablation threshold ^[1]. These structures have lately attracted considerable attention as a method to give a high function to the surface. This was verified experimentally by the authors in a recent paper ^[2]. In this paper, we report the formation of the structure to the cylindrical surface of the piston ring as a proper example of sliding surface of machine parts (piston ring). As a result, the processing system combined the femtosecond laser and NC rotation stage was developed and formed the nano scale structure (pitch $\Lambda = 311$ nm) on the piston ring at F = 0.13 J/cm², v = 24 mm/s, $I_s = 60$ µm.

Key Words : Femtosecond laser, Laser processing, Periodical structure, Piston ring

1. Introduction

Recently, a reduction of CO_2 emissions from various industrial machines, environmental improvement by regulations of discharge of polluting material, energy-saving by an improvement of fuel consumptions are strongly required. In particular, a reduction of a friction on a sliding surface in various industrial machines is important to improve the fuel consumptions.

Coating of hard thin films ^[3] and formation of structures ^[4] on a sliding surface of parts such as engines are studied as an effective method for the reduction of the friction on that surface.

On the other hand, it was reported nano scale structures were formed on surfaces of metals such as Cu and so on by irradiating femtosecond laser pulses at fluence slightly above the ablation threshold ^[1]. The effect of these structures on friction reduction is reported ^[5] ^[6]. In our previous reports, we established the technique to form the structure widely on a DLC (Diamond-like carbon) film by the processing system that combined the femtosecond laser and NC stages^[2].

In this study, we developed a piston ring processing system that combined the femtosecond laser and a NC rotation stage, and clarified relations between processing conditions and formed structures.

2. Specimen and Experimental method

2.1 Specimen

The specimens were commercially available piston rings. They were coated by DLC films on the substrate of SUS420J2. Photograph of the piston ring before laser irradiation is shown in Fig. 1. The diameter of the rings were 86 mm, the thickness were 1.2 mm. The thickness of DLC films were approximately 6 μ m, the indentation hardness were approximately 20 GPa.

The piston rings fixed end gap and sandwiched by the holders were installed in the NC rotation stage (Newport Corporation; RGV100BL).

^{*} Technical Division

^{**} Dept. of Mechanical Engineering

^{***} Dept. of Mechanical Engineering, Fukui national college of technology



Fig. 1 Photograph of piston ring specimen.

2.2 Processing system and experimental method

Experimental set-up and a procedure are almost the same as them described in our recent paper ^[2]. Photograph of femtosecond laser system is shown in Fig. 2. A schematic drawing of the experimental apparatus is shown in Fig. 3. The femtosecond laser (Cyber Laser Inc.; IFRIT) was operated at 1 kHz repetition frequency, 800 nm wavelength, 180 fs pulse width. The polarization of the light of the laser was liner and its direction of the electric field *E* was constant.

It was reported that nano scale structure was formed on the surfaces by irradiating femtosecond laser pulses at fluence slightly above the ablation threshold ^[7]. Therefore, we designed the optical system to get enough fluence by processing at a focus position of a concave lens.

The side surface of the piston ring fixed on the NC rotation stage was irradiated perpendicularly by the laser at a constant fluence. The piston ring was rotated at feed rate v during the laser irradiation and moved by shift distance I_s to Z-axis direction after each a rotation as shown in Fig. 4.

The controllable parameter were fluence F, feed rate v and shift distance I_s .



Fig. 2 Photograph of femtosecond laser system.





(b) Side view of experimental set-up.

Fig. 3 Schematic drawing of experimental set-up.



Fig. 4 Method for the processing piston ring.

3. Results

3.1 Formation of nano scale structures

Fig. 5 (a) shows the photograph of piston ring formed nano scale structures by the laser at F = 0.13 J/cm², v =24 mm/s and $I_s = 60 \ \mu\text{m}$. Fig. 5 (b) shows the SEM (Scanning Electron Microscope) images around the center of the side surfaces of no processed piston ring. Fig. 5 (c) shows the SEM images at point *A* in Fig. 5(a).

In Fig. 5 (b), periodic traces in the width direction on no processed surface is shown. It was considered that the traces were formed in production processes of the piston ring such as grinding.

In Fig. 5 (c), the nano scale structures were formed periodically on the laser irradiated surface. The direction of the structures was a right angle of the polarization direction E.





(c) Laser-irradiated ($F = 0.13 \text{ J/cm}^2$, v = 24 mm/s, $I_s = 60 \text{ µm}$)

Fig. 5 SEM images of piston ring.

3.2 Relationship of fluence and periodic structure

Fig. 6 shows the cross-sectional profile by AFM (Atomic Force Microscope) in the center of the cylindrical surface of the piston ring processed at $F = 0.13 \text{ J/cm}^2$, v = 24 mm/s and $I_s = 60 \text{ µm}$. In Fig.6, the cross-sectional profile is also shown periodic peaks and valleys.

In this paper, the size of the structure was evaluated by a pitch Λ which was the mean value of the distance between a valley and adjacent one at 50 points in the cross-sectional profile. The Λ was measured 311 nm, standard deviation σ was \pm 77nm from Fig. 6.

The measured value Λ is plotted as a function of fluence F and σ is indicated by the error bars in Fig. 7. As shown in this figure, the structures were formed at fluence higher than 0.10 J/cm². In the region I, Pitch Λ increases rapidly with increasing F near the ablation threshold fluence F = 0.10 J/cm². In the region II, Λ increases slowly and becomes saturated.





Fig. 7 Relationship between fluence and pitch. (v = 24 mm/s, $I_s = 60 \mu$ m)

4. Conclusion

- The periodical structure was formed over the piston ring by the developed processing system, which was constructed by femtosecond laser and NC rotation stage.
- 2) The periodical structure was formed at fluence higher than F = 0.10 J/cm², the pitch Λ increases rapidly with increasing near the F = 0.10 J/cm².

References

- M. Hashida: New Applications of Femtosecond Laser in Industry, The journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan, <u>122</u>-11, 749 (2002).
- [2] M. Tao, E. Sentoku, T. Miyajima, T. Honda, J. Kiuchi, F. Matsui, R. Tanaka and Y. Iwai: Formation of Periodical Structure Formed on Diamond-like Carbon Film with a Femtosecond Laser (Large Area Forming and Its Processing Condition), Journal of the Japan Society of Advanced Production Technology, <u>29</u>-1, 88 (2011).
- [3] H. Tachikawa: Tribological Issue in Automobile Industry and DLC Coating, Journal of the Surface Finishing Society of Japan, <u>59</u>-7, 437 (2008).
- [4] H. Ogihara: Technology For Reducing Rubbing Resistance of Engine By Means Of Surface Improvement, The Japan Society of Mechanical Engineers, IV, 357 (2000).

- [5] A. Mizuno, T. Honda, J. Kikuchi, Y. Iwai, N. Yasumaru and K. Miyazaki: Friction Properties of the DLC Film with Periodic Structures in Nano-scale, Tribology Online, <u>1</u>-2, 44 (2006).
- [6] H. Sawada, K. Kawahara, T. Ninomiya, A. Mori and K. Kurosawa: Effect of Precise Periodic Structures with Femtosecond-laser on Tribological Characteristics under Sliding Tests, The Japan Society for Precision Engineering, <u>70</u>-1, 133 (2004).
- [7] N. Yasumaru, K. Miyazaki and J. Kiuchi: Fluence dependence of femtosecond–laser-induced nanostructure formed on TiN and CrN, Applied Physics A, <u>81</u>-5, 933 (2005).

AVR マイコンによる光強度規格化制御システムの構築 -フォトリフレクタンス分光における偽作信号抑制のために-

小林 英一* 長谷川 昂輝** 牧野 哲征*** 橋本 明弘***

Structuring Control Systems for Normalization of Optical Intensity with AVR Microcomputer — To Reduce the Spurious Signal on Photoreflectance—

Eiichi KOBAYASHI*, Kouki HASEGAWA**, Takayuki MAKINO*** and Akihiro HASHIMOTO***

(Received February 5, 2016)

We describe microcomputer-based implementation of the PI-control system for normalization of the dc reflectance part from the photoreflectance data. Our technique uses a stepping-motor-driven variable neutral-density filter which keeps the dc component of the detecting signal constant by varying the light flux impinging into the specimen under test. This enabled extremely facile *a-posteriori* subtraction of the spurious component of the photoreflectance, which has been often problematic for the precise measurements. We optimized this feedback system through parameterization of the proportional and integral terms.

Key Words : Modulation Spectroscopy, Optical Spectrometers, Photoreflectance, Neutral-density Filter, Micro-computer, Stepping Motor, PI-control

1. 緒 言

変調分光は各種半導体材料評価の実験ツールとし て重要になってきている^[1].最近は半導体バルクだ けでなく界面や量子構造にもその測定対象が広がっ てきている.スペクトルの変調度(*Vac/Vdc*)は弱い 時には 10⁻⁶,強くても 10⁻²の範囲に及ぶ.それゆ え測定には高感度な位相敏感検波器が用いられる. その代表的なものがロックインアンプである.変調 スペクトル波形は,測定原理上の理由により本質的 に微分形であるため,変調分光法はバックグラウン ドフリーなデータの取得を可能とする.また励起子

- *** 大学院工学研究科電気·電子工学専攻
 - * Technical Division
- ** Dept. of Electrical and Electronics Engineering
- *** Electrical and Electronics Engineering Course, Graduate School of Engineering

励起準位などバンド端近傍の微小なスペクトル構造 を分離することができるという特長を有する.加え て、フランツ・ケルディッシュ (FK)振動^{[2],[3]}の波 形解析により半導体における内在電界などの大きさ を決定できることがわかってきた.

2. フォトリフレクタンス (PR) とは

2.1 偽作信号抑制が求められる背景

物質の光応答は外場により変調されることが多い. ここでは付加的なレーザービームによる外部摂動を 取り扱い,フォトリフレクタンス(以下 PR)と呼ぶ. 反射型変調分光においては $\triangle R(\lambda)/R(\lambda)$ という物理量 が重要となる.ここで $\triangle R$ は変調された反射率であ り,RはDC反射率である. $\triangle R(\lambda)/R(\lambda)$ を得るために 様々な規格化の方法が採用されているが付加的なレ ーザー照射がもたらすルミネセンスなどの偽作信号 (spurious signal)は正しく $\triangle R(\lambda)/R(\lambda)$ を求める上で の障害となってきた.また,PR法を顕微型分光に適 用する際に上述したような迷光は更に問題となる.

^{*} 工学部技術部

^{**} 電気・電子工学科

この問題を解決し顕微型 PR が実現できれば,次の ような高精度な実験が考えられる.FK 振動構造を 感度良く検出することにより電極を有する半導体表 面における電界分布などを高い空間分解能で非接触 に求める実験などである.Shenらの研究グループ⁽⁴⁾ は検出波長(λ)によらず反射率 R を一定にするこ とで偽作信号を精度よく落とせることを理論的に示 し,その実現例としてサーボモータで駆動された可 変減光フィルタ (variable neutral-density filter,以下 VNDF)を用いることを提唱した.

2.2 マイコン制御による VNDF システムの優位性

NDF (neutral-density filter) とは、アルミ蒸着膜の 微小なドットパターンを作りそのパターンの面積比 を変えることによりフィルタに透過率の分布を作っ たものであり、Fig.1 はその写真である. 照明の光量 調整に使用することができ、回転量に比例し透過率 (減衰率)が変化する.しかしながらそこで用いら れているサーボモータは仕様および詳細が不明で, 位置決め精度がよくない可能性があり、フィードバ ック回路もアナログ回路を中心とした構成であるた め,熱ドリフトや素子エージングなどの効果が避け らない.回路構成も大掛かりなものとなることが多 い. また、サーボモータの故障時にその製品が生産 中止になっていた場合,アナログ素子回路の部品や 構成も随伴的に変更が強いられるなどメンテナンス コストも多大なものとなることが危惧される.むし ろ現代ではマイクロコンピュータ(以下マイコン) に代表されるコンパクトなディジタル素子の入手が 容易になってきており, 電源投入すれば自動で制御 を開始するなど作業性も良く,またステッピングモ ータは位置決め精度に優れ、こちらも入手性は良く、 マイコンとステッピングモータの組み合わせによる 実装には優位性があると考えられる.本論文では偽 作信号を差し引きする上でのR 検波強度規格化のも たらす効用について概説するとともに現代的なディ ジタル制御技術でのモータ駆動VNDFの実装につい て検討した結果を報告する.



Fig.1 NDF の写真(Web カタログ引用)

2.3 強度規格化が偽作信号抑制にもたらす効用

Fig.2はPR実験の模式的な実験配置図に対応する. 分光器を透過させることにより単色化された白色光 はプローブビームと呼ばれ、試料に照射される. そ の照射強度を I₀(λ)とする. 試料の電界変調は付加的 なレーザー照射に伴う電子正孔対の光生成により実 現される.付加的なレーザーをポンプビームと呼び, 変調周波数 Ω_M でチョッピングされる. 反射光は光 検出器により検波されるが、検出器の信号は2つの 成分を有する. 一つは DC 信号であり, 他方は変調 交流信号である.前者の強度を IoR と表し、後者の 強度を I₀∠R と表すこととしよう. ロックインアン プは交流信号を測定する. DC 成分を何らかの手段 で検出すれば Ioは相殺されるため、特に IoR を波長 に依らず一定にする必要性がないように思われるが, ポンプビームは以下のような偽作信号をもたらすた め、一定化には効用がある. 偽作信号はレーザービ ームから (a) 散乱光および (b) ルミネッセンスに より生じる. それを式により以下に説明する.



Fig.2 PR の実験配置図

検出器の応答関数を *K*(λ), 増幅率を *A*(λ)とすると 光検出器の DC 出力 *V*_{dc}は次のように表される.

$$V_{dc} = I_0(\lambda)R(\lambda)K(\lambda)A(\lambda)$$
(1)

かたや交流信号は偽作信号の強度を I_{sp} ,波長を λ_{sp} , Ω_m を変調周波数とすると次のように表される.

$$V_{\rm ac}(\lambda,\lambda_{\rm sp},\Omega_{\rm m})$$

 $= \left[I_0(\lambda) R(\lambda) K(\lambda) + I_{\rm sp}(\lambda_{\rm sp}) K(\lambda_{\rm sp}) \right] A(\lambda)$ (2)

式(2)の第2項が重要となる.何らかの規格化手段に より V_{dc} を λ によらず一定とすることができれば V_{ac} の第2項も一定となる.検出器の増幅率は λ に依存

$$I_0(\lambda) = C/R(\lambda)K(\lambda)A \tag{3}$$

のように書ける.式(3)を式(2)に代入することにより ロックインアンプの出力強度は $S_{LIA} = 1/C \frac{V_{ac}}{V_{dc}}$ である ため,それは I_{sp} などを用いて次のように導かれる.

$$S_{LIA} = \left[\frac{\Delta R(\lambda)}{R(\lambda)}\right] + C' \tag{4}$$

ここで

$$C' = I_{sp}(\lambda_{sp})K(\lambda_{sp})\frac{A}{C}$$
⁽⁵⁾

である. Fig.3 に示すように $I_0 R$ の一定化(規格化) により偽作によるバックグラウンド C'は一定(図中では直線)となることがわかる.



 Fig.3
 偽作信号が波長によらない

 Constant Offset 時のスペクトル波形模式図

3. 実験手順

本研究で行った実験では次のようなセットアップ を用いた. プローブビームを発生させるため, 150 W キセノンランプからの光を焦点距離 32 cm の分光器 を透過させることで単色光とした. 光の検出には光 電子増倍管 (PMT)を用い,交流信号の検出にロッ クインアンプを使用した. ポンプビームとしては機 械的にチョップされた波長 325 nm の HeCd レーザー を採用した. *I*₀*R* の規格化にはステッピングモータ で駆動された VNDFを用いた. このモータは 5 相ス テッピングモータドライバを内蔵した 2 軸のステー ジコントローラ Mark-102 で駆動した. サンケン電気 社などから販売されているモータドライバ IC を電 池駆動するなら更なるノイズ抑制が期待できる. コ ントローラの制御には Arduino マイコン基板^[5]を用 いた.

4. 制御部

4.1 8-bit AVR マイコン基板 Arduino

今回の回路では 8-bit AVR マイコン(ATmega328P) が載った Arduino Uno R3 を採用した. Arduino はイ タリアで 2004 年に開発が始まり,ホビーや教育機関 での教材用として先行していた Wiring をベースに 徹底した簡略化を行い低価格(発売開始時は約4,000 円)で提供された. シンプルな入出力(I/O)と Processing 言語で実装された開発環境がベースとな っている. Arduino はそのマイコン基板だけでなく, プログラミング言語(Arduino 言語),開発環境 (Arduino IDE), Web サイト(http://arduino.cc/)や ワークショップなど全て含めたものを指す. 用途や 目的に応じた Arduino 互換機が数多く製作,販売さ れている^[6].

当該マイコンには以下のような優位性がある.わ かりやすい標準化された入出力ポート,豊富なライ ブラリ,手軽に使い始めることのできる Arduino 関 数が数多く用意されていて特に入門者に優しいマイ コン基板といえる. Arduino には様々なバリエーシ ョンがあり,今回は標準的な Arduino Uno を用いた. 統合開発環境の Arduino IDE はマルチプラットフォ ームであり, Arduino マイコン基板のほか, PC と USB ケーブルがあれば PC を選ばず安価に開発がで きてしまう.実際の開発も Linux Mint 17.2 上で容易 に行うことができた.コーディングには C/C++言語 に似た Arduino 言語を用いるが,実行したい命令を 列挙するだけで所望の動作が得られる手軽さがある.



Fig.4 Arduino Uno R3 の外観

Arduino の注意点を挙げるならば以下の 3 点があ る. 先行している Microchip 社の PIC マイコンと比 較して,(1)デバッグ環境がなく必要に応じてデバッ グモードを組み込まなければならない.(2)AVR マイ コン本体の ATmega328P は PDIP28 パッケージと大 きく,Arduino マイコン基板とセットで使うことを 想定しているため、小さくて薄い製品へは応用でき ない.(3)マイコン単品よりも Arduino マイコン基板 は比較的高価であるため量産には向かない、といっ た点であろう.

4.2 マイコン開発環境 (PC)

余談となるが、開発に用いた OS (Linux Mint) に ついても紹介する. この Linux OS は Windows OS と 似たメニュー構成を持ち、ベースとしている Ubuntu よりも軽快に動作するので Windows XP からの乗り 換えや、数世代前の余った PC ハードウェアを有効 利用するには良い選択肢となる. 実際に Windows 10+Intel Core i5 480M 2.66GHz よりも Linux Mint 17.2+Intel Pentium Dual Core E5400 2.7GHz (メモリ容 量はいずれも 2GB)の方が、数値解析や 3D 描画を 伴わない通常使用における体感速度は格段に速い. Linux にも対応しているマルチプラットフォームの ソフトウェアには, Firefox, Thunderbird, Google Chrome といった有名どころの他, 前述の Arduino IDE も含めて, LibreOffice(オフィス), Dropbox(オン ラインストレージ), GIMP(フォトレタッチ), Inkscape(ドロー), EAGLE(回路/基板設計 CAD), FreeCAD(3D CAD)などもある. LTspice(回路シミュ レータ)は Windows 版しかないが, Wine 上で, 多少 の不具合はあるものの動作している. ネックは Office ソフトウェア間でファイル移動によってレイ アウトが崩れてしまう互換性の問題や対応デバイス (プリンタ等の周辺機器)の数がまだ少ない点であ る. ゆえに Word や Excel を多用する事務処理には向 かないが、電気・電子系の設計業務に限定すれば、 Linux Mint だけで概ねカバーできるようになってい る. 今回使用した PC のハードウェアは再生利用品 のため、Arduino マイコン基板を除き、開発環境は 無償で手に入ったことになる. PC と OS を選ばず低 コストで開発着手できることも大きな利点であろう.

4.3 回路構成

Fig.5 は本研究で用いた 8-bit AVR マイコンを中心 に据えた回路を模式的に表したもので、Fig.6 は作製 した回路基板である.回路は、IC および抵抗器など 基本的な電子部品で構成され、PI 制御により入射波 長に依らず I_0R を一定にする役割を果たす.



Fig.5 VNDF 回路構成のブロック図



(a) Arduino と接続する基板



(b) D-sub 25 ピンと MINI-CA 12 ピンの変換基板



(c) RS232C Interface 基板

Fig.6 作製した回路基板

5. 要素技術

5.1 AD コンバータ

Arduino 内蔵の AD コンバータを使用した.分解 能 10-bit と低分解能であるが,現在の回路状態を見 ると光電子増倍管出力および計装アンプ出力値のい ずれも不安定なため,高分解能にした場合もっと不 安定な動作になるのではないか,と危惧してもいる. Arduino は I2C 通信が容易に実装できるため,外付 けの高分解能 AD コンバータは次期試行する.

5.2 計装アンプ

インスツルメンテーション・アンプとも呼ばれ, 工業計測用として広く用いられている差動増幅回路 である.差動アンプと同様,非反転入力 V_{in} +と反転 入力 V_{in} の差電圧 ($V_{in}^{+} - V_{in}^{-}$)を増幅する.

下のFig.7のように前段の対称なOPアンプで差動 出力の増幅回路を,後段のOPアンプで差動増幅回 路を構成している. CMRR(同相信号除去比)を高 くするため, OP アンプおよび抵抗器は高精度のも のが使われる. OP アンプ1素子による差動アンプ よりも CMRR が優れており,入力オフセット電圧も 小さく,2 つの入力端子の差を演算する精度が高い^[7]. 全ての入力端子が OP アンプの入力端子に直結して いるため入力インピーダンスが高い.



Fig.7 計装アンプ(3アンプ型)のブロック図

以下の式(6)は一例として、3 アンプ型の TI (BB) 製 INA128P における増幅度(Gain,以下 G)の算定 式だが、他の計装アンプも同様に増幅度は1 つの外 付け抵抗器 R_G の値だけで決まる.

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \tag{6}$$

汎用 OP アンプ(TL081CP)と計装アンプ2品 (LT1167, INA128P)について、それぞれのデータシ ートから一部仕様を抜粋し、特性を比較した

(Table.3). 計装アンプ2品の選定理由は入手性の 良さにあった. CMRR が高く,温度ドリフトも含め て入力オフセット電圧が非常に小さいという計装ア ンプの特長が見て取れる.

	TL081CP	LT1167	INA128P
	(TI,汎用)	(LTC)	(TI/BB)
CMRR	80 dB min	90 dB min	120 dB
		(a)	min ^(c)
Input	9 mV max	60µV max	50µV max
Offset		(b)	(a)
Voltage			
Offset	18 μV/°C	0.3 µV/°C	0.5 μV/°C
Voltage	max	max	max
Drift			
Noise	$18 \text{nV} / \sqrt{\text{Hz}}$	$7.5 \text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	8 nV/√Hz
Voltage,	(d)	(d)	(d)
RTI			

(a) at G=1, (b) at G=10, (c) at G≥100, (d) at 1kHz
 Table.3 汎用品と計装アンプの特性比較

これにより,光電子増倍管出力から AD 入力まで の間に外乱(通常コモンモードノイズが支配的であ る)が入ったとしても,影響を非常に小さくできる.

光電子増倍管は飽和時に最大で約+13 V も出力す るため、そのまま Arduino の AD 入力端子に接続す ることができない.そこで計装アンプを電圧リミッ タとしても働かせ、約+4 V 以上の出力信号は飽和す るようにした.一方で、光電子増倍管の出力は飽和 しない範囲内においては数 100 mV のオーダーで推 移するため、*R_G*は G=10 となる値に設定した.実測 波形を以下の Fig.8 に示す.入力波形(0.4Vpp)は FG 出力であり、長い BNC ケーブルを使っているこ と、入出力で電圧の測定レンジが 10 倍違うこと、プ ローブをつなぐことでノイズが載ってしまうこと、 など汚く見えてしまう理由は幾つもあるが出力波形 (4Vpp)においてはノイズレベルを大幅に低減でき ている様子がわかる.

通常の OP アンプは周波数特性がよくなく, Gain は入力信号の周波数が高くなるにつれてポールとな る周波数 f_pを境に-20 dB/dec の勾配で減衰する^[8]た め,高周波回路には向かないが,今回その欠点はさ ほど影響しない.なぜなら光電子増倍管出力の AC 成分はロックインアンプのみに使い計装アンプ出力 の AD 変換部には平滑化した DC 信号を扱うためで ある.

尚,今回作製した回路では計装アンプの電源電圧 を±5Vとしているため,厳密には入力電圧の定格範 囲を超過しており次期修正を要するが,入力インピ ーダンスが非常に高いため問題なく動作している.



Fig.8 計装アンプ(G=10)入出力波形

5.3 5相ステッピングモータ

VNDF ユニットの5相ステッピングモータにはオ リエンタルモータ社の PX535M-Bを採用し,原点検 出用のリミットセンサにはOMRON 社製マイクロセ ンサ EE-SX673 を採用している. PX535M-B の主な 仕様は以下 Table.4 の通りである.

基本ステップ角	0.36°
励磁最大静止トルク	1.4
[kgcm]	
(定格電流で5相励磁)	
電流 [A/相]	0.5
巻線抵抗 [Ω/相]	8.0
モータ慣性モーメント	35
J [g cm ²]	
質量 [kg]	0.27
絶縁階級	B種 (130℃)
温度上昇	定格電圧で5相励磁・
	静止状態のとき 80℃
	以下 (抵抗法)
使用温度範囲	$-10^{\circ}\mathrm{C}$ \sim $+50^{\circ}\mathrm{C}$

Table.4 PX535M-B の仕様抜粋

5.4 モータドライバ

モータドライバにはドライバ内蔵の2軸ステージ コントローラ Mark-102(シグマ光機)を使用した. 主な仕様は以下の Table.5 に示す.

コントロール部

電源	AC 90~125 V
	50/60Hz 50VA
周囲温度	5∼40 °C
周囲湿度	20~85 %RH
外形寸法 (最大)・	$W183 \times H61 \times$
質量	D157mm
	突起物除く. 1.3 kg

ドライバ部

モータ	5相ステッピングモー
	タ(5本リード)
駆動方式	ハーフ/フルステップ
	駆動
駆動電流(RUN)	0.15~0.8 A/相
停止電流(STOP)	0.15~0.35 A/相

Table.5 Mark-102の仕様抜粋

VNDF ユニットの端子は D-sub 25 ピンであり,旧 来の 10 本リードと接続する方式のピン配置であっ ため,そのままでは Mark-102 と接続することができ ず,変換基板 (Fig.6-b)を用意し,緑と青,赤と白 など計5箇所を基板内で短絡し,新ペンタゴン配線 (5本リード)と等価にした上で,Mark-102 と接続 している.使用するコマンドは以下の Table.6 の通り である.これらは RS232C ポートを通じて Arduino から UART 通信で制御する.Arduino 側は TTL(5V) レベルであるためここにも変換基板 (Fig.6-c)を作 製し RS232C レベル (±9V) へ変換している.

Q コマンド:ステータス1命令		
Jコマンド:ジョグ運転命令		
G コマンド:駆動命令		
R コマンド:電気 (論理) 原点設定命令		
H コマンド:相対移動パルス数設定命令		

Table.6 Mark-102 で使用するコマンド

5.5 制御アルゴリズム

本システムの核となる操作量の導出には PID 制御 を採用した。PID 制御は古典制御理論のプロセス制 御において最も高級な制御方式である.操作量を求 める式は下記(7)に,ブロック線図を Fig.9に示した. PID 制御は直列補償であり制御偏差に比例した量 P, 制御偏差を積分した量 I,制御偏差を微分した量 Dを加え合わせたものを操作量とする^{[9],[10]}.

$$u(t) = K_P\left(e(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^t e(\tau)d\tau + T_D\frac{de(t)}{dt}\right) \quad (7)$$

$$\frac{K_P}{T_I} = K_i , \quad K_P T_D = K_d \quad \ \ \forall \ \ \delta \ \ \delta.$$

ここでは I_0R を監視した. 公開されている Arduino 用の PID ライブラリ^[11]を取り込み,操作量の導出部 に用いた. これらのパラメータ K_i, K_p, K_d から制御用 のパルス数を決めるが,本研究では K_d を与えると発 散してしまうため, $K_p=0.4, K_i=0.5, K_d=0$ とし結 果的に D 制御は行っておらず PI 制御になっている. 尚,パラメータ導出において,まずは動作すること を優先したため,最適化はまだ実施できていない. これは後述する Wait 時間 1 秒の削減検討とともに整 定時間短縮に関わって次期課題とする.

ステッピングモータはパルス数に応じた回転角度 で回る.それにより光減衰率ひいては入射光強度を 制御することが可能となる.光電子増倍管出力にお ける信号対雑音比が悪いため安定化を狙って5回平 均したものを測定値とした.



Fig.9 PID 制御のブロック線図

6. 整定時間

目標値までの応答速度(整定時間)を求めるため 光源に白色 LED ライトを用い,次のような実験を行 った.ステッピングモータ可動範囲内において約 500 mV~4 V の入力ダイナミックレンジを持たせ た環境を用意し,そこで目標値を1V に設定,開始 値を意図的に目標値から大きく外れた 500 mV に設 定し,制御回路が目標値まで到達し収束するまでの 時間変化 (PI 制御の収束動作)を3回計測した結果 を Fig.10 に示す.



開始値の約 500 mV から目標値1 V まで離れてい たこともあり,また光が放射状に広がる白色 LED ラ ンプを試験光源に使ったため VNDF 操作量と光量が 線形関係になっていない範囲(約3~10秒の間)が 生じており,収束するまでやや時間を要しているが, 複数回実施したところ,今回作製した回路,プログ ラムおよび PI 制御パラメータでは 64~88 秒の間で 目標値に収束していた. 整定時間が長い理由は, (1) モータ駆動および AD 入力値の安定化のため Arduino プログラム内で Wait 時間を1秒設けてい ること, (2) PID 制御パラメータを最適化していない こと(3)プロセス制御(定値制御)ではサーボ機構ほ どの応答速度は得られない、等が挙げられる.特に (1)においては、モータ動作可能な範囲内で限界まで 詰めれば整定時間をもっと短くできるはずである. 前述のとおり Shen らのグループはサーボモータを 用いた同様のシステムについて報告しているが^[4], モータの仕様や応答速度に関する詳細な記載がない ため比較しようがないが, 立ち上げてから2分ほど 待ち,収束した時点から実験を開始すればよく,我々 がここで実現したシステムにおける応答速度は当面

問題ないと考える. また, LabView[™]などを用いた PC ベースの制御も普及しているが, ここで見られるよ うな微弱なアナログ信号を取り扱う場合には PC 自 体が深刻なノイズ源となるため, 相当な困難が伴う と考えられ, ここにもマイコンベースシステムの優 位性があるといえる.

7. 結 言

マイコンベースの VNDF による光強度規格化制御 システムが稼働するに至った.現在,特徴的な PR スペクトル波形が得られることがわかっているワイ ドギャップ半導体を測定対象として PR 実験を進め ているところである.システムについて,更なる改 良を施し,本研究で意図した通り偽作信号に起因し たバックグラウンドが平坦になることや真の信号が 精度よく観測できることが確認されれば,本学で作 製される(測定対象となっている)半導体材料にお ける光学応答や電界分布などを求めていく予定であ る^[12].

8. 謝辞

本研究は本学次世代プロジェクトの研究助成を受けて行われた. PR 実験のセットアップにおいて本学 大学院生の山崎裕斗氏の助力を得た.また,ステッ ピングモータと NDF のカップリングは本学先端科 学技術育成センターの川崎孝俊氏に製作していただ いた.ここに感謝の意を表します.

9. 参考文献等

- [1] F. H. Pollak et al., Mater. Sci. Eng. R10 375 (1993).
- [2] V. W. Franz, Z. Natureforsch 13a 484 (1958).
- [3] L. V. Keldysh, Soviet-Phys. JETP 7 788 (1958).
- [4] H. Shen et al., Rev. Sci. Instrum. 58 1429 (1987).
- [5] M. Benzi, "Getting started with Arduino", O'Reilley Media Inc. (CA, USA) (2008).
- [6] 小林 茂: Prototyping Lab「作りながら考える」 ための Arduino 実践レシピ, オライリージャパン(2010).
- [7] 鈴木雅臣:回路の素 101, CQ 出版社(2012)
- [8] 岡村廸夫: OP アンプ回路の設計, CQ 出版社 (1973).
- [9] 椹木義一, 添田喬:わかる自動制御(増補改訂版), 日新出版(1999).
- [10] 森 泰親:演習で学ぶ基礎制御工学,森北出版 (2004).
- [11] http://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary
- [12] K. Shiojima et al., Appl. Phys. Express 8 046502 (2015).

福井大学工学部及び大学院工学研究科紀要編集委員会

小野田信春 工学的	+究科長(編集委員長)	
-----------	-------------	--

太田	貴士	機械工学専攻	茂呂	征一郎	電気・電子工学専攻
仲野	豊	情報・メディア工学専攻	白井	秀和	建築建設工学専攻
田中	穣	材料開発工学専攻	髙橋	一朗	生物応用化学専攻
田嶋	直樹	物理工学専攻	髙田	宗樹	知能システム工学専攻
廣垣	和正	繊維先端工学専攻	川本	義海	原子力・エネルギー安全工学専攻

工学研究科研究活動一覧

http://www.eng.u-fukui.ac.jp/ResearchActivities/index.html

福井大学附属図書館 学術機関リポジトリ(工学研究科関連)

http://repo.flib.u-fukui.ac.jp/dspace/handle/10098/572

このページ内の「日付」ボタンをクリックすると年代順のリストが表示されます。

国立情報学研究所 論文情報ナビゲータ(福井大学関連)のURL(書誌情報のみ)

http://ci.nii.ac.jp/vol_issue/nels/AA12208150_jp.html

