

技 報

# こまくさ

K O M A K U S A 発行:平成18年9月

第五号



バルク波を用いた温度補償型簡易溶液濃度センサー用  
温度補償回路

— 電気電子工学科 池田 清志

On the Locality of Dominance and Recombination in  
Multiobjective Evolutionary Algorithms

— 情報工学科 アギレ・エルナン

The Learning System of Shinshu University  
Graduate School of Science and Technology on the Internet

— 情報工学科 國宗 永佳

底面駆動による開いたキャピティ内の  
振動流の制御の数値解析

— 環境機能工学科 吉田 尚史

鋼とコンクリートの剥離を考慮した  
部分コンクリート充填鋼柱の動的解析

鋼製門型ラーメンはり腹板の動的弾塑性解析

— 社会開発工学科 清水 茂

ユビキタスネットワークにおける  
セキュアプリンティングシステムについて

— 情報工学科 新村 正明

色素を分散したチタニアゲルの光電流に与える  
水蒸気処理の効果

— 環境機能工学科 錦織 広昌

(財) 信州大学工学部 若里会





## 目 次

「技報こまくさ」第5号発刊に寄せて	信州大学名誉教授 財団法人信州大学工学部若里会理事長 柳沢 武三郎	3
バルク波を用いた温度補償型簡易溶液濃度センサー用温度補償回路	電気電子工学科 池田 清志	5
On the Locality of Dominance and Recombination in Multiobjective Evolutionary Algorithms	情報工学科 アギレ・エルナン	11
The Learning System of Shinshu University Graduate School of Science and Technology on the Internet	情報工学科 國宗 永佳	19
底面駆動による開いたキャビティ内の振動流の制御の数値解析	環境機能工学科 吉田 尚史	22
鋼とコンクリートの剥離を考慮した部分コンクリート充填鋼柱の動的解析 鋼製門型ラーメンはり腹板の動的弾塑性解析	社会開発工学科 清水 茂	26
ユビキタスネットワークにおけるセキュアプリンティングシステムについて	情報工学科 新村 正明	28
色素を分散したチタニアゲルの光電流に与える水蒸気処理の効果	環境機能工学科 錦織 広昌	34
研究助成受領者名簿		40



## 「技報こまくさ」第5号発刊に寄せて

信州大学名誉教授

財団法人信州大学工学部若里会 理事長 柳沢 武三郎

「技報こまくさ」の発行も回を重ね、今回、第5号を発刊出来ました。

森迫編集委員長はじめ委員の皆様、そして何よりも発刊のご趣旨にご賛同いただき、原稿を頂いてまいりました母校の先生方に心から厚く御礼を申し上げます。

本誌が、さらに一層充実したものに成ることを念願し、反省を込めて発行に至った経緯を簡単に述べさせていただきます。

ご承知のように、大学の先生方は、有為な人材の育成と学問を形成する研究を通して、広く社会の進展に寄与することが命題となっております。先生方は、専門分野の研究成果を国際的な学術機関でその成果を問う機会が、益々多くなっております。このような情勢は、特に若い先生方の出席にとりまして、大きな経済的負担を強いる状況となっております。

本会といたしましては、その負担軽減策の一助として、平成7年度から応募をはかり、助成を行っているところであります。

一方、本会の設立目的でもあります、社会的貢献に如何に寄与すべきか、常々考慮してきたところであります。

本誌は、以上述べてまいりました経過を踏まえ、先生方の発表論文を冊子にまとめ、平成14年度より本会が、県内の産業界及び工業教育界等へ配布させていただいているものであります。

ご感想、ご意見等をお寄せ頂きますよう、お願い申し上げます。ご挨拶といたします。



# バルク波を用いた温度補償型簡易溶液濃度センサー用温度補償回路

## Temperature-Compensation Circuits for Simple Solution-Concentration Sensor with Temperature Compensation Using Bulk Acoustic Waves

氏名：池田清志

所属：工学部 電気電子工学科 助手

発表会議名：2005年アメリカ合衆国電気電子学会 周波数制御国際会議

開催年月日：平成16年8月28日～8月31日

開催場所：カナダ ブリテッシュ・コロンビア州 バンクーバー市

ハイアット・リージェンシー・バンクーバーホテル

### 概要

この論文では、バルク音響波を用いた簡易型温度補償付溶液濃度センサー用の温度補償回路について述べている。溶液中を伝播する音速度の強い温度影響を除去するための温度補償回路（TCC）の設計法を解析した。溶液中の音速度が、溶液濃度と溶液温度の関数で表されるとして、基準溶液濃度と基準溶液温度でテイラー展開し、音速度の実験式を求めて、この実験式から導出された温度補償補償係数を用いて、温度補償回路の設計法を確立した。設計された温度補償回路を用いて、NaCl溶液を温度範囲 $24.9^{\circ}\text{C} \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ で温度の影響を全く受けない精度0.024%で溶液濃度を測定するPLL型溶液濃度センサーを開発した。

### 1. はじめに

溶液濃度センサーは、物理的および化学的原理に基づいた様々な技法が利用され、食品工業計測など広く工業計測分野に応用されている [1]。食品工業の醤油製造では、食塩濃度調整が製品の品質を左右する極めて大切な工程である。この工程での濃度測定は、モール法（滴定法）やボーマ計などの手法を用いて、常温環境の中で行われている。しかし測定精度は、 $\pm 0.2\%$ 位であるうえ、仕込みは昼夜何日間も連続して行われるために、この食塩濃度調整の高精度化および自動化の要望は、極めて強い [2]。

一方、果物ジュース・炭酸飲料・ソフトドリンク製造において、糖度調整は、味覚に主要な影響を与える工程である。果実飲料の規格調整は、手

持屈折計を用いて、常温環境の中で、行われている。測定精度は、 $\pm 0.2\%$ 位であり、接眼鏡をのぞいてBrix%目盛を読み取るという操作で行われるため、測定者により違いが生じるという難点がある。昼夜連続してソフトドリンクの製造をし、生産性を高めるためには、この糖度調整の自動測化が、強く叫ばれている。従って、醤油製造工程や食品・飲料工業の製造工程の食塩濃度や糖度調整を人手によらない簡易な技術を用いて、オンライン自動化を図り、省力化と生産性向上をすすめる手法が強く求められている。食品工業分野における溶液濃度の測定精度に要求される一つの目安は、標準的に0.01%位とされている [3]。

超音波を用いて溶液濃度を測ると、比較的精度よく連続的にモニタできる上、非接触で実現され

て衛生的となる利点がある。筆者は、汎用音響セルの送受波器間の位相差検出法(PDM)と位相差固定化法(PLLМ)による簡易な超音波溶液濃度測定法を開発した[3],[4]。温度影響の除去処理は、音速度の実測値を最小二乗法で求めた実験式から設計した温度補償回路(TCC)を用いて自動的に行った[5],[6]。しかし、この方法は、水と一成分混合物量のみを音速度変化に対応させて測定する原理に基づいているので、多成分系溶液濃度測定を連続的に、溶液の状態では困難である。多成分混合溶液の状態、短時間に各成分濃度を連続的に測定方法として、音響光学偏向素子(AOM)を用いた全く新しい簡易型溶液濃度センサーを先に提案し[7],[8]、温度補償係数を中心に検討した[9]。溶液中を伝播する音速度の強い温度影響を除去するための温度補償回路(TCC)の設計法を解析した。3 センサーの温度補償回路に共通な基本回路は、溶液温度・電圧変換回路(TVC)である。設計法を確立するために、TVCを解析し、線形化のための必要条件を求めた。さらに、PDM,PLLМ,AOMのTCC回路の温度補償の必要条件を音速度の実験式と回路パラメータを用いて導出した。解析した設計法で設計したTCCを用いたセンサー例の特性から、TCCの有効性を明らかにした。本報告では、センサー構成、温度補償係数、温度補償回路および温度除去特性を中心に述べる。

## 2. センサー構成

簡易型溶液濃度センサーの構成図を Fig.1 に示す。Fig.1 では、溶液濃度を送受波器間の位相差より、測定する方法(PDM)・電圧制御発振器(VCO)の発振周波数から、測定する方法(PLLМ1)・セル間距離から測定する方法(PLLМ2)を同時に表している。センサーは、破線で囲った音響セル(AC)・送波器駆動発振器(OSC:PDM)あるいは電圧制御発振器(VCO:PLLМ1)・位相検波器(PD)・帰還回路(FC:PLLМ1)・変位変換器(DT:PLLМ2)と可動受波器(MR:PLLМ2)から構成されている。FC,DT,および可動受波器(MR)

は点線で示す。

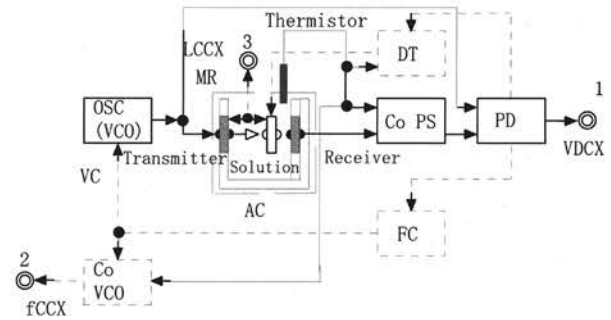


Fig.1:Block diagram of ultrasonic solution concentration sensor which automatically eliminates the dependence on temperature.

### 2.1 位相差の測定(PDM)

溶液中を伝播する音速度が、溶液濃度  $s$  と溶液温度  $t$  の関数  $F(s,t)$  として表すと、位相検波電圧  $V_D$  は、

$$V_D = K_A \sin(2\pi fl/F(s,t) + K) \quad (1)$$

となる。このとき、Fig.1 の端子 1 の  $V_{DCX}$  から、溶液濃度  $s$  を測ることができる。

### 2.2. ロック周波数の測定(PLLМ)

式(1)をロック周波数について解くと次式を得る。

$$f_C = K_B F(s,t)/2\pi l \quad (2)$$

位相差とセル距離を固定したとき、溶液中の超音波速度が、温度に依存しないで、溶液濃度に比例変化する測定構成を実現すると、Fig.1 の端子 2 の周波数  $f_{CCX}$  から、溶液濃度  $s$  を知ることができる。位相差を固定するために積分器と比較器からなる帰還回路(FC:点線で示す)を用いて、センサーシステムを構成する。帰還電圧で制御される送波器駆動発振器 OSC は、電圧制御発振器(VCO)される。

### 2.3. セル距離の測定

式(1)をセル距離について解くと、次式となる。

$$l_C = K_C F(s,t)/2\pi f \quad (3)$$

位相差と周波数を固定したとき、Fig.1 の端子 3 のセル距離  $L_{CCX}$  より溶液濃度を測る。



## 2.4. トラッカ電圧の測定(AOM)

Fig.2 に、超音波光回折効果型測定構成図を示す。超音波による光回折効果には、高次回折光まで生じさせるラマン-ナス回折と一次回折光のみを高い回折効率で生じさせるブラッグ回折とがある。基準値  $Q$  が 0.3 より小さいとき、ラマン-ナス回折が生じる。偏向された輝点位置を XY トラッカ電圧  $V_T$  に変換する。ビジコンと偏向された輝点との距離で決まる変換係数を  $k$  とすると、トラッカ電圧と偏向距離  $D_d$  の関係式は  $V_T = kD_d$  となり、溶液中の音速度  $V$  が溶液濃度  $s$  に応じて一次の関係式  $V = Ks$  で変化すれば、式(4)は次式となる。

$$V_T = kl \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{m\lambda f_a}{Ks}\right)\right) \quad (4)$$

したがって、溶液濃度  $s$  の変化でトラッカー電圧  $V_T$  が変化するので、トラッカ電圧から溶液濃度を測ることができる。

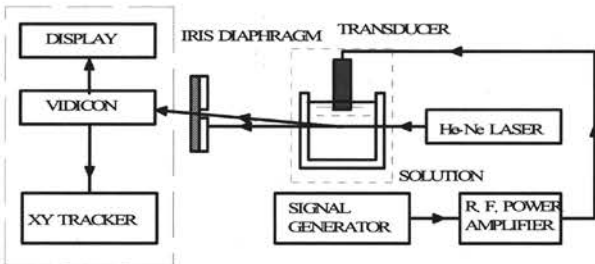


Fig.2 : Block diagram of solution-concentration sensor using ultrasonic light diffraction effect.

## 3. 温度補償係数

### 3.1 音速度の実験式

溶液中を伝播する音速度  $v$  を液体濃度  $s$  と液体温度  $t$  の関数  $v = F(s, t)$  として、基準濃度  $s_0$  と基準温度  $t_0$  でテイラー展開すると次式を得る。

$$v = F(t_0 + \Delta t, s_0 + \Delta s)$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \left( \Delta t \frac{\partial}{\partial t} + \Delta s \frac{\partial}{\partial s} \right)^n F(t_0, s_0) \quad (5)$$

上式を 3 次近似まで展開すると、近似的に次の

式で与えられる。

$$v = V_k + V_{t1}t + V_{t2}t^2 + V_{t3}t^3 + V_{t2s1}t^2s + V_{t1s1}ts + V_{s1}s. \quad (6)$$

PLLM と PDM の実験式の各係数を求め、TCC 回路の設計式とした。

### 3.2. 温度補償係数

#### 3.2.1. PDM

PDM の温度補償量  $\Theta_A$  は、セル間の位相差  $\theta$  式と式(6)から求まり、次式で与えられる。

$$\Theta_A = \Delta\theta / (t - t_1) = \frac{2\pi fl(V_T - V_{T1})}{V_{KNt}V_{KNt1}(t - t_1)} \quad (7)$$

ただし、

$$\begin{aligned} V_{KNt} &= V_k + V_T + V_{s1}s_N, \\ V_{KNt1} &= V_k + V_{T1} + V_{s1}s_N, \\ V_T &= V_{t1}t + V_{t2}t^2, \\ V_{T1} &= V_{t1}t_1 + V_{t2}t_1^2. \end{aligned}$$

$\Delta\theta$  は、溶液温度が、 $t_1$  から、 $t$  に変化した時の位相差変化量である。

#### 3.2.2. PLLM

PLLM の温度補償回路 Co VCC の温度補償量  $F_A$  は、式(2)と式 (8) から求まり、次式となる。

$$\begin{aligned} F_A &= \Delta f_C / (t - t_1) = (\Delta f_C / \Delta v) (\Delta v / (t - t_1)) \\ &= (\Delta f_C / \Delta v) k_T = K_B (V_t - V_{t1}) / 2\pi l (t - t_1). \end{aligned} \quad (8)$$

ただし、

$$V_t = V_{t1}t + V_{t2}t^2 \text{ and } V_{t1} = V_{t1}t_1 + V_{t2}t_1^2.$$

である。

#### 3.2.3. AOM

AOM の温度補償回路 Co VS の温度補償量

$V_{CF}$  は、式(4)と式 (6) から求まり、次式となる。

$$V_{CF} = \Delta V_T / (t - t_1) = \frac{V_{Tt} - V_{Tt1}}{(t - t_1)}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし、} \quad V_{Tt} &= kl \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{\lambda f_a}{V_k + V_t + 11.81s_N}\right)\right) \\ V_{Tt1} &= kl \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{\lambda f_a}{V_k + V_{t1} + 11.81s_N}\right)\right). \end{aligned}$$

## 4. 温度補償回路

### 4.1. 溶液温度電圧変換回路

Fig.3 に、液体温度・電圧変換回路 (TVC) を示す。サーミスタの接続された信号源インピーダンスを考慮した差動増幅器の等価電圧源と等価イ

ンピーダンスを  $V_{Ti}$ ,  $R_{Gi}$  とおいて、TVC の直線化条件式を求める。温度  $t_1 \sim t_2 \sim t_3$  でサーミスタ抵抗が  $R_{T1}, R_{T2}, R_{T3}$  の時、出力電圧  $V_O$  を線形化するには、 $R_A = R_O$ ,  $R_B = R_{T1}$  に選びかつ  $R_f > R_S$ ,  $R_{T1}, R_{T2}, R_{T3}$ ,  $R_O$  の関係を満たすように素子値を選び、 $R_S$  を次式を満足するように決定する。

$$\frac{1}{R_S} = \frac{R_{T1} - 2R_{T2} + R_{T3}}{R_{T1}R_{T2} + R_{T2}R_{T3} - 2R_{T1}R_{T3}} - \frac{1}{R_O} \quad (10)$$

このときの温度範囲( $t_1 \sim t_2 \sim t_3$ )での出力電圧  $V_{O_i}$  は、次式となる。

$$V_{O_i} = \frac{R_f}{R_S + \frac{R_O R_{T_i}}{R_O + R_{T_i}}} \cdot \left\{ \frac{R_{Sf} + \frac{R_O R_{T_i}}{R_O + R_{T_i}}}{R_{Sf} + \frac{R_B R_A}{R_A + R_B}} \cdot \frac{R_B V_r}{R_A + R_B} - V_{T_i} \right\} \quad (11)$$

ただし、 $R_{Sf} = R_S + R_f$ ,

$$V_{T_i} = \frac{R_{T_i}}{R_O + R_{T_i}} V_r, \quad R_{G_i} = \frac{R_O R_{T_i}}{R_O + R_{T_i}}, \quad (i = 1, 2, 3)$$

である。

添え字は、温度  $t_i$  ( $i=1,2,3$ )に対応した値である。 $R_{T_i}$  は温度  $t=t_i$  の時のサーミスタ抵抗値である。出力電圧を温度補償量の仕様値を満足する値に電圧レベル変換して、温度補正することで、温度キャンセル処理された溶液濃度に対応した検出電圧が得られる。

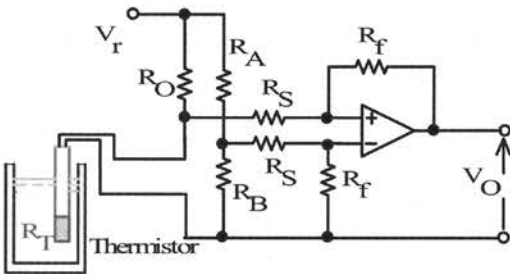


Fig.3: Solution temperature-to voltage converter

#### 4.2. 設計回路と特性

温度範囲を温度  $t_1=10^\circ\text{C}$ ,  $t_2=25^\circ\text{C}$ ,  $t_3=40^\circ\text{C}$  でサーミスタ抵抗が  $R_{T1}=1.871\text{k}\Omega$ ,  $R_{T2}=1.067\text{k}\Omega$ ,  $R_{T3}=0.650\text{k}\Omega$  となり、式(10)に各数値を代入し  $R_S$  を求めた。 $R_A = R_O = 0.710\text{k}\Omega$  および  $R_B = R_{T1} = 1.871\text{k}\Omega$  の時、 $R_S=42.9\text{k}\Omega$  となり、 $R_S \approx 43\text{k}\Omega$  に選んだ。構成回路の基準電圧供給用 IC に AD581 を用い、オペアンプには、温度特性の優れた OP07 を用いた。式(11)に各諸量を代入して、出力電圧  $V_O$  を求めた。この結果

$V_O=2.870\text{V}$  を得た。設計製作した構成回路の特性を測定した結果、 $t_1=10^\circ\text{C}$ ,  $t_2=25^\circ\text{C}$ ,  $t_3=40^\circ\text{C}$  で出力電圧  $V_O=0.006\text{V}, 2.847\text{V}, 5.581\text{V}$  を得た。また、式(11)から求めた計算値は、 $0.000\text{V}, 2.870\text{V}, 5.710\text{V}$  となった。Fig.4 には、温度と線形化電圧回路の特性を示す。 $10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$  での温度に対する電圧感度は、 $0.190\text{V}/^\circ\text{C}$  となった。従って、温度補正をするとき、この数値を基に TCC を設計する必要がある。PDM では、この TVC 回路と位相推移回路を組み合わせ Co PS を設計し、PLL M では、VCO と組み合わせ Co VCO を設計した。PDM の Co PS、PLL M の Co VCO、AOM の Co VS 設計に必要な温度補償係数の一覧結果を Table1 にまとめて示す。

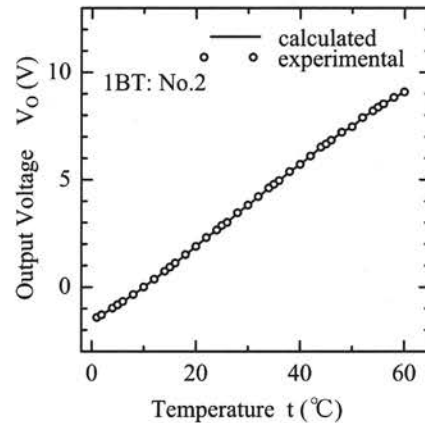


Fig. 4 : The output voltage of linearized circuit observed over temperature range of 0 to 60 °C.

#### 4.3. TCC のブロック構成図

Fig.5 に、PDM、PLL M および溶液濃度 AOM の温度補償回路のブロック図を示す。PLL M の温度補償するための、サーミスタ抵抗の条件式は、次式でとなる。

$$R_{TX1} = f_1(\text{parameter of TCC}) \quad (12)$$

$$R_{TX2} = f_2(\text{parameter of TCC}) \quad (13)$$

$$\frac{1}{R_S} = \frac{R_{TX1} - 2R_{TS} + R_{TX2}}{R_{TX1}R_{TS} + R_{TS}R_{TX2} - 2R_{TX1}R_{TX2}} - \frac{1}{R_O} \quad (14)$$

ただし、 $R_{TS}$  は温度  $t$  でのサーミスタ抵抗値である。(溶液温度  $t = \frac{t_2 - t_1}{2}$ )

#### 5. 温度除去特性

Fig.6 に PLL M の補償前後の NaCl 溶液の溶液温とロック周波数の関係を示す。位相ロックする

動作範囲内(24.9°C±2.1°C)で温度依存しない温度範囲(24.9°C±1.3°C)を得た。PDM と PLLM で実

際に得られた温度補償結果を Table 2 にまとめて示す。

Table 1. The comparison between temperature-compensation factor.

sensor type	PDM (FET type)	PDM (VD type)	PLLM	AOM
experimental	34.0 deg/°C	34.6 deg/°C	3.36 kHz/°C	9.65mV/°C
calculated	34.2 deg/°C	34.2 deg/°C	3.38 kHz/°C	9.49mV/°C
temperature range	25°C±2°C	25°C±2°C	25°C±2°C	25°C±2°C

Table 2. The comparison between temperature-compensation range through use of PDM and PLL.

method(solution secimen)	PDM(NaCl solution)	PDM(sugar solution)	PLLM(NaCl solution)
temperature range	25.4°C ±1.0°C	25.2°C ±0.9°C	24.9°C ±1.3°C

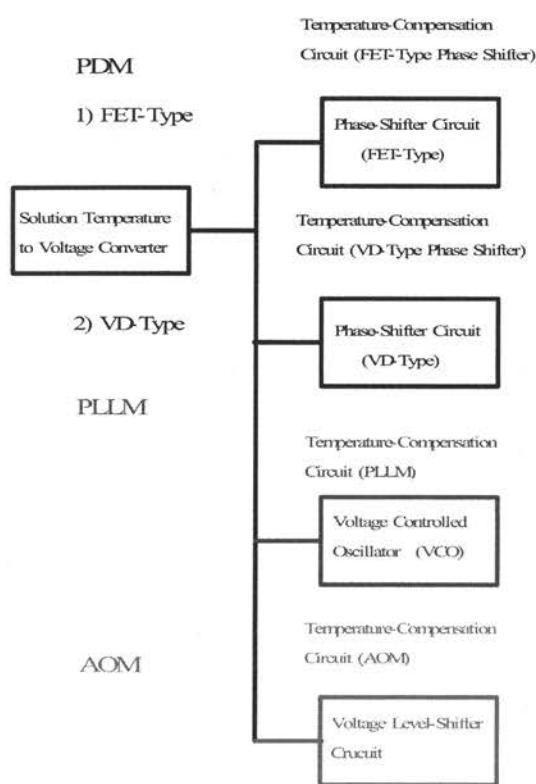


Fig.5 : Block diagram of TCC for PDM ,PLLM and AOM.

## 6. おわりに

PDM, PLLM および AOM 型簡易溶液濃度センサーの温度補償回路の設計法を述べた。本設計法を用いて設計された温度補償型溶液濃度センサーで、砂糖溶液を 25°C±0.9°C で NaCl 溶液を 25.4°C±1.4°C で温度の影響を受けない精度 0.01%の PDM 装置を開発した。PLLM では、NaCl 溶液を 24.9°C±1.3°C で温度の影響を受け

ずに精度 0.024%で溶液濃度を測定する装置を開発した。AOM 型温度補償回路の温度補償係数を検討した結果、NaCl 溶液濃度範囲 0.0-1.0%の計算値は、温度範囲 (25.0°C±2.0°C) 超音波周波数  $f_c=29.998\text{MHz}$  で 9.49mV/°Cとなり、実測値 9.65 mV/°Cとよく一致した知見を得た。

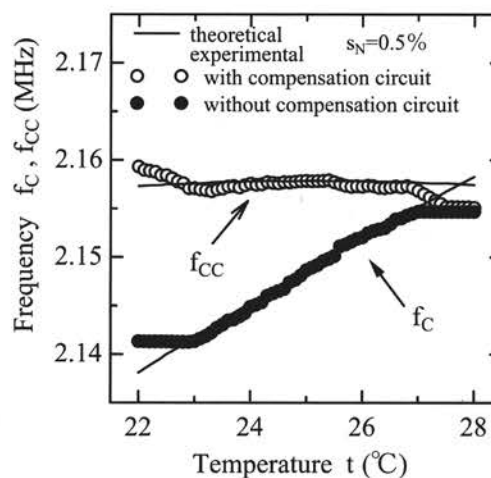


Fig.6 : Phase-locked frequency with (open circles) and without (closed circles) compensation circuit observed over range 22-28°C. Sample is a 0.5% NaCl solution.

## 謝辞

本研究の一部は、財団法人 信州大学工学部若里会よりご援助を賜ったので、記して感謝の辞を表します。

## 参考文献

- [1] Edited by Erika Kress-Rogers, "Instrumentation and Sensors for the Food Industry," Oxford, Butterworth-Heinemann Ltd,1993.
- [2] The S.A. of Teq.for Food Industry On-Line Sensor," Food Industry and Sensor," Tokyo, Korin Press, 1991.
- [3] K. Ikeda, "Ultrasonic liquid-concentration sensor with temperature compensation," IEEE FCS, pp.652-659,1998.
- [4] K. Ikeda, "Simple solution-concentration sensor with temperature compensation using ultrasonic waves," IEEE FCS, pp.87-90,2000.
- [5] K. Ikeda, "Ultrasonic measurement of sound velocity in liquids which automatically eliminates temperature dependence," IEEE US, pp.1197-1202,1998.
- [6] K. Ikeda, "Automatic ultrasonic measurement of sound velocity in liquids by a phase-locked loop method," Joint Meeting of 13th EFTF and 1999 IEEE FCS, pp.1089-1092,1999.
- [7] K. Ikeda, "Solution-Concentration sensor using ultrasonic light diffraction effect," IEEE FCS, pp.248-254, 2002.
- [8] K. Ikeda, "Measurement of concentration in solution using ultrasonic light diffraction effect based on Raman-Nath mode," Westprac VIII, TE21, April, Melbourne, Australia, 2003.
- [9] K. Ikeda, "Temperature-compensation factor for measuring of concentration in solution using ultrasonic light diffraction effect," 2004 IEEE UFFC Joint 50<sup>th</sup> Anniversary Conference, pp.1860-1863, 2004.



# On the Locality of Dominance and Recombination in Multiobjective Evolutionary Algorithms

Hiroyuki Sato                      Hernán E. Aguirre                      Kiyoshi Tanaka  
Faculty of Engineering, Shinshu University  
4-17-1 Wakasato, Nagano, 380-8553 JAPAN  
Email: {sato@iplab, ahernan@gipwc, ktanaka@gipwc}.shinshu-u.ac.jp

**Abstract**—This work studies and compares the effects on performance of local dominance and local recombination applied with different locality in multiobjective evolutionary algorithms on combinatorial multiobjective problems. For this purpose, we introduce a method that creates a neighborhood around each individual and assigns a local dominance rank after rotating the principal search direction of the neighborhood by using polar coordinates in objective space. For recombination a different neighborhood determined around a random principle search direction is created. The neighborhood sizes for dominance and recombination are separately controlled by two different parameters. Experimental results show that the optimum locality of dominance is different from the optimum locality of recombination. Additionally, it is shown that the performance of the algorithm that applies local dominance and local recombination with different locality is significantly better than the performance of algorithms applying local dominance alone, local recombination alone, or dominance and recombination globally as conventional approaches do.

## I. INTRODUCTION

Multiobjective evolutionary algorithms (MOEAs) [1], [2] are being increasingly investigated for solving multi-objective optimization problems. MOEAs are particularly suitable for this task because they evolve simultaneously a population of potential solutions to the problem in hand, which allows us to search a set of Pareto optimal solutions in a single run of the algorithm. Main features of state of the art MOEAs approaches [1], [2] are that selection incorporates elitism and it is biased by Pareto dominance and a diversity preserving strategy in objective space. Also, in discrete search spaces, recombination is usually implemented as one-point or two-point crossover and mutation as the standard bit flipping method. Some approaches also include specialized mutation operators to perform local search. In this work we focus on the locality of dominance and recombination.

The conventional approach to calculate dominance has been using the whole population, i.e. *global dominance*. Global dominance has been shown to offer important advantages to MOEAs. It helps to push the search towards higher fronts and is thought to be effective for problems with convex and non-convex fronts. A potential problem with this conventional approach is that some global non-dominated solutions may have a too strong influence and may undermine the contribution of other solutions that, although globally dominated, have the potential to make

the entire population diverse in objective space. In other words, a solution may globally dominate a broad region but may not be the best point from which to reach other not yet found non-dominated solutions.

The conventional approach to recombination has also been using the whole population for mating, i.e. *global recombination*, though there are several reports in the literature in which the benefits of mating restrictions have been studied [3], [4], [5]. Mating restrictions, particularly in objective space, could be especially important in some combinatorial discrete problems where there is not a clear correlation between objective and decision space.

From these points of view, aiming to accomplish an efficient search for well-distributed Pareto optimal solutions (POS), a method to enhance MOEAs that performs a distributed search based on *local dominance* and *local recombination* was proposed [6]. In this method, first, fitness vectors of all individuals are transformed to polar coordinate vectors in the objective function space and the population is recursively divided into several sub-populations by using declination angles. Next, *local dominance* for individuals belonging to each sub-population is calculated based on the local search direction. Then, selection, recombination, and mutation are locally applied to individuals within each sub-population.

The simultaneous application of local dominance and local recombination was shown to greatly improve the performance of MOEAs [6] in multiobjective combinatorial discrete problems. In the population division method based on polar coordinates the degree of locality, i.e. the number of sub-populations and sub-population size, is controlled by a parameter. However this method imposes the same degree of locality in objective space for both dominance and recombination and it is not clear the individual contributions to the overall performance of local dominance and local recombination.

The same recursive population division method based on polar coordinates was used to study the effects from dominance and recombination in two different extreme scenarios[7]. The first scenario fixed global recombination varying the degree of locality for dominance, i.e. applied population division only to calculate dominance. The second one fixed global dominance varying the degree of locality for recombination, i.e. applied population division only to perform recombination. This latest study strongly suggested that different degrees of locality for dominance

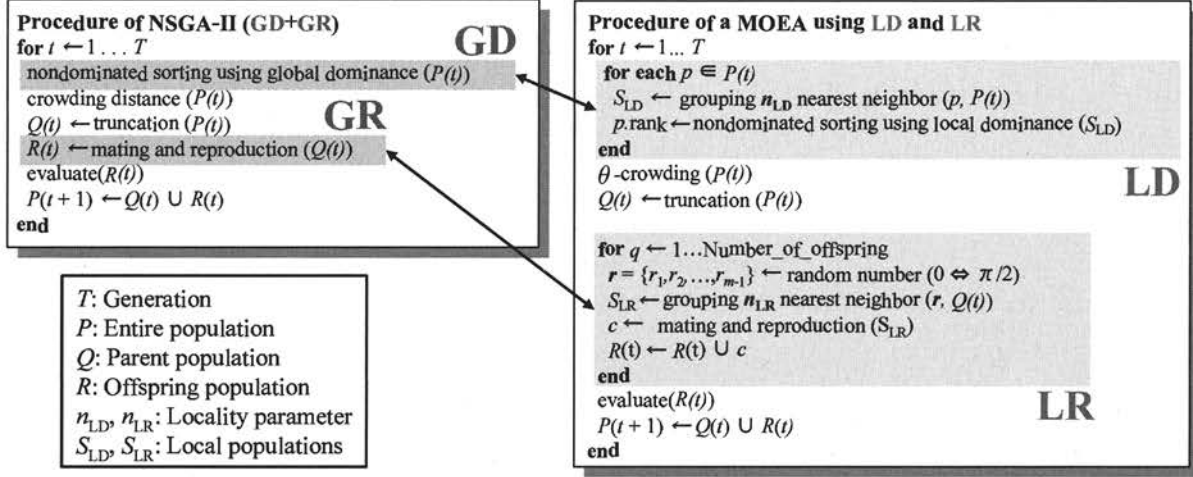


Fig. 1. Comparison of two algorithms: NSGA-II using Global Dominance (GD) and Global Recombination (GR) and our method using Local Dominance (LD) and Local Recombination (LR)

and recombination might lead MOEAs to higher performance.

The objective of this work is to study and compare the effects on performance of applying simultaneously dominance and recombination using different locality in multiobjective evolutionary algorithms on combinatorial multiobjective problems. In order to accomplish this purpose we introduce a method that creates a neighborhood around each individual and assigns a local dominance rank after rotating the principal search direction of the neighborhood by using polar coordinates in objective space. For recombination a different neighborhood determined around a random principle search direction is created. The neighborhood sizes for dominance and recombination are separately controlled by two different parameters. Note that in this paper we focus on observing the effects of locality on performance without concerning about the computational cost. As benchmark problems 0/1 multiobjective knapsack problems with two and three objectives ( $m = \{2, 3\}$ ) are used in our study.

## II. METHOD

In this section we explain in detail the method used to study the effects of dominance and recombination using different locality. A conventional NSGA-II [8] is chosen as a representative of MOEAs that apply dominance and recombination globally using the whole population to contrast with the method used in this study. The procedures of a conventional NSGA-II and our method using local dominance and local recombination are illustrated in Fig. 1, where the difference between both algorithms and the details needed to consider locality in our method are highlighted.

The main steps of our method at each generation are as follows: 1) Calculate *Local Dominance (LD)* for each individual in the population  $P(t)$ , 2) Assign a  $\theta$ -crowding factor to each individual, 3) Truncate the population  $P(t)$  to obtain the parent population  $Q(t)$ , 4) Create the offspring population  $R(t)$  from  $Q(t)$  applying *Local*

*Recombination (LR)*, 5) Evaluate the offspring population  $Q(t)$ , and 6) Joint the parent and offspring population to create the new population  $P(t+1)$  for the next generation.

### A. Local Dominance (LD)

To calculate local dominance of the individuals in the population  $P(t)$  first the fitness vector of each individual is transformed to polar coordinates in the objective function space, i.e. an individual  $p$  is expressed by a norm  $r_p$  and  $m - 1$  declination angles  $\theta_{1,p}, \theta_{2,p}, \dots, \theta_{m-1,p}$ , where  $m$  is the number of objectives. Second, the neighborhood for local dominance  $S_{LD}$  of individual  $p$  is temporally created as a local sub-population by choosing the  $n_{LD}$  closest individuals to  $p$  from the entire population  $P(t)$ . The closeness  $\delta_{p,x}$  between an individual  $p$  and another individual  $x$  is determined by their declination angles to each axis of objective function as follows<sup>1</sup>

$$\delta_{p,x} = \sum_{i=1}^{m-1} |\theta_{i,p} - \theta_{i,x}|. \quad (1)$$

Note that  $p$  is part of its neighborhood since  $\delta_{p,p} = 0$ . Third, a principle search direction  $\{\hat{\theta}_{1,p}, \hat{\theta}_{2,p}, \dots, \hat{\theta}_{m-1,p}\}$  for the neighborhood  $S_{LD}$  is established by calculating the angle difference between extreme individuals in the neighborhood of  $p$ . That is,

$$\hat{\theta}_{i,p} = \frac{(\theta_{i,p}^{max} - \theta_{i,p}^{min})}{2} + \theta_{i,p}^{min} \quad (2)$$

where  $\theta_{i,p}^{max} = \max\{\theta_{i,x_1}, \theta_{i,x_2}, \dots, \theta_{i,x_{n_{LD}}}\}$ ,  $\theta_{i,p}^{min} = \min\{\theta_{i,x_1}, \theta_{i,x_2}, \dots, \theta_{i,x_{n_{LD}}}\}$ , and  $x_j \in S_{LD}$ . Next, the principle search direction is rotated by  $\{\hat{\theta}_{1,p} - \pi/4, \hat{\theta}_{2,p} - \pi/4, \dots, \hat{\theta}_{m-1,p} - \pi/4\}$ , so that all its declination angles would be  $\pi/4$ . Accordingly, all individuals in the local sub-population are rotated by the same rotation angles, so their declination angles would be around  $\pi/4$ . Finally, a

<sup>1</sup>Eq. (1) can also be calculated by using the inner product and norms of two vectors. However, here we use the declination angles calculated in advance to perform rotation.

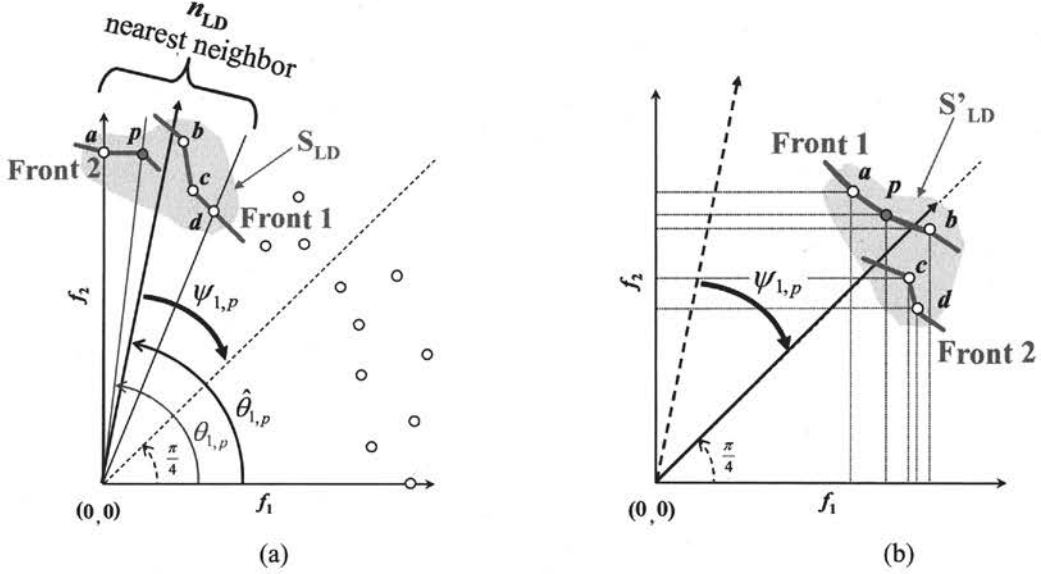


Fig. 2. Neighborhood creation, its rotation, and the obtained fronts after non-dominance sorting in the calculation of Local Dominance (LD)

non-dominance sorting procedure is applied to the rotated neighborhood  $S'_{LD}$ , and  $p$  is assigned a rank equal to the non-dominated front it belongs to. **Fig. 2** illustrates for two objectives the neighborhood creation, its rotation, and the fronts obtained with non-dominance sorting before and after rotation.

Varying the number of elements in the neighborhood  $n_{LD} \leq |\mathcal{P}(t)|$  we can control the degree of locality for dominance. In the extreme,  $n_{LD} = |\mathcal{P}(t)|$ , we have global dominance as in the case of conventional NSGA-II.

### B. Expected Effect from Local Dominance

The rotation of the sub-population changes dominance relationships among solutions. This increases the chance of selecting promising solutions rather than conventional schemes that apply global dominance. As shown in **Fig. 2** (a), if we calculate dominance with a conventional scheme, say NSGA-II, individuals  $a$  and  $p$  would be assigned a lower rank and dismissed with high probability in the parent selection process since they appear globally dominated by  $b$ . On the other hand, if we take into account the principle search direction of  $S_{LD}$  and properly rotate declination angles, as shown in **Fig. 2** (b), promising individuals  $a$  and  $p$  become non-dominated solutions, which would induce a better coverage of under-represented regions in the set of non-dominated solutions found so far. In this example,  $a$  and  $p$  have the potential to disperse the distribution of solutions to the direction of objective function  $f_2$ .

### C. Local Recombination (LR)

In our method offspring is created one at the time as shown in **Fig. 1**. To create one offspring first we specify a random principle search direction  $\mathbf{r} = \{r_1, r_2, \dots, r_{m-1}\}$ , where  $0 \leq r_i \leq \pi/2$ . Second, a neighborhood for local recombination  $S_{LR}$  is temporally created as a local sub-population around  $\mathbf{r}$  by choosing the  $n_{LR}$  closest individu-

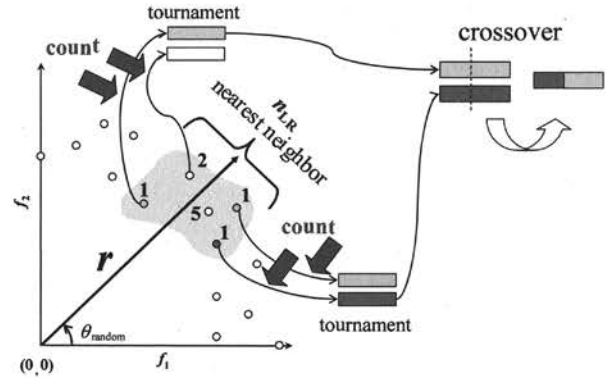


Fig. 3. Neighborhood creation and mating for Local Recombination (LR)

als to  $\mathbf{r}$  from the parent population  $\mathcal{Q}(t)$ . The same notion of closeness specified by **Eq. (1)** is used here but using  $\mathbf{r}$  instead of the declination angles of  $p$ ,  $\delta_{\mathbf{r},x}$ . Third, mating is performed within the neighborhood  $S_{LR}$  and then recombination followed by mutation are carried out. For mating binary tournament selection is used similar to NSGA-II [8], but we enforce equal participation in the tournaments. To accomplish that we keep for each individual in the parent population  $\mathcal{Q}(t)$  a counter showing the number of times it has participated in a tournament and select the individuals that will undergo a binary tournament randomly from among those with smallest value in its counter. Note that the individual's counters are not re-initialized until all offspring have been created. A tournament winner is a solution with better ranking of local non-dominance. If two solutions have similar ranking, the solution with lower  $\theta$ -crowding factor wins. **Fig. 3** illustrates the neighborhood creation and mating for Local Recombination (LR).

Varying the number of elements in the neighborhood  $n_{LR} \leq |\mathcal{Q}(t)|$  we can control the degree of locality for

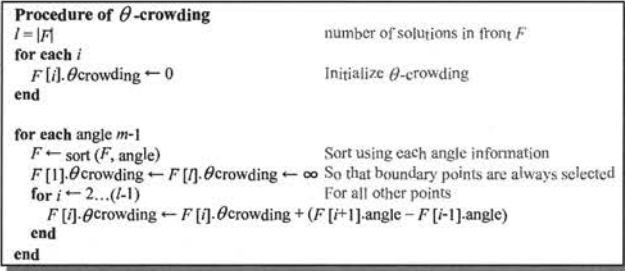


Fig. 4. Calculation of  $\theta$ -crowding algorithm

recombination. In the extreme,  $n_{LR} = |Q(t)|$ , we have global recombination as in the case of conventional NSGA-II.

#### D. $\theta$ -crowding

$\theta$ -crowding is used to calculate the crowding factor of each solution in our method. The procedure to calculate  $\theta$ -crowding is inspired from the crowding distance procedure used by NSGA-II but it uses differences of declination angles rather than differences of fitness values to estimate density among solutions in objective space.

The procedure of  $\theta$ -crowding is illustrated in Fig. 4. First, it initializes the  $\theta$ -crowding factor of all solutions to 0. Second, it sorts the population by declination angle  $\theta_1$ . Third, it assigns a large value of crowding distance to extreme solutions so that boundary points would always appear less crowded than other points. For each point  $i$ , except extreme ones, it computes the angle's difference between its immediate neighbors points  $i-1$  and  $i+1$  and accumulates this value as the  $\theta$ -crowding factor of the solution. The above second and third steps are repeated for all  $m-1$  declination angles. Fig. 5 illustrates for two objectives the main difference between crowding distance  $D$  used in NSGA-II and  $\theta$ -crowding  $\Theta$  used in our method.

### III. PREPARATION

#### A. Benchmark Problems

In this paper we use multiobjective 0/1 knapsack problems [9] as benchmark problems to study and compare the effects on search performance of our method, which can control the locality for dominance and recombination. The problem (KP $n$ - $m$ ) is formulated to maximize the function

$$f_j(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_{i,j} \quad (3)$$

subject to

$$g_j(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_{i,j} \leq W_j \quad (4)$$

where  $x_i \in \{0, 1\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) are elements of solution vector  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , which gives a combination of items. Thus, we use binary representation in this work. Note that here we are interested in finding a set of

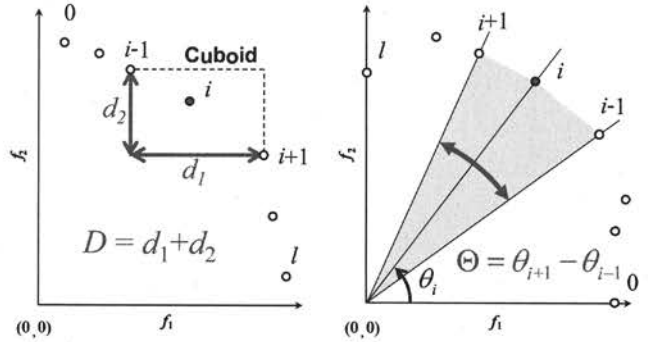


Fig. 5. Comparison of crowding distance  $D$  and  $\theta$ -crowding  $\Theta$

non-dominated Pareto optimal solutions (POS). Also,  $p_{i,j}$  and  $w_{i,j}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) denote profit and weight of item  $i$  according to knapsack (objective)  $j$ .  $W_j$  is the capacity of knapsack  $j$ , and solutions not satisfying this condition are considered as infeasible solutions  $\bar{F} = (S - F)$ . In this paper, we use benchmark problems with  $m = \{2, 3\}$  objectives downloaded from [10], for which we know the true POS only in case of two objectives  $m = 2$ .

#### B. Metrics

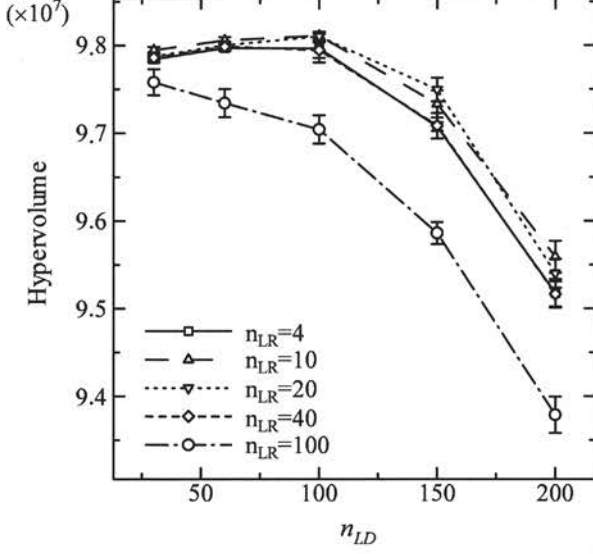
The hyper-volume ( $HV$ ) is used as a metric to evaluate POS obtained by MOEAs.  $HV$  measures the  $m$ -dimensional volume of the region in objective space enclosed by the non-dominated solutions in the set of POS and a dominated reference point [11]. Here we use  $(f_1, f_2, \dots, f_m) = (0, 0, \dots, 0)$  as the reference point to calculate  $HV$ . POS showing higher  $HV$  can be considered as better POS from both convergence and diversity viewpoints. The hyper-volume metric is a reliable metric and it is among the few recommended metrics to compare non-dominated sets [12].

To provide additional information separately on convergence and diversity of POS in this work we also use Inverse Generational Distance ( $IGD$ ) [6] and Spread ( $SP$ ) [1], respectively.  $IGD$  takes the average distance for all members in the true Pareto front to their nearest solutions in the obtained POS (exactly the inverse process followed by Generational Distance  $GD$  [13]). POS showing smaller  $IGD$  can be considered as better POS satisfying convergence condition. Note that  $IGD$  gives a small value only if all members of the obtained POS dispersively converge to all members of the true POS ( $GD$  becomes small even if the members of the obtained POS converge only to some of the members in the true Pareto front, which makes  $GD$  unreliable). On the other hand, Spread ( $SP$ ) measures the degree of dispersion on the distribution of the obtained POS. POS showing smaller  $SP$  can be considered as better POS satisfying diversity condition.

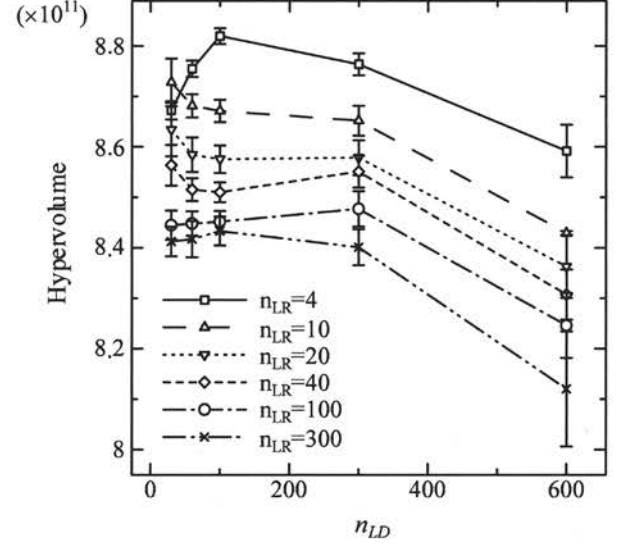
#### C. Genetic Parameters

We adopt two-point crossover with a crossover probability  $p_c = 1.0$  for recombination, and apply bit-flipping mutation with a mutation probability  $p_m = 1/n$ . In the following experiments, we show the average performance



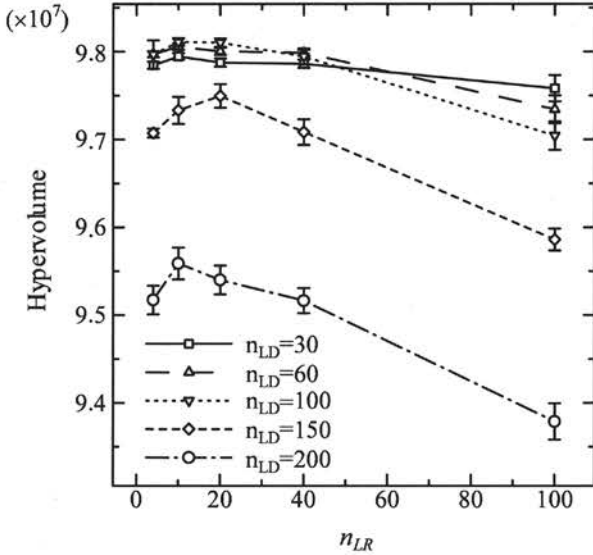


(a) KP250-2,  $m = 2$  objectives

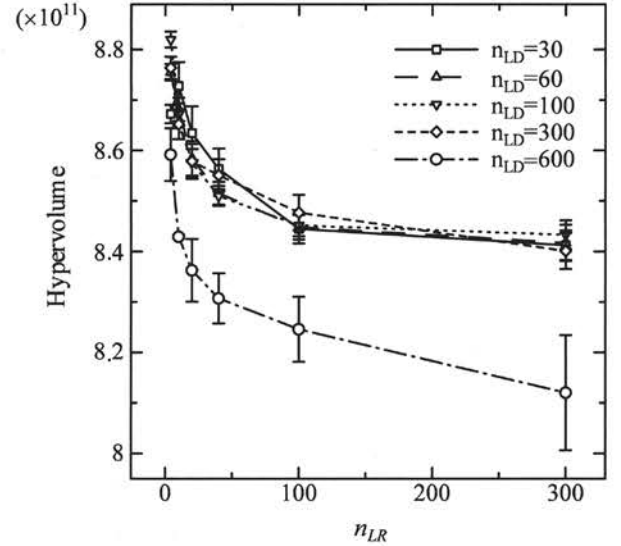


(b) KP250-3,  $m = 3$  objectives

Fig. 6. Effect of local dominance's neighborhood size  $n_{LD}$  on the hypervolume  $HV$  of obtained POS in problems with  $n = 250$  objects



(a) KP250-2,  $m = 2$  objectives



(b) KP250-3,  $m = 3$  objectives

Fig. 7. Effect of local recombination's neighborhood size  $n_{LR}$  on the hypervolume  $HV$  of obtained POS in problems with  $n = 250$  objects

with 30 runs, each of which spent 2,000 generations. Population sizes are set to  $|P| = \{200, 600\}$  for  $m = \{2, 3\}$  objectives, respectively. The parent and offspring population sizes  $|Q|$  and  $|R|$  are set to half the population size  $|P|$ , i.e.  $|Q| = |R| = \{100, 300\}$  for  $m = \{2, 3\}$  objectives, respectively.

#### IV. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

##### A. Effect of Locality for Dominance

First we illustrate the effect of *local dominance* on the performance of the proposed method by reducing the size of the neighborhood  $n_{LD}$ . **Fig. 6** shows the hypervolume  $HV$  of obtained POS over local dominance's

neighborhood size  $n_{LD} = \{200 = |P|, 150, 60, 30\}$  and  $n_{LD} = \{600 = |P|, 300, 100, 60, 30\}$  for  $m = \{2, 3\}$  objectives, respectively, in problems with  $n = 250$  objects. It should be noted that for  $n_{LD} = |P| = 200$  and  $n_{LD} = |P| = 600$  in  $m = \{2, 3\}$  objectives, respectively, the neighborhood size is the same as the population size and therefore we have global dominance similar to NSGA-II.

Each one of the lines plotted in **Fig. 6** shows results for different neighborhood sizes for local recombination  $n_{LR}$ . Results are included for  $n_{LR} = \{100 = |Q|, 40, 20, 10, 4\}$  and  $n_{LR} = \{300 = |Q|, 100, 40, 20, 10, 4\}$  for  $m = \{2, 3\}$  objectives, respectively. Note that for  $n_{LR} = |Q| = 200$  and  $n_{LR} = |Q| = 300$  in  $m = \{2, 3\}$  objectives the

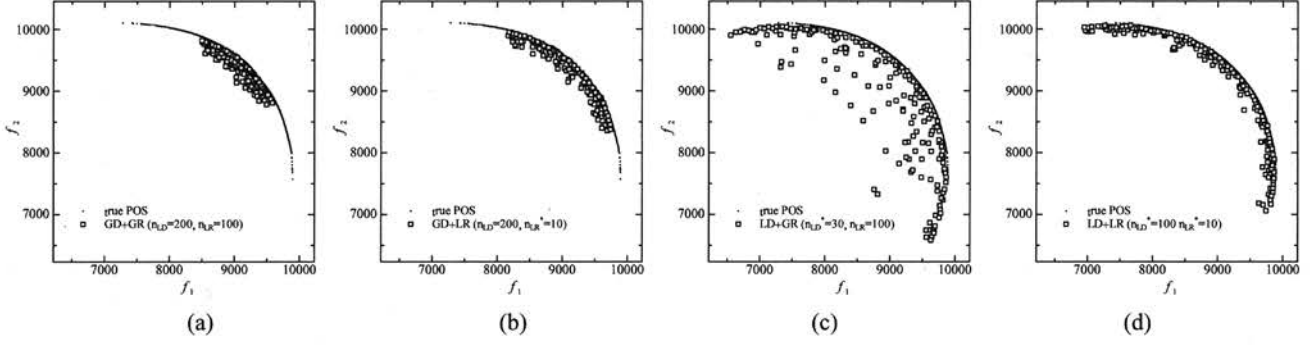


Fig. 8. Final populations obtained by using global/local dominance and global/local recombination in problem KP250-2,  $m = 2$  objectives

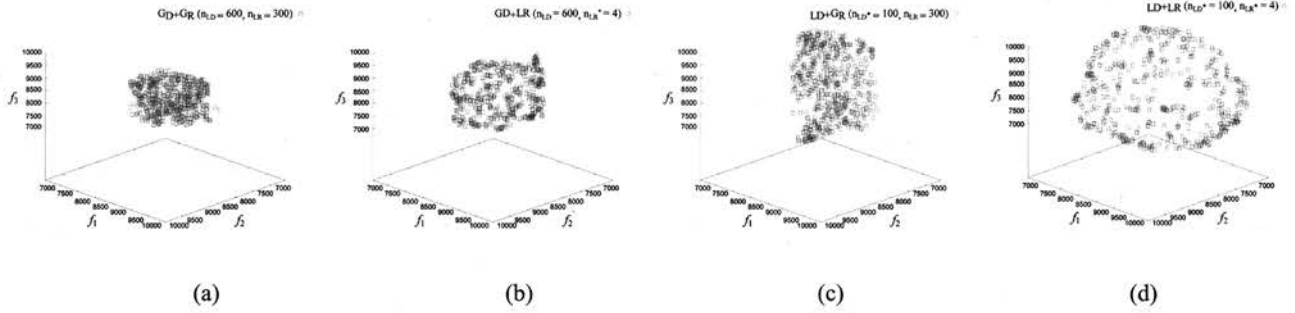


Fig. 9. Final populations obtained by using global/local dominance and global/local recombination KP250-3,  $m = 3$  objectives

neighborhood size is the same as the parent population size and therefore we have global recombination similar to NSGA-II.

From Fig. 6 the following observations are relevant. As we vary the degree of locality for dominance from global to local we can see that performance of the algorithm improves remarkably in both two and three objectives problems, i.e. achieves larger values of  $HV$ . Improvements due to local dominance are observed for any level of locality for recombination, including the case where global recombination is used; see the lines for  $n_{LR} = 100$  and  $n_{LR} = 300$  in  $m = \{2, 3\}$  objectives, respectively. There is an optimal region of locality for dominance around  $n_{LD} = 100$  for both two and three objectives. Allowing local recombination in addition to local dominance improves further the performance of the algorithm, see lines for  $n_{LR} < 100$  and  $n_{LR} < 300$  in  $m = \{2, 3\}$  objectives, respectively (see details in next subsection IV-B).

### B. Effect of Locality for Recombination

Second, we illustrate the effect of *local recombination* on the performance of the algorithm by reducing the size of the neighborhood  $n_{LR}$ . Fig. 7 shows the hypervolume  $HV$  of obtained POS over local recombination's neighborhood size  $n_{LR}$  by including the same data presented in Fig. 6 to observe the phenomenon from a different viewpoint.

From Fig. 7, as we vary the degree of locality for recombination from global to local we can see that the performance of the algorithm improves for any level of locality for dominance in both two and three objectives

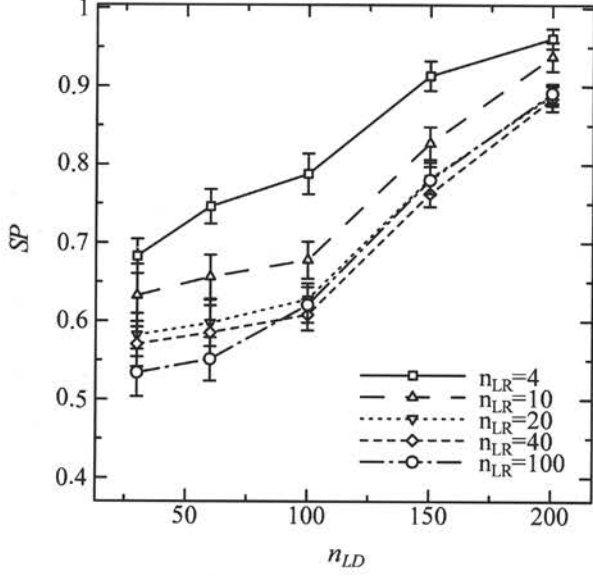
problems. Also, there is an optimal region of locality for recombination around  $n_{LR} = 10 \sim 20$  in  $m = 2$  objectives, while  $n_{LR} = 4$  (smallest value) in  $m = 3$  objectives. This changes the shape of the plots in Fig. 7 (a) and (b).

The worst performance is for  $n_{LD} = |P|$  and  $n_{LR} = |Q|$ , where the algorithm performs global dominance and global recombination. Fixing global dominance, looking at the lines where  $n_{LD} = |P| = \{200, 600\}$ , we can observe the improvement achieved by local recombination. These improvements are in accordance to previous works reporting the benefits of mating strategies that favor recombination of individuals located close to each other in the objective space (see, for example, [14]). However, it should be noted that performance improvement by including local dominance is much bigger than that by including local recombination. Particularly, for  $m = 2$  objectives, the difference is quite significant. See that the best performance achieved by including local dominance in case of global recombination is by far better than the best performance by local recombination alone in case of global dominance. However, for  $m = 3$  objectives the performance improvement by including local recombination becomes big as shown by Fig. 7 (b).

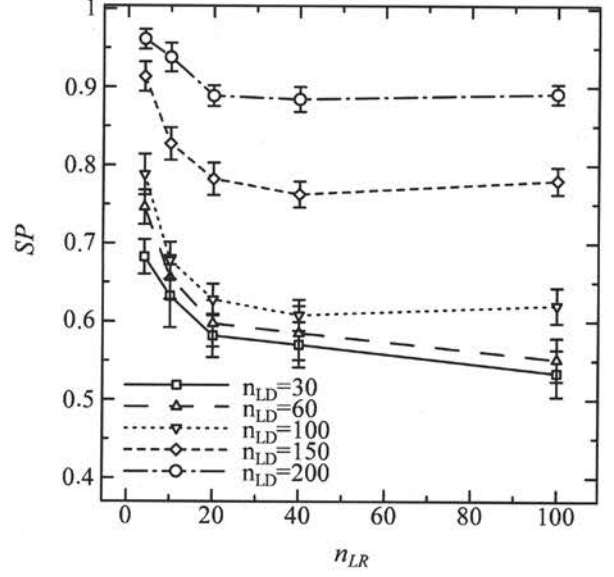
We could obtain the best performance by using optimal parameters  $(n_{LD}^*, n_{LR}^*) = (100, 10)$  for  $m = 2$  objective and  $(100, 4)$  for  $m = 3$  objectives, respectively.

### C. Distribution of the Obtained Final Population

Fig. 8 plots the population at the last generation ob-

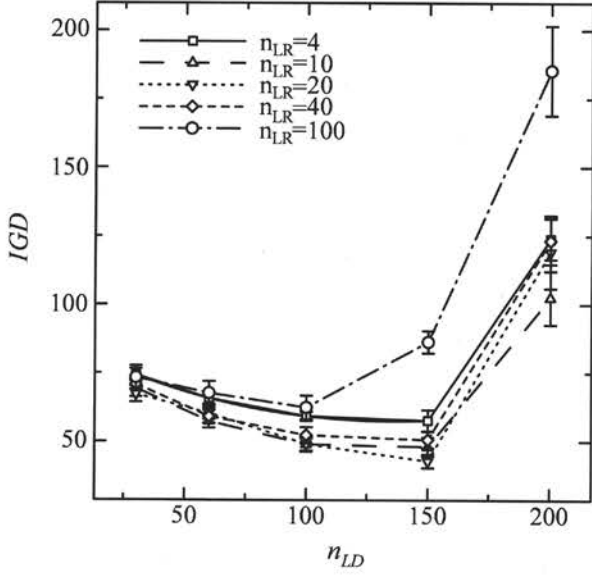


(a) Local dominance

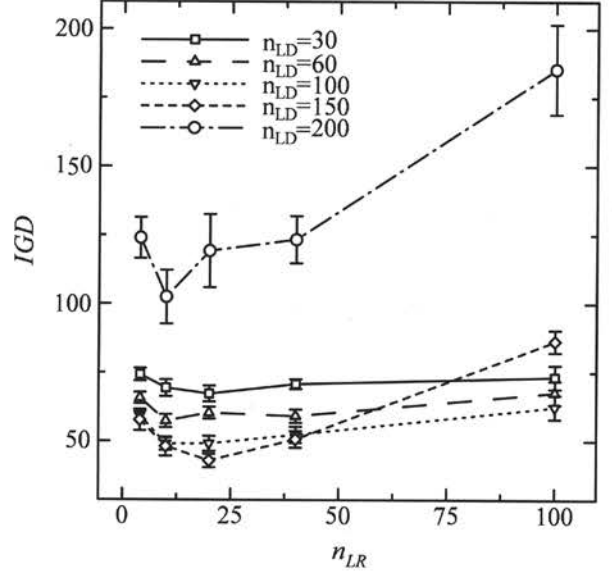


(b) Local recombination

Fig. 10. Effect of locality of dominance and recombination,  $n_{LR}$  and  $n_{LR}$ , on the spread ( $SP$ ) of obtained POS in problems with  $m = 2$  objectives and  $n = 250$  objects



(a) Local dominance



(b) Local recombination

Fig. 11. Effect of locality of dominance and recombination,  $n_{LR}$  and  $n_{LR}$ , on the inverse generational distance ( $IGD$ ) of obtained POS in problems with  $m = 2$  objectives and  $n = 250$  objects

tained by setting the algorithm with four different configurations for  $m = 2$  objectives. First, **Fig. 8** (a) shows that when global dominance and global recombination are used similar to NSGA-II the final population tends to concentrate in a narrow region of the Pareto front. In this case convergence is good only for a reduced number of solutions and diversity of solutions across the true Pareto front is very poor. Second, **Fig. 8** (b) shows that including local recombination with an optimum parameter  $n_{LR}^*$  combined with global dominance helps to achieve a better distribution of solutions across the true Pareto front.

However, note that the true Pareto front is still not fully covered by local recombination alone. Third, **Fig. 8** (c) shows that including local dominance with an optimum parameter  $n_{LD}^*$  combined with global recombination we can spread the entire population across the whole true Pareto front. However convergence to the true Pareto front of some solutions is deteriorated. Fourth, **Fig. 8** (d) shows that including both local dominance and local recombination with optimum parameters  $n_{LD}^*$  and  $n_{LR}^*$  the final population can fully cover true Pareto front satisfying simultaneously convergence and diversity requirements.

Similarly, **Fig. 9** plots the population at the last generation for  $m = 3$  objectives. Looking at **Fig. 8** and **Fig. 9** we can see that results in  $m = 3$  objectives are very similar to those obtained in  $m = 2$  objectives.

#### D. Locality, Spread, and Convergence

The hyper-volume shows the combined effect on spread and convergence. In this section we show the effect of the locality of dominance and recombination on spread and convergence separately by using *SP* and *IGD*, respectively.

Looking at **Fig. 10** (a) we can see that as we reduce the locality of dominance for any level of locality of recombination spread improves, i.e. achieves smaller values of *SP*. Conversely, from **Fig. 10** (b) spread improves as we increase the locality for recombination for any level of locality of dominance. Consequently, the smallest degree of local dominance combined with global recombination would produce the most spread POS.

On the other hand, looking at **Fig. 11** (a) and (b) we can see that both local dominance and local recombination improve the convergence of POS to the true Pareto front, i.e. achieve smaller values of *IGD*. Notice however that the levels of locality for dominance and recombination are different.

The compromise of distribution of solutions and convergence to the true Pareto front shown independently by *SP* and *IGD* in **Fig. 10** (a) and **Fig. 11** (a), respectively, is captured by the hypervolume *HV* as shown in **Fig. 6** (a). In a similar manner, the compromise of **Fig. 10** (b) and **Fig. 11** (b) is captured in **Fig. 7** (a). As mentioned before, in order to achieve better performance in MOEAs it is very important to include both local dominance and local recombination, each one set to its own optimal level of locality.

#### V. CONCLUSIONS

In this work we have studied and compared the effects on performance of local dominance and local recombination applied with different locality in multiobjective evolutionary algorithms. As benchmark problems 0/1 multiobjective knapsack problems with two and three objectives were used in our study.

Experimental results showed that the optimum locality of dominance is different from the optimum locality of recombination. Additionally, it was shown that the performance of the algorithm that applies local dominance and local recombination with different locality is significantly better than the performance of algorithms applying local dominance alone, local recombination alone, or dominance and recombination globally as conventional approaches do. Between local dominance and local recombination, it was observed that the improvement achieved by local dominance is higher than the one achieved by local recombination. In addition, it was noted that the improvement by

local recombination is very small for two objectives but it increases for three objectives. It was also observed that local dominance and global recombination favor diversity of solutions across the true Pareto front. On the other hand, local dominance and local recombination favors convergence to the true Pareto front. To achieve better performance simultaneously in diversity and convergence, local dominance and local recombination should be applied with their different optimum levels of locality.

At this time we were not concerned about the computational cost needed to calculate local dominance and perform local recombination, i.e. create a neighborhood for each individual. The construction of an efficient algorithm to calculate local dominance and perform local recombination would be the subject of future work. Also, we would like to include adaptation within the algorithm to find the proper locality levels for dominance and recombination.

#### REFERENCES

- [1] K. Deb, *Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms*, John Wiley & Sons, 2001.
- [2] C. A. C. Coello, D. A. Van Veldhuizen, and G. B. Lamont, *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*, Boston, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [3] C. Fonseca and P. Fleming, *An Overview of Evolutionary Algorithms in Multiobjective Optimization*, *Evolutionary Computation*, vol. 3, pp.1-16, 1995.
- [4] E. Zitzler and L. Thiele, *Multiobjective Evolutionary Algorithms: A Comparative Case Study and the Strength Pareto Approach*, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 3, pp.257-271, 1999.
- [5] D. Van Veldhuizen and G. Lamont, *Multiobjective Evolutionary Algorithms: Analyzing the State of the Art*, *Evolutionary Computation*, vol. 8, pp.125-147, 2000.
- [6] H. Sato, H. Aguirre, and K. Tanaka, "Local Dominance Using Polar Coordinates to Enhance Multi-objective Evolutionary Algorithms", *Proc. 2004 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, IEEE Service Center, vol. 1, pp. 188-195, 2004.
- [7] H. Sato, H. Aguirre, and K. Tanaka, "Effects from Local Dominance and Local Recombination in Enhanced MOEAs", *Proc. 5th International Conference on Simulated Evolution and Learning*, in CD-ROM, 2004
- [8] N. Srinivas and K. Deb, "Multiobjective Optimization Using Non-dominated Sorting in Genetic Algorithms", Technical report, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, Kanpur, India, 1993.
- [9] E. Zitzler and L. Thiele, "Multiobjective optimization using evolutionary algorithms – a comparative case study", *Fifth International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN-V)*, 1998.
- [10] <http://www.tik.ee.ethz.ch/~zitzler/testdata.html>
- [11] E. Zitzler, *Evolutionary Algorithms for Multiobjective Optimization: Methods and Applications*, PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 1999.
- [12] J. Knowles and D. Corne, "On Metrics for Comparing Non-dominated Sets", *Proc. 2002 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp.711-716, IEEE Service Center, 2002.
- [13] D. A. V. Veldhuizen and G. B. Lamont, "On Measuring Multiobjective Evolutionary Algorithm Performance", *2000 Congress on Evolutionary Computation*, vol.1, pp.204-211, 2000.
- [14] H. Ishibuchi and K. Narukawa, "Recombination of Similar Parents in EMO Algorithms", *Proc. Third Intl. Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol.3410, pp.265-279, 2005.



# The Learning System of Shinshu University

## Graduate School of Science and Technology on the Internet

氏名：國宗永佳<sup>†</sup>，新村正明<sup>†</sup>，和崎克己<sup>‡</sup>，不破泰<sup>‡</sup>，師玉康成<sup>†</sup>，中村八束<sup>†</sup>  
所属：<sup>†</sup>信州大学工学部情報工学科，<sup>‡</sup>信州大学大学院工学系研究科情報工学専攻  
発表会議名：知識ベース・知能情報工学システムに関する国際会議 (KES2006)  
開催年月日：2005年9月14日(水)～16日(金)  
開催場所：オーストラリア メルボルン ヒルトン・オン・ザ・パーク

**Abstract** Shinshu University Graduate School of Science and Technology on the Internet (SUGSI) is established in 2002 as the first Internet University in Japan. In SUGSI, students can learn every lecture using a CAI system featuring drills on the web, and get supervising about a master's thesis from faculty adviser via network. Therefore, students can complete a master course and get a master's degree without commuting to the school. We manage SUGSI on day school system, and we developed some student support systems as well as learning contents with CAI. In this paper, we mention about the learning system of SUGSI: its CAI contents, a student management system, and the profile of enrolled students such as their age structure and their learning style.

### 1. Introduction

In April 2002, Shinshu University, Graduate School of Science and Technology on the Internet (SUGSI) was formed as the first Internet university program in Japan and 225 students have enrolled in the first three years of its offering. Students of SUGSI can take lectures on the Internet and earn credits toward a master's degree.

Creating web-based lectures is easy. However, conferring a master's degree with only web-based teaching is not because many problems are encountered in trying to satisfy the Japanese government's requirements. We develop and improve many systems to operate SUGSI to satisfy requirements from the government, lecturers, and students. In this paper, we introduce the systems and measures used in operating the first Internet University in Japan.

### 2. Learning Processes in SUGSI

#### 2.1. Overview of the Learning Processes

The students of SUGSI can learn with course materials and examinations on the Internet, and can exchange ideas with teachers and other students via email and BBS. Additionally, the students must study and submit their master's

thesis to get the master's degree.

There is no difference between on-site master students and the students of SUGSI, except they learn and study on the Internet or on-site. In fact, on-site students and the students of SUGSI passed the same entrance examination and are treated in the same way on paper.

#### 2.2. Contents for e-Learning

In March 2001, the Japanese government eased standards for the establishment of universities. According to this revision, all graduate schools in Japan can offer their courses with e-Learning lectures that provide the following:

- An integration of various information using texts, sound, pictures, movies, etc.
- Examinations that are corrected by a lecturer and Q&A in each lesson
- Some ways for students to exchange ideas with others

We provide the following contents for each e-Learning lecture to meet the requirement for students.

- Course texts with multimedia
- Web-based examinations
- BBS for the exchange of ideas with others

Students can learn course materials and acquire credits by using these systems. Anyone can

browse the above learning contents and the information of SUGSI from the portal site (<http://sugsi.jp/>).

### 3. Analysis of Students

Since SUGSI was opened in 2002, 81, 73, and 71 students enrolled in 2002, 2003, and 2004 respectively. We show some analysis results of the students. The age composition and the job composition of students show that almost 90 percent of the students are between their 20's to 40's and over 80 percent of the students are workers.

Fig. 1 shows the number of students who have passed examinations sorted by hour in weekdays and holidays. This figure shows that a relatively large number of students take examinations and there are students taking examinations at all hours. Therefore, it is very important to make sure our systems work at all times.

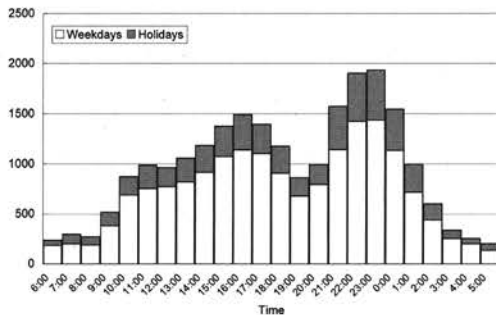


Figure 1 Hourly distribution of students passing examinations

### 4. Servers and Networks

We mentioned above that lecturers can know the learning progression of students only from the data committed to databases by the examination systems. Additionally, we mentioned that it is very important to make sure the system of servers and networks are working at all times. We consider and implement measures to protect progression data and to increase the reliability of the servers and networks as described in this section.

Fig. 2 shows the composition of servers and networks of SUGSI. Servers in this figure provide services as follows:

- The web servers host learning texts and BBS

services.

- The VoD server provides streaming videos.
- Examination servers generate examinations and house the learning progression data of the examinations provided on each server.
- The progression database server holds the learning progression data of all examinations.

We place web and progression database servers in both the networks of Shinshu University and two outside ISPs. Such a redundant configuration of servers ensures these servers work at all times and fulfills the demand of students. The mirrored web server at the ISP1 makes a mirror of data of the web server in Shinshu University once a day.

Lecturers develop their own examination systems to fit the characteristics of each lecture on a server, and examination systems hold progression data on each server. The progression database server collects progression data from examination servers once a day. Students as well as lecturers can confirm the progress of learning at any time. If progression data on the database server or examination servers are lost, we can restore the data from the examination servers or the database server.

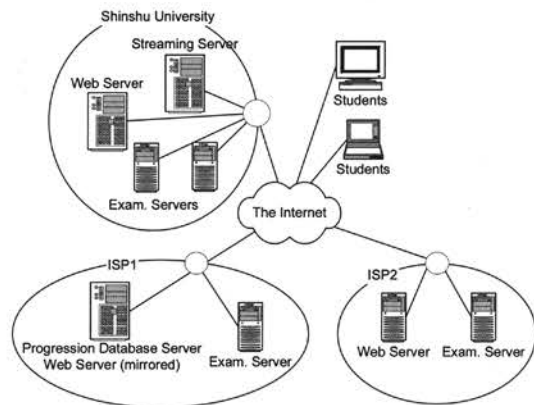


Figure 2 Composition of SUGSI servers and networks.

### 5. Conclusion

From 2002, we have been operating the learning system of SUGSI including its online course texts, BBS, and databases, and have developed many systems to support their operation. In this paper, we mentioned many systems, however, they are just a part of the entire system. We receive many kinds of feedback and requirements via BBS,

email, etc. from lecturers and students and based on this input, we improve the systems and develop new systems.

We believe we can satisfy social needs. In fact, 225 students enrolled at SUGSI in the past three years, and over 40 students will enroll in April 2005. Additionally, almost students give very high evaluations for the learning systems of SUGSI. However, several universities will start and many others will prepare to open on the Internet in Japan. Therefore, we must strive to improve SUGSI contents and systems to continuously satisfy the needs of students.

#### **Acknowledgement**

The work was supported in part by Wakasato-Kai Foundation.

# 底面駆動による開いたキャビティ内の振動流の制御の数値解析

## NUMERICAL ANALYSIS OF CONTROL OF FLOW OSCILLATIONS IN AN OPEN CAVITY BY A MOVING BOTTOM WALL

氏名：吉田尚史<sup>1</sup>、渡辺崇<sup>2</sup>、池田敏彦<sup>1</sup>、飯尾昭一郎<sup>1</sup>

所属：1. 信州大学工学部環境機能工学科

2. 名古屋大学エコトピア科学研究所

会議名：噴流、後流、はく離流に関する国際会議 ICJWSF-2005  
(International Conference on Jets, Wakes, and Separated Flows)

開催年月日：2005年10月5日(水)～8日(土)

開催場所：三重県鳥羽市 鳥羽国際ホテル

### 要旨

開いたキャビティを過ぎる流れの自励振動をキャビティ底面駆動によって能動的制御する方法を数値的に研究した。二次元非圧縮流れを有限差分法によって数値解析を行った。キャビティ底面を-0.2から+0.2までの速度で水平に動かし、キャビティ内の循環渦を変化させることによりはく離せん断層の振動が影響を受け変化することに注目した。壁面の速度が-0.1より小さい場合と、+0.190より大きい場合に、振動が停止することを明らかにした。

### 1. 緒言

開いたキャビティを過ぎる流れでは、キャビティ上流角からはく離するせん断層が自励振動することが知られている。幾何学的な形状は単純であるが、流れ場は複雑となる典型的な流れ場で、流体力学的な興味と振動や流音など幅広い応用例のために、多くの研究がなされてきた。

近年は流れの制御の観点から研究が多く行われている。これまでの研究の多くは、自励振動するはく離せん断層の特性の研究や、せん断層を直接制御する研究が中心であった(Cattafestaらのレビュー<sup>(1)</sup>を参照)。これに対し、Kuo and Huang<sup>(2)</sup>はキャビティ内の循環渦の役割に注目した受動的制御の実験を行った。キャビティ底面に傾斜をつけた場合と、底面に小さなフェンスを設置した場合について水路で実験を行い、循環渦の大きさや位置が変わることによって自励振動が抑制されることを明らかにした。Kuoらの結果よりキャビティ内の循環渦と自励振動の制御に関連性があることが示唆される。

そこで、本研究は図1に示すようにキャビティの底面を一定速度で駆動することによってせん断力を与え、それによってキャビティ内の循環渦を変化させ、はく離せん断層の自励振動を制御できるかどうかを試みた。

キャビティ底面を駆動する方法による能動的制御は筆者らの調べた限りではこれまで行われていない。キャビティ底面が静止した場合と、底面を正負それぞれの速度で駆動した場合の二次元数値計算を行い、キャビティ内の循環渦とせん断層の自励振動の変化を調べた。

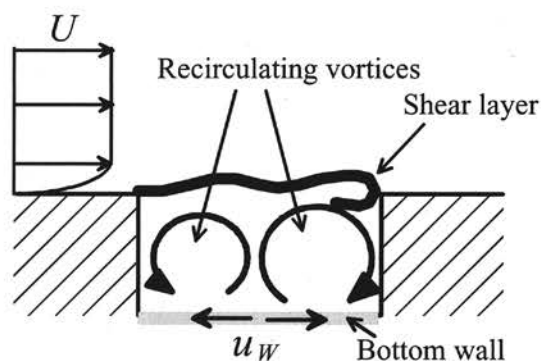


図1 底面を動かすキャビティ流れの概略

### 2. 数値計算法

支配方程式は二次元非圧縮ナビヤ・ストークス方程式と連続の式である。離散化には有限差分法を用いた。対流項には三次精度風上差分スキーム、他の



項は二次精度中心差分スキームを用いた。キャビティのアスペクト比は2である。計算領域の流入境界ではブラジウスの平板層流境界層の解析解を、流出はゾンマーフェルト放射条件を与えた。

### 3. 計算結果

#### 3.1 キャビティ底面が静止の場合

制御を行わないキャビティ底面が静止の場合の計算結果を示す。キャビティ深さに基づくレイノルズ数は6000である。図2に周期的な自励振動状態における一周期のフローパターンの変化を示す。キャビティ内には下流側に強い時計回りの渦と上流側に弱い反時計回りの渦が定在し、その渦の上ではく離

せん断層が周期的に振動している。キャビティ上流角の運動量暑さに基づく振動のストローハル数は0.0137で、これは Knisely and Rockwell<sup>(3)</sup>や Kou and Huang<sup>(2)</sup>の実験値とほぼ一致する。

#### 3.2 キャビティ底面を負の速度で駆動した場合

キャビティ底面が静止し周期的な自励振動をしている状態から、底面を急に負の速度で駆動させた計算を行った。底面の壁面速度  $u_w$  は-0.02 から-0.2 の範囲で計算を行った。図3にキャビティ下流角付近の  $x = 1.9, y = 0.0$  の位置における圧力の時間変化を示す。時刻  $t^*$  は底面を急に駆動させた瞬間からの時刻である。 $u_w$  が-0.1 までは振動は続くが、-0.105 を超えると振動が停止することがわかった。

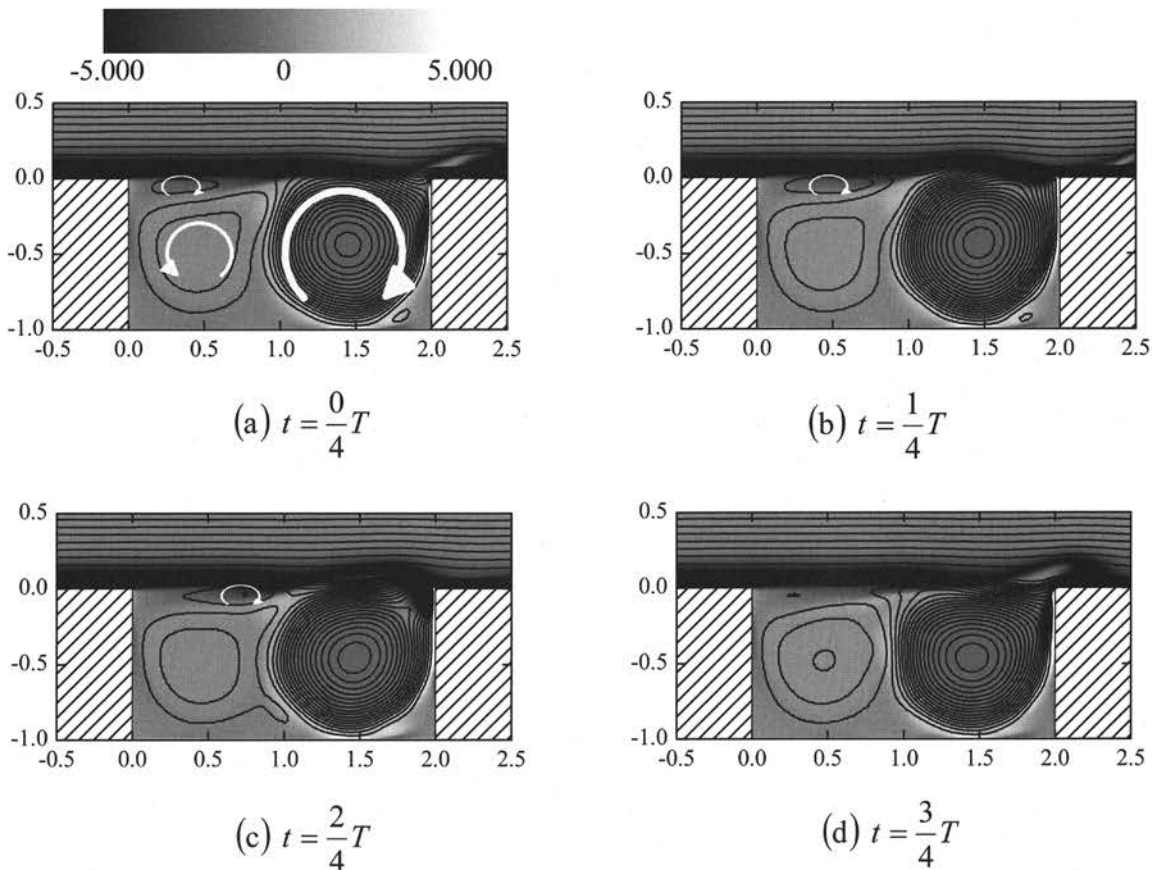


図2 自励振動の一周期  $T$  にわたる流線 (実線) と渦度分布 (グレースケール) の変化

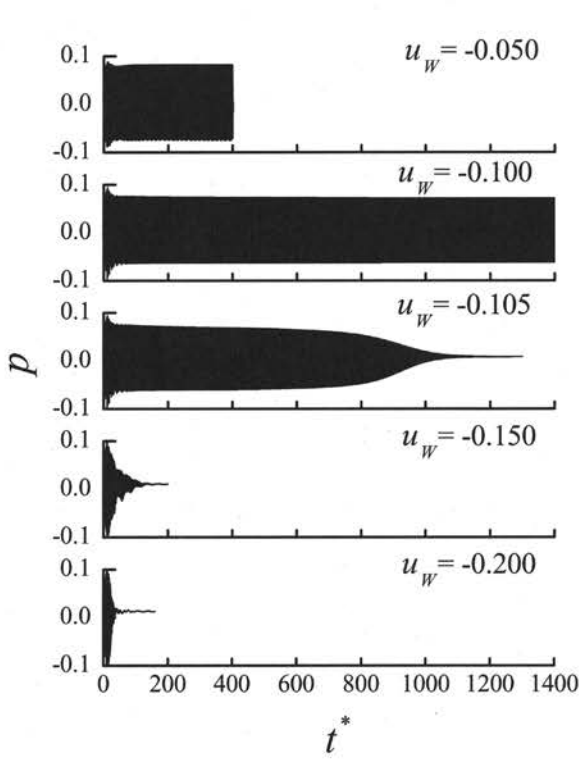


図3 底面速度が負の場合のキャビティ下流角付近の圧力の時間変化

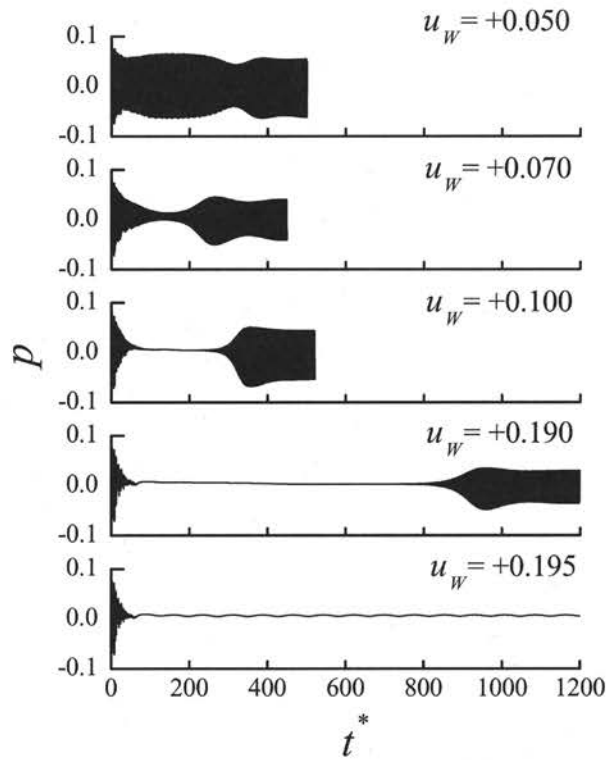


図6 底面速度が正の場合のキャビティ下流角付近の圧力の時間変化

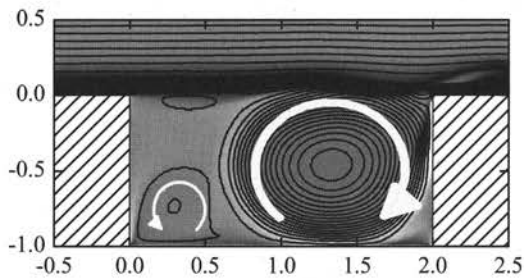


図4 底面速度  $u_w = -0.100$  における時刻  $t^* = 1400$  の流れ場

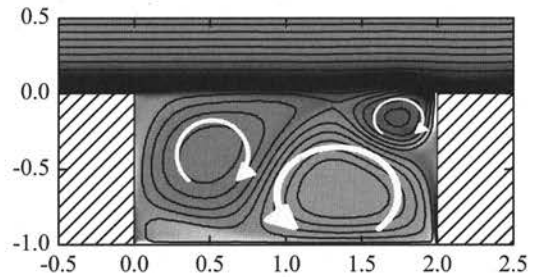


図7 底面速度  $u_w = +0.190$  における時刻  $t^* = 1200$  の流れ場

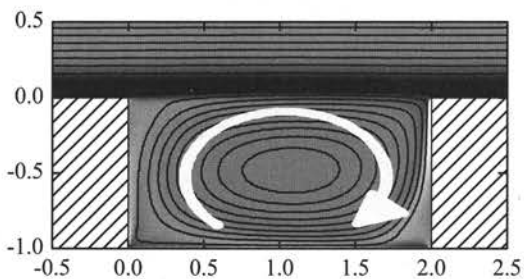


図5 底面速度  $u_w = -0.105$  における時刻  $t^* = 1300$  の流れ場

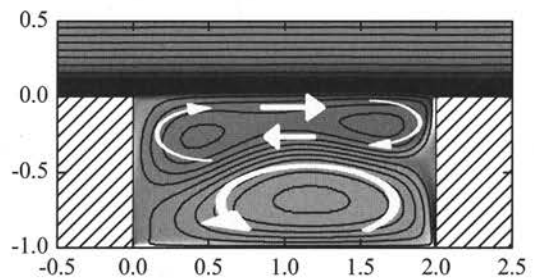


図8 底面速度  $u_w = +0.195$  における時刻  $t^* = 1300$  の流れ場

振動が持続する場合と、振動が停止する場合の違いをフローパターンから考察する。図 4 に  $u_w = -0.100$  の場合の時刻  $t^* = 1400$  における流線と渦度分布を示す。キャビティ内には二つの循環渦が定在しせん断層の振動が維持されている。これに対し、図 5 に示す  $u_w = -0.105$  の場合の時刻  $t^* = 1300$  における流線と渦度では、キャビティ内の渦は時計回りの一つの定在渦となっている。キャビティ開口部ではせん断層と渦の流れが平行流となり、せん断層の自励振動が停止することが明らかとなった。

### 3.3 キャビティ底面を正の速度で駆動した場合

キャビティ底面を正の速度  $+0.02$  から  $+0.2$  の範囲で駆動した計算を行った。図 6 にキャビティ下流角付近の  $x = 1.9, y = 0.0$  の位置における圧力の時間変化を示す。底面速度が負の場合と異なる応答を示している。 $u_w = +0.070$  までは振動が停止せず維持される。 $+0.070 < u_w \leq +0.190$  の範囲では、振動が一度停止し時間が経過した後に再び振動が再開する。 $+0.195 \leq u_w$  では振動は停止する。

異なる底面速度に対する振動の応答の違いをフローパターンから考察する。図 7 に  $u_w = +0.190$  の場合の時刻  $t^* = 1200$  における流線と渦度分布を示す。キャビティ内は、図 2 の二つの循環渦から三つの循環渦に変化し、変化の途中では一旦振動が停止するが、三つの循環渦に変化後振動が再開する。図 8 は  $u_w = +0.195$  の時刻  $t^* = 1300$  における流れ場を示す。キャビティ内では上部の時計回りの渦が合体し、一つの横長の渦となってキャビティ開口部を覆っている。キャビティ開口部ではせん断層と渦の流れが平行流となり、せん断層の自励振動が停止することが明らかとなった。

## 4. 結論

開いたキャビティを過ぎる二次元非圧縮流れの数値解析を行った。計算によりせん断層の自励振動を再現し、振動のストローハル数も実験とほぼ一致し、妥当な解が得られた。この計算方法を用いて、キャビティ底面を正負の方向に駆動する能動的制御の計算を行った。駆動速度が負の場合は  $-0.105$  以下の速度で自励振動を停止させることができた。正の場合は  $+0.195$  以上の速度で自励振動を停止させることができた。これにより、キャビティ底面を駆動することによりせん断層自励振動の能動的制御が可能であることを示した。

## 謝辞

本研究発表を行った国際会議への参加費および旅費の一部を財団法人信州大学工学部若里会よりご援助いただいた。ここに記して感謝申し上げる。

## 参考文献

- [1] Kuo, C. H. and Huang, S. H., Influence of Flow Path Modification on Oscillation of Cavity Shear Layer, Experiments in Fluids, Vol.31, pp. 162-178(2001).
- [2] Cattafesta, L., Williams, D., Rowley, C., and Alvi, F., Review of Active Control of Flow-Induced Cavity Resonance, AIAA 2003-3567, pp. 1-20(2003).
- [3] Knisely, C. and Rockwell, D., Self-Sustained Low-Frequency Components in an Impinging Shear Layer, J. Fluid Mech., Vol.116, pp. 157-186(1982).

鋼とコンクリートの剥離を考慮した部分コンクリート充填鋼柱の動的解析

A Dynamic Analysis of a Partially Concrete-filled Steel Column with Considering Delamination of the Steel-Concrete Interface

氏名：清水 茂<sup>1</sup>

所属：<sup>1</sup>信州大学 工学部 社会開発工学科

要旨

鋼製橋脚内部に充填されたコンクリートについて、動的繰り返し荷重のもとで、鋼-コンクリート境界面の剥離が強度に与える影響を、数値解析により調べた。解析の結果、剥離は、変形に対してはあまり大きな影響はないが、橋脚の応力に対しては、大きな影響を与えることが分かった。

1. はじめに

都市高速道路の橋脚は、しばしば一般道路の中央分離帯などに設置される。このような鋼製橋脚柱は、自動車の衝突による不慮の変形を避けるために、内部にコンクリートが充填される。この場合、充填コンクリートはいわゆる“捨てコン”とされ、橋脚の強度には何ら影響を与えないものとして設計されている。

しかし、兵庫県南部地震では、この充填コンクリートが橋脚の挙動に少なからず影響を与えている実態が観察された。本研究では、このような背景をふまえ、充填コンクリートの効果や影響を調べる研究の一環として、コンクリートと鋼板の剥離を考慮した動的解析を実施した。

2. 解析結果

解析は、実在の橋脚の寸法を参考に、3m角の正方形断面を有する高さ10mのモデルに対して実施した。上部構を想定した700tonの質量を柱頭に配置し、1Hzの周期で±0.4gの加速度を水平方向に与えた。結果の一部をFig.1に示す。この図は柱頭部の水平変位であるが、応力については、コンクリート充填位置直上で、補剛材のない場合、剥離により最大で20%大きな値が発生することなどが分かった。

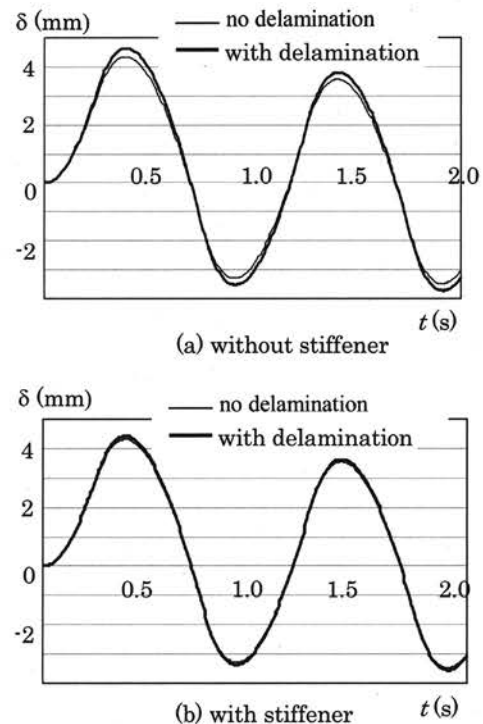


Fig.1 Displacement at the Top of the Column



# 鋼製門型ラーメンはり腹板の動的弾塑性解析

## A Dynamic Elasto-Plastic Analysis on the Web Plates at the Center Part of Beam in a Steel Portal Frame

今井慎吾<sup>1</sup>, 清水 茂<sup>2</sup>

所属：<sup>1</sup>信州大学大学院工学系研究科社会開発工学専攻 <sup>2</sup>信州大学工学部社会開発工学科

### 要旨

橋脚として用いられる鋼製門型ラーメンの、はり中央部分の腹板のせん断特性を、特に地震エネルギー吸収能の観点から調べた。その結果、腹板に大きなエネルギー吸収能があれば、地震力のもとで、はり部分の崩壊を先行させ、結果として橋脚全体の崩壊を防ぐことが出来る、いわゆるヒューズ機能を持たせることが可能であることなどを示した。

### 1. はじめに

兵庫県南部地震で被害を受けた橋脚の中で、はり中央部の腹板にせん断による座屈波が発生していることが確認された鋼製門型ラーメンについて、この崩壊形式が先行したことによりラーメン全体の崩壊が免れる、いわゆるヒューズとして機能したのではないかとの指摘がある。この指摘が事実とすると、当初からヒューズ機能を期待する設計を採用することにより、橋脚の致命的な崩壊を防止することが出来る。本研究は、そのための基礎として、ラーメンはり腹板にヒューズ機能を持たせる際に重要となる、腹板の変形能・エネルギー吸収能などについて調べた。

### 2. 解析結果

解析は、腹板の降伏応力をパラメーターとし、荷重は漸増荷重として実施した。結果は、無次元化した腹板の応力-ひずみ曲線の形で表した。いずれのモデルでも、腹板に座屈が発生した後は、後座屈強度により荷重が増加し、ピークに達した後に無次元化ひずみが 1.0 まで漸減し、その後、急激に減少した。Fig.1 に、ピーク時および無次元化ひずみが 1.0 まで減少した段階での変形を示す。解析の結果、降伏応力が小さい場合、絶対的な強度は小さいものの、大きなエネルギー吸収能を有し、ヒューズ機能に有効であることなどが分かった。

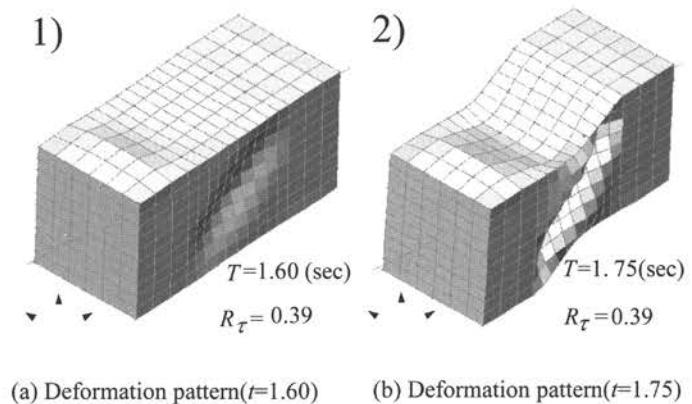


Fig.1 Deformation Patterns

# ユビキタスネットワークにおける セキュアプリンティングシステムについて A Secure Printing System for Ubiquitous Network

氏名 : 不破泰<sup>1</sup>, 丸山祐佳<sup>1</sup>, 金沢広峰<sup>1</sup>, 小松健一郎<sup>2</sup>, 五島智明<sup>2</sup>,  
國宗永佳<sup>1</sup>, 新村正明<sup>1</sup>  
所属 : 1 信州大学 2 エプソンアヴァシス株式会社  
発表会議名 : IEEE TENCON 2005  
開催年月日 : 2005年 11月 21日～ 24日  
開催場所 : オーストラリア メルボルン

## 要旨

本論文ではネットワーク環境下におけるセキュリティに配慮した新しい印刷システムについての提案を行う。このシステムは、ネットワークにおける盗聴からの防御、印刷を行うタイミングの指定、印刷物を受け取る人間の指定、出力先プリンタ指定の選択ミスによる印刷物の漏洩の防止、印刷枚数の制御による著作権保護が可能なよう設計を行った。これらの目的を達成するために、印刷データや制御情報の全てを暗号化している。さらに、この暗号化の鍵は、印刷を行うプリンタの公開鍵と、印刷物を受け取る者の公開鍵により2重の暗号化を行っている。さらに、印刷物を受け取る者には印刷データだけではなく暗号を解く鍵のみを送ることで、指定されたプリンタのある場所にこなければ印刷が開始されないようにした。また、このシステムにより初期の目的が達成されることを示すために実証実験を行った。

# A Secure Printing System for Ubiquitous Network

Yasushi Fuwa\*, Yuka Maruyama\*, Hiromine Kanazawa\*, Kenichirou Komatsu\*\*,  
Tomoaki Goshima\*\*, Hisayoshi Kunimune\*, Masaaki Niimura\*

\*Faculty of Engineering, Shinshu University  
4-17-1 Wakasato, Nagano, 380-8553 Japan

\*\*EPSON AVASYS Corporation 1077-5, Otsu,  
Shimonogo, Ueda, 386-1214 Japan

fuwa@cs.shinshu-u.ac.jp, maruyama@security.cs.shinshu-u.ac.jp,  
kanazawa@security.cs.shinshu-u.ac.jp, kenichiro.komatsu@avasys.jp,  
tomoaki.goshima@avasys.jp, kunimune@cs.shinshu-u.ac.jp, niimura@cs.shinshu-u.ac.jp

**Abstract**—This paper proposes a new secure printing system for networked environments. The system is designed to protect the data from being tapped, control the time of printing and pick up of the printed paper, control the user who receives the printed-paper, avoid leaks of information by making a mistake in the selection of the output printer, and support copyright protection and a strictly limit the number of copies being printed. To accomplish its aims, the system encrypts all communications and prints data. Also, it double encrypts the key used for encrypting the print data by using the public keys of the authorized printer to output the data and the authorized user to receive the printed-paper. Furthermore, it doesn't send any print data to the receiver, but only a key, and forces the receiver of the printed-paper to be in front of the printer to start decryption and output of the print data. The system has been tested on-site showing promising results.

## I. INTRODUCTION

Recently, computer networks have become an important tool in our society. They are essential to connect and share information at the individual level, within organizations, and among organizations. They are fundamental for e-commerce and are at the core of the continuously expanding ad-hoc and ubiquitous applications. Currently a large amount of private and confidential information is stored in computers and is made available over networks, and its protection has become a major concern. Information storage, its processing, and output are all important stages during which information should be properly protected. So far, various security measures and methods to protect information during its storage and processing have been proposed. However, security concerning the output of information, especially to a printer, is an area that has not received much attention.

This paper focuses on the security of printing information in a networked environment. There are a variety of security problems present printing systems have. In the following we detail five of them.

1) Tapping of information transmitted over a network with many users

When we print, present printing systems transmit raw data from a user's computer to the printer. Therefore, there is the danger that the data could be intercepted, read, and tampered.

2) The user cannot control the time of printing and pick up of the printed-paper

This is especially a problem if several users working in

areas physically distant within the same organization share a network printer. Printing starts immediately after executing the print command in the user's computer. While the user goes to the printer to take the printed-paper, there is the danger that it could be read by others or stolen.

3) The printer does not control who receives the printed-paper

A present printer doesn't have the concept of user authentication at all. So, it cannot verify the authority of a specific user to receive the printed-paper from the printer.

4) Leak of information by making a mistake in the selection of the output printer

In an office with several printers connected to its network, there is the possibility that sensitive information leaks when the user by mistake selects a wrong printer and prints his document on it.

5) No support for copyright protection

Present printing systems do not support copyright protection of printable digital information made available through the Internet. Currently, even though the user could be printing with a Web application, digital information is first downloaded to the user's computer before it is actually printed. Since a copy of the information remains in the user's computer, it can be easily reproduced, printed again, or passed to a third non-authorized party.

In this work, we propose a new secure printing system that solves these problems by encrypting all printing related data and strictly limiting the time of printing (when), the printer (where), and the user who gets the printed-paper (who).

## II. REQUESTED SPECIFICATIONS

We design the proposed secure printing system to include the five functions described below with the objective to solve the problems mentioned in the previous section.

1) Tapping protection function

This function encrypts all data related to the printing system before it is sent over the network, protecting the printing system data from being tapped. With this function, even if data were intercepted it wouldn't be readable.

2) Printing in your presence function (when)

This function allows the system to start printing only when the correct user comes in front of the printer, thus avoiding the risk that other no authorized users read or stole the printed-paper.

3) Receiver specification function (who)

This function allows specifying the users authorized to receive the printed-paper from the printer. As the ubiquitous

network spreads more and more, the user who orders the print may be different from the user who receives it. So, by means of this function the user who orders the print assigns the user who receives the printed-paper.

4) Output printer specification function (where)

This function guarantees that decryption of data sent for printing is only possible on the specified printer. Therefore, if the user wrongly selects a different printer, although the encrypted data would be sent to it the data will not be decrypted and printed.

5) Copyright protection and strict limitation of the number of prints function

This function guarantees that the receiver gets not digital data but only a printed-paper. To that end, the information for printing is directly forwarded to a printer instead of downloading it to receiver’s computer. Moreover, this information that a printer receives cannot be decrypted by anyone including the receiver. In this way, the system enforces copyright protection of digital information and a strict limitation of the number of copies that can be printed.

III. PROPOSED SECURE PRINTING SYSTEM

A. System Configuration

The main components of the proposed secure printing system are the user who orders the printing (OP), the user who receives the printed-paper (RP), a USB memory used by RP, a Print Server, and a Printer Unit consisting of a set-top box (STB) connected to a Printer by a USB cable. Users OP and RP’s computers, the Print Server, and the STB are connected by the network. The configuration of the system is illustrated in Fig.1.

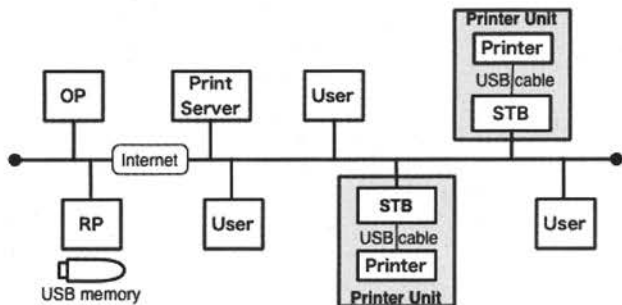


Fig. 1 System Configuration

An overview of the operation of the system is as follows. User OP starts the printing process by telling the Print Server what data to print, where to print, and who is authorized to receive the printed-paper. The Print Server encrypts the data to be printed based on the demand of user OP and sends it to STB. In addition, Print Server double encrypts the key used to encrypt the data for printing and sends it to user RP. User RP saves the key sent by the Print Server in his USB memory. To print the data, user RP must insert his USB memory in STB. STB reads the key, decrypts the data for printing, and sends it to the printer.

B. Protocol

To achieve the five functions described in section 2, we propose a new protocol for encrypting the data to be printed and double encrypting the key used for encryption of the data. As a prerequisite, we assume that the Print Server, user OP, user RP, and STB generate their own key pairs of a public key cryptosystem, i.e. a public key and a secret key, the Print Server safely stores the data for printing, and all safely keep their own secret keys. Moreover, it is assumed that each public key can be trusted.

In the following we describe in detail this protocol, grouping actions performed by user OP, the Print Server, and user RP-Printer Unit. All steps of the protocol are illustrated in Fig. 2.

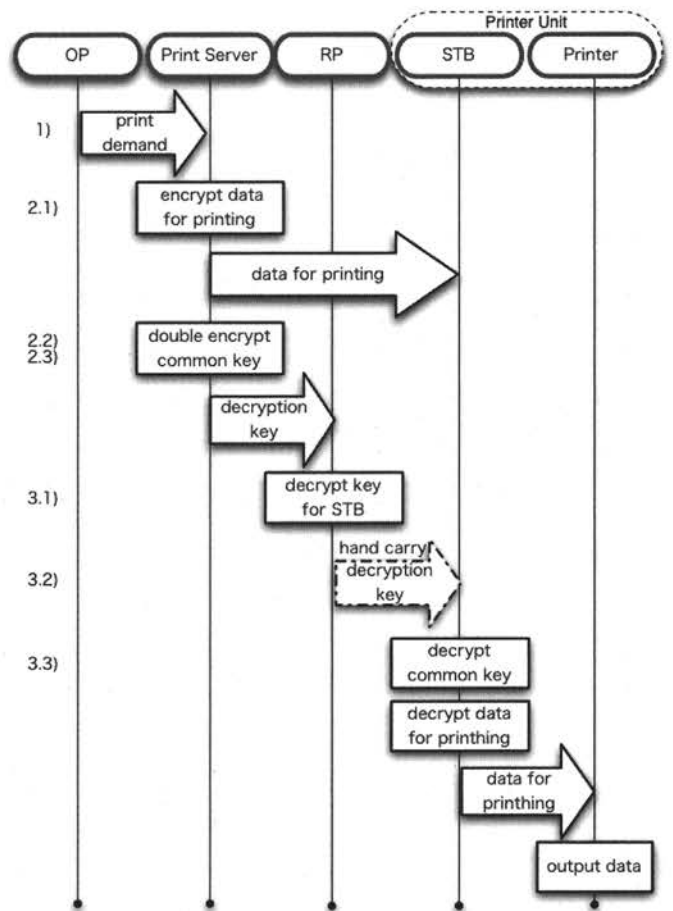


Fig. 2 Protocol of Secure Printing System

1) Print demand by user OP  
 User OP specifies what data to print, where Print Unit must be used for printing, and who is the user RP authorized to receive the printed-paper. User OP encrypts these data using Print Server’s public key and then sends it to the Print Server.

2) Print Server processing  
 The Print Server receives user OP’s printing demand, decrypt the demand data using its secret key, and performs the steps described below, as illustrated in Fig. 3.

2.1) The Print Server generates a temporary common key  $K$  of a symmetric-key cryptography system and encrypts the data to be printed using the common key. Then, it sends the



encrypted data to the STB in the Printer Unit. See Fig. 3.1. Note that  $K$  is only used once and created anew for each print order.

2.2) The Print Server encrypts the common key  $K$  with a public key cryptosystem using the public key of the STB specified by user OP to obtain a key  $K'$ , i.e.  $K' = E(K, \text{STB's public key})$  where  $E()$  indicates encryption. See Fig. 3.2.

2.3) Furthermore, the Print Server encrypts the already encrypted key  $K'$  using the public key of the user RP specified by user OP to obtain  $K''$ , i.e.  $K'' = E(K', \text{RP's public key})$ . Then, it sends  $K''$  to the specified user RP. See Fig. 3.3.

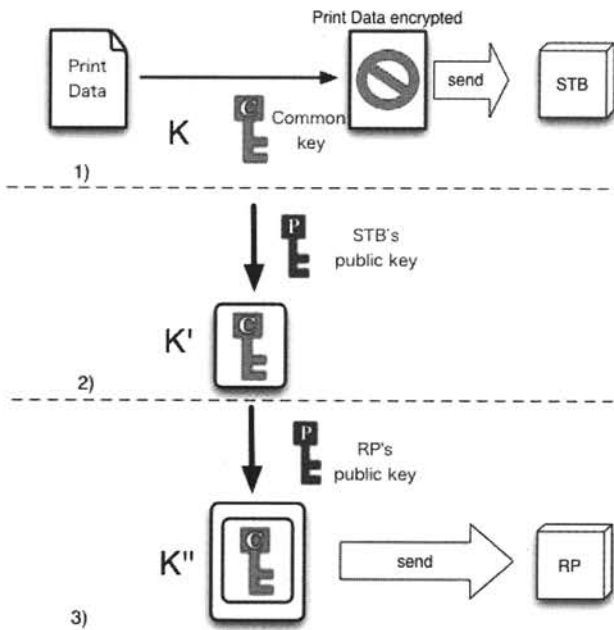


Fig. 3 Print Server Processing

### 3) User RP and Printer Unit

Actions by user RP and the Printer Unit to actually start the output of the data to the Printer and collect the printed-paper are illustrated in Fig.4 and described below.

3.1) User RP receives the doubly encrypted key  $K''$ , decrypt it using his secret key to obtain  $K'$ , and stores key  $K'$  in his USB memory.

3.2) Next, user RP takes his USB memory to the specified Print Unit and inserts it in the corresponding STB. STB reads the USB memory and decrypts  $K'$  using STB's secret key to obtain the common key  $K$ . At this point STB has obtained for the first time the key of the encrypted data sent for printing.

3.3) STB decrypts the data using the common key  $K$  and sent it to the Printer through the USB cable for immediate printing. Finally, user PR can get safely the printed-paper.

Note that, since the common key is doubly encrypted using the specified STB's public key and the specified user RP's public key, the data will be printed if and only if the authorized user RP uses the designated STB. Also, the

printing starts only when the specified user RP goes to the specified Printer Unit. In addition, neither the user OP nor the user RP can get a copy of the digital data because the Print Server sends only encrypted data for printing and doubly encrypted key  $K''$ . No user, not even PR, can get directly the common key  $K$  from the key  $K''$ .

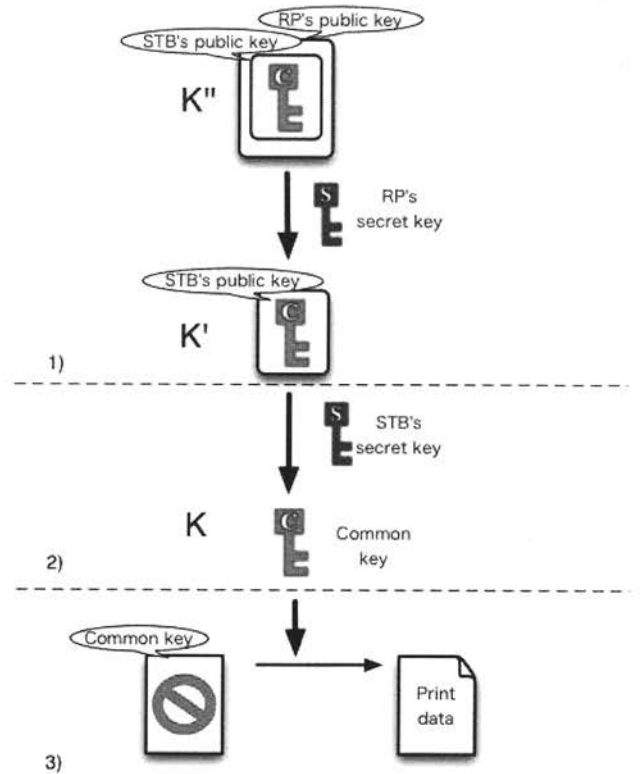


Fig. 4 Processing of User and Print Unit

## IV. SYSTEM EVALUATION

### A. Evaluation of Five Functions

In the Introduction we mentioned five important problems with present printing systems and in section 2 we identified five functions the proposed system should incorporate in order to solve each one of these problems. In this section, we evaluate how the proposed protocol achieved these functions.

#### 1) Tapping protection function

This function was achieved by encrypting all communications in the proposed system among the user OP that orders the printing, the Print Server, the user RP that receives the printed-paper, and the STB in the Print Unit. The data for printing was encrypted by 3DES encryption<sup>[1]-[5]</sup>, a conventional symmetric-key cryptography system, while the other communications were encrypted by RSA encryption<sup>[6]-[10]</sup>, a public key cryptosystem. Since all communications were encrypted, even if the network was tapped and data were intercepted by an unauthorized party it wouldn't be readable. In order to read it the encryption protocols themselves must first be broken.

## 2) Printing in your presence function (when)

This function was achieved by forcing that the STB outputs the data to the Printer only when the user RP authorized to receive the printed-paper inserts his USB memory containing the correct decryption key into the STB.

Since the STB and the Printer are part of the same unit and are physically close to each other, the user RP is present when the data is being output. As a result, contrary to present printing systems, there is no the danger of the printed-paper being stolen or seen by others.

Note that since STB contains only encrypted data for printing, nobody can get the data without the common key  $K$ .

## 3) Receiver specification function (who)

This function was achieved by using user RP's public key in the second round of the common key-double encryption process in the Print Server, as illustrated in Fig. 3.3. Thus, only the specified user RP with its secret key can decrypt the key expected by STB, as illustrated in Fig. 4.1. As a result, if data was actually printed the only one who could have started the decryption and output process at STB is the specified user RP. No other user could have done it.

## 4) Output printer specification function (where)

This function was achieved by using STB's public key in the first round of the common key-double encryption process in the Print Server, as illustrated in Fig. 3.2. Thus, only the specified STB with its secret key can decrypt the expected key brought by the user RP, as illustrated in Fig. 4.2. As a result, the decryption of the printing data and its output is only possible at the specified STB. If the key brought by the user RP were inserted into the wrong STB, the common key cannot be obtained and therefore the decryption of the printing data and its output would not start, even if user RP is the authorized one.

## 5) Copyright protection and strict limitation of the number of prints function

This function was achieved by sending the data for printing encrypted to STB only. User OP decides how many copies must be printed, but no user, RP or OP, receives copy of the print data, whether raw or encrypted. Instead, user RP receives only the common key (double encrypted) used to encrypt the data by the Print Server, which would be used later to collect the printed-paper consisting of exactly the number of copies indicated by user OP. As a result, copyright is protected and the number of printed copies strictly limited.

### B. Testing and Exhibition

#### B.1 On-Site Testing

One of an important work of Shiojiri City Social Welfare Office is creating nursing-care plans of elders who need care. These plans include a lot of private information.

Under combined effort with Shiojiri City Office, the proposed secure printing system was introduced and tested on-site twice at Shiojiri City Social Welfare Office. A first version of the system was tested for six days, from August 25 to 31, 2004. At this stage, the system allowed to store in

user PR's USB memory only one key at the time. So, if a user wanted to collect more than one print he had to go to the Print Unit as many times as print orders were made, each time bringing the proper decryption key. Based on feedback from the users, for the second on-site testing we improved the system by allowing a user RP to save in his USB memory as many keys as he wants, so he would be able to collect in one trip to the Print Unit the printed-paper of several print orders he was authorized to receive. The second on-site testing was for three days, from September 27 to 29, 2004. The overall evaluation of the users at Shiojiri City Social Welfare System was that compared to the usual printing system the tasks needed to get their work printed increased. However, they also acknowledged that the increased security offered by the system is worth it. Fig.5 shows the Pinter Unit used during the on-site testing.



Fig. 5 On-Site Testing in Shiojiri City

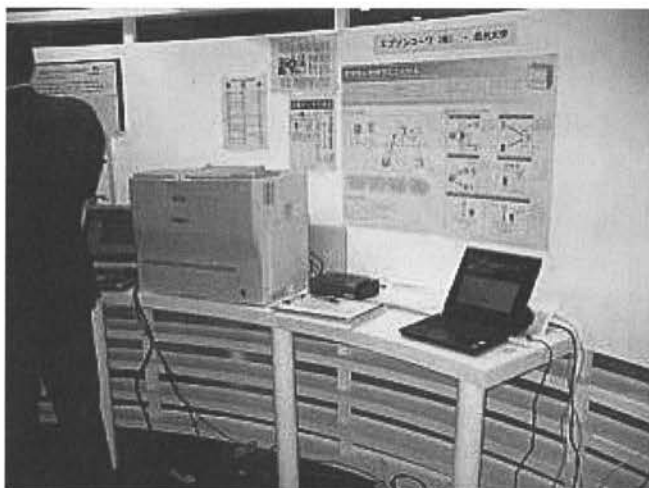


Fig. 6 Security Solution 2004

#### B.2 Exhibition

The improved version of the system used in the second demonstration at Shiojiri City Social Welfare was later exhibited for three days at a forum named "Security Solution 2004", held in Tokyo International Exhibition Center from October 20 to 22, 2004. Fig.6 shows the system at the exhibition. During the exhibition, we questioned 66 persons

about the system. Fig. 7 presents some of the questions included in the questionnaire with its quantified results, where N indicates the number of persons that answered positively and % the percentage of the total number of persons questioned.

1. Do you feel anxiety of security when you use the printer in the office?

	N	%
A. Yes, I always do.	16	24%
B. Yes, I sometimes do.	43	65%
C. No, I don't.	7	11%

2. How do you feel anxiety? (Multiple answers allowed)

	N	%
I may have a printed-paper seen by others.	44	67%
I may have a printed-paper stolen.	40	61%
I may have the printed data stolen in network when it is sent to printer without encryption.	11	17%
I may print on a wrong printer.	20	30%
Other	0	0%

3. Do you think that the system is necessary, as you watched the system?

	N	%
Yes, I do very much.	24	36%
Yes, I do.	39	59%
No, I don't.	3	5%

Fig. 7 Answer of Questions

According to the questionnaire, 89% of the people answered that they have anxiety of security when they print in the office, 24% always and 65% sometimes. Moreover, 95% of the people answered that the system decreases anxiety of security.

## V. CONCLUSIONS

This paper has proposed a new secure printing system for networked environments. The system was designed to protect the data from several security problems present printing systems face. The system has been tested on-site showing promising results.

At this time, the secure system allows to specify only one receiver and one printer. In the future works, we would like to include the option to specify multiple receivers and printers. Also, besides the USB memory, we would like to incorporate IC cards, cell phones with an IC chip, and other appropriate portable devices to store and carry the common key that encrypted the print data. These additions will make the system more convenient. Moreover, we would like to allow the definitions of flexible system configurations based on profiles of "When", "Where", and "Who", applications, and information security level. This would allow to create scenarios such as i) the designated user can receive the printed-paper in any printer of the network (a mobile "who"),

ii) the designated printer doesn't require a key from the receptor to decrypt and output the data (a trusted "where"), and so on.

## VI. ACKNOWLEDGMENT

This work was accomplished in partnership with EPSON AVASYS Corporation and SEIKO EPSON Corporation. The authors would like to thank both companies and their researchers. Also, we are obliged to Shiojiri city office's concerted effort. Finally, we are grateful for Dr. Hernan Aguirre's helpful advice on the writing of this paper.

## REFERENCES

- [1] US National Bureau of Standards, "Data Encryption Standard", Federal Information Processing Standard (FIPS) Publication 46, 1977.
- [2] US National Bureau of Standards, "Data Encryption Standard", Federal Information Processing Standard (FIPS) Publication 46-1, 1988.
- [3] US National Bureau of Standards, "Guidelines for Implementing and Using the Data Encryption Standard", Federal Information Processing Standard (FIPS) Publication 74, 1981.
- [4] US National Bureau of Standards, "DES Modes of Operation", Federal Information Processing Standard (FIPS) Publication 81, 1980.
- [5] Tuchman, W, "Hellman Presents No Shortcut Solutions to DES", IEEE Spectrum, v. 16 n. 7, pp. 40-41, 1979.
- [6] R.L. Rivest, A. Shamir and L. Adleman: "A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems", Communications of the ACM, v. 21, n. 2, pp. 120-126, Feb 1978.
- [7] Yoshinori Fujisawa, Yasushi Fuwa, Hidetaka Shimizu, "Public-Key cryptography and pepin's test for the primality of Fermat numbers", Formalized Mathematics, Vol.7(2), pp.317-321, 1998.
- [8] Yoshinori Fujisawa, Yasushi Fuwa, "Definitions of Radix-2k Signed-Digit number and its adder algorithm", Mechanized Mathematics and Its Applications, Vol.1(1), pp.11-20, 2000.
- [9] Yasushi Fuwa, Yoshinori Fujisawa, "High-speed algorithms for RSA cryptograms", Formalized Mathematics, Vol.9(2), pp.275-279, 2001.
- [10] Yoshinori Fujisawa, Yasushi Fuwa, "Proposal of a High-Speed Processing Method for RSA Cryptograms using High-Radix Signed-Digit Numbers", Personal Computer Users' Application Technology Association, Vol.10(1), pp.61-70, 2000.

# 色素を分散したチタニアゲルの光電流に与える水蒸気処理の効果

## EFFECT OF STEAM TREATMENT ON PHOTOCURRENT OF DYE-DOPED TITANIA GEL

氏名： 錦織広昌、橘井 亨、田中伸明、藤井恒男  
所属： 信州大学 工学部 環境機能工学科  
発表会議名： 2005 環太平洋国際化学会議(PacifiChem2005)  
開催年月日： 2005 年 12 月 15 日 (木) ~20 日 (火)  
開催場所： アメリカ合衆国ホノルル市 シェラトンワイキキ

### 要旨

ゾルーゲル法により有機色素を分散したチタニアゲル薄膜を作製し、簡単な分光測定および光電流測定を行うことにより光電変換特性を調べた。さらに、ゲル薄膜の水蒸気処理による粒子成長と結晶化が光電変換特性および色素とチタニアとの間の相互作用に与える影響について検討した。フルオレセインまたはアリザリンをドーブしたチタニアゲルに可視光照射すると、色素の励起状態からチタニアゲルの伝導帯のような状態バンドに電子移動がおり、光電流が発生することがわかった。フルオレセインを分散したチタニアゲルでは、水蒸気処理によりアナターゼ型の酸化チタン微結晶が生成し、電気伝導性が増加するため、処理時間とともに光電流も増加した。アリザリン分子は Ti との強い相互作用のため分子周辺のチタニアゲルの結晶化を妨げることがわかった。

### 1. はじめに

チタニア（酸化チタン）は光触媒のみならず、太陽電池としても利用できる。チタニアは紫外光のみしか吸収しないが、可視光域に強い吸収を示す有機色素と組み合わせ増感効果を与えることにより、可視光から紫外光の広範囲にわたる光を利用した光電変換が可能となる[1-3]。

現在広く研究されている色素増感太陽電池では、結晶微粒子からなるチタニア薄膜に色素を吸着させたものを作用電極として用いる。この方法では多くの光エネルギーを収集するために色素の層を厚くすると、外表面付近の色素による光吸収と失活のため、内部色素の光吸収効率および色素からチタニアへの電子の注入効率が低下するという欠点がある。一方、色素を分散したチタニア作用電極ができれば、色素の有効光吸収面積が大きくなる上に色素とチタニアとの接触面積も大きくなるため、従来法より光電変換の量子効率を向上させることができる。

チタニア微結晶薄膜は、チタニウムアルコキシドの溶液からディップコーティングやスピンコーティングにより基板上に作製したゲル薄膜を焼成すること（ゾルーゲル法）により得られる。ゾルーゲル法

により光活性なアナターゼ型チタニア結晶を調製する場合、一般的には 400-500 °C 程度の加熱が必要であるといわれるが、反応条件によっては低温でも可能である[4-7]。チタニウムアルコキシドの溶液に色素を混合しておけば、色素を分散したチタニアゲルを作製できるが、色素の耐熱性が低いために焼成することはできない。非焼成のゲルは重合度が低く、欠陥を多くもつアモルファスであるため、電気伝導性が低いと考えられる。色素を分解することなくチタニアゲルの粒子成長、結晶化を進行させるには、沸点付近温度での水蒸気処理が有効である[5]。この場合にチタニアの電気的特性に加えて色素とチタニアとの相互作用を明らかにすることも重要である。

本研究ではゾルーゲル法により有機色素を分散したチタニアゲル薄膜を作製し、簡単な分光測定および光電流測定を行うことにより光電変換特性を調べた。さらに、ゲル薄膜の水蒸気処理による粒子成長と結晶化が光電変換特性および色素とチタニアとの間の相互作用に与える影響について検討した。本研究では色素増感型太陽電池を改良するための新たな方法を提案するのみならず、従来法による光電変換材料やその他の光機能材料を発展させるために、色素とチタニアとの相互作用についての異なる視点からの知見を得ることも期待できる。



## 2. 実験方法

チタニウムテトライソプロポキシド(TTIP)のゾルからディップコーティングによりガラス基板またはITO膜付きガラス基板上にチタニアゲル薄膜を作製し、100℃で0-12時間の水蒸気処理を行った。チタニアゲル薄膜のSEM像、XRDパターン、IRおよびUV吸収スペクトル、紫外光照射による光電流スペクトルの処理時間依存性を調べた。また、比較のためにチタニアゲル薄膜を500℃で1時間焼成した試料についても同様の測定を行った。

ITO膜付きガラス基板上にTTIPのゾルをコーティングし、500℃で1時間焼成してチタニア微結晶薄膜を作製した。この薄膜上にさらにフルオレセインまたはアリザリンを含むTTIPの溶液をコーティングし、色素分散チタニアゲル薄膜を作製した。得られた試料のUV-vis吸収スペクトルおよびI<sub>2</sub>/LiIエチレングリコール溶液を電解液として紫外および可視光照射による光電流スペクトル測定を行った。また、この試料に上記と同様に水蒸気処理を行い、UV-vis吸収スペクトルおよび光電流スペクトルの水蒸気処理時間依存性を調べた。

## 3. 結果と考察

SEM観察により、未処理のチタニアゲルは粒子形状が観測できないアモルファスであるが、12時間水蒸気処理した試料は焼成した試料と同様に粒径10-30 nmの粒子からなることがわかり、水蒸気処理により粒子成長がおこることを確認した。

図1は未処理、水蒸気処理および焼成したチタニアゲル試料のXRDパターンおよびIRスペクトルである。未処理のチタニアゲルではXRDパターンにピークはみられないが、1時間の水蒸気処理後にはアナターゼ型結晶の生成を示す25°付近の回折ピークがわずかに現れ、処理時間とともによりシャープになり結晶成長がみられた。しかし、焼成した試料ではさらにシャープなピークがみられ、水蒸気処理試料はアモルファス相を含む結晶性の低い状態であると考えられる。

未処理のチタニアゲルのIRスペクトルは1385 cm<sup>-1</sup>にTTIP由来のCH<sub>3</sub>変角振動に帰属されるピークを示した。このバンドは水蒸気処理により消失し、加水分解、さらに重縮合反応が進行したことが予想できる。また、800-400 cm<sup>-1</sup>のバンドはTi-O伸縮振動によるものであるが、未処理のチタニアゲルのスペクトル形状は水蒸気処理によりアナターゼ試料

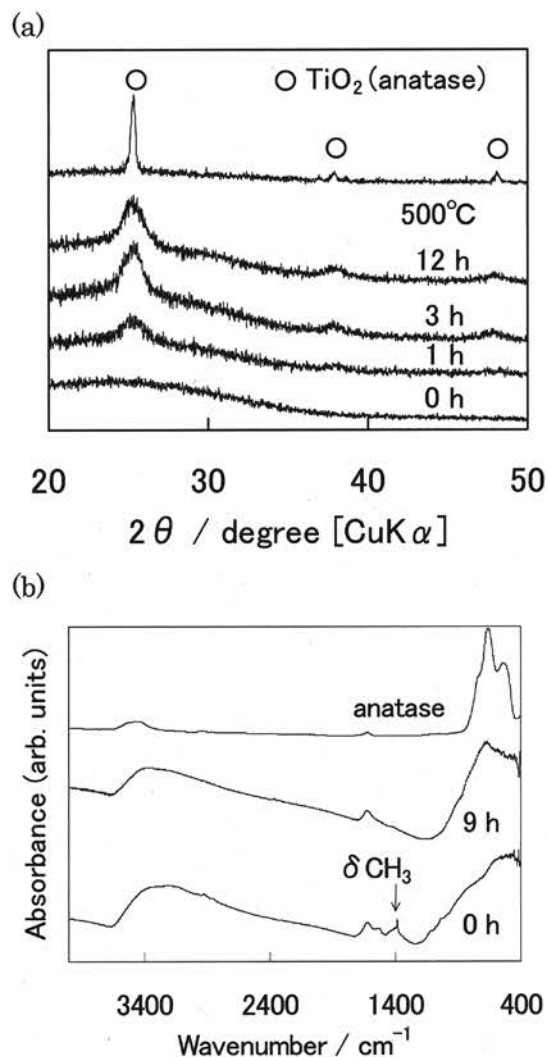


図1 未処理(0 h)、未処理、水蒸気処理および500℃で焼成したチタニアゲル試料の(a) XRDパターンおよび(b) IRスペクトル

のものに近づいた。未処理のチタニアゲルは800-690 cm<sup>-1</sup>に4配位構造のTi-Oに帰属されるブロードなバンドの肩が現れているが[8]、水蒸気処理によりこのバンドは減少し、アナターゼにみられる650および550 cm<sup>-1</sup>の6配位Ti-Oによるバンドが増加した[8-11]。これらのIRスペクトルの結果からも、チタニアゲルの水蒸気処理による結晶成長が支持される。

図2はチタニアゲルの水蒸気処理によるUV吸収および光電流スペクトルの変化を、焼成した試料のそれらと比較したものである。水蒸気処理時間とともに吸収端はレッドシフトし、光電流スペクトルはITO膜の吸収のために330 nmより短波長側の強度が減少しているが、長波長側ではレッドシフトと強

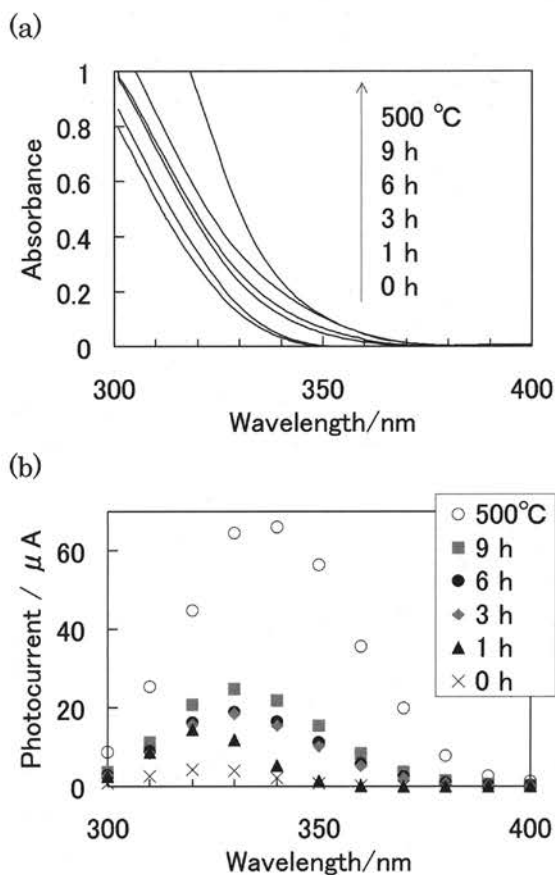


図 2 チタニアゲルの(a) UV スペクトルおよび(b)光電流スペクトルの水蒸気処理時間依存性

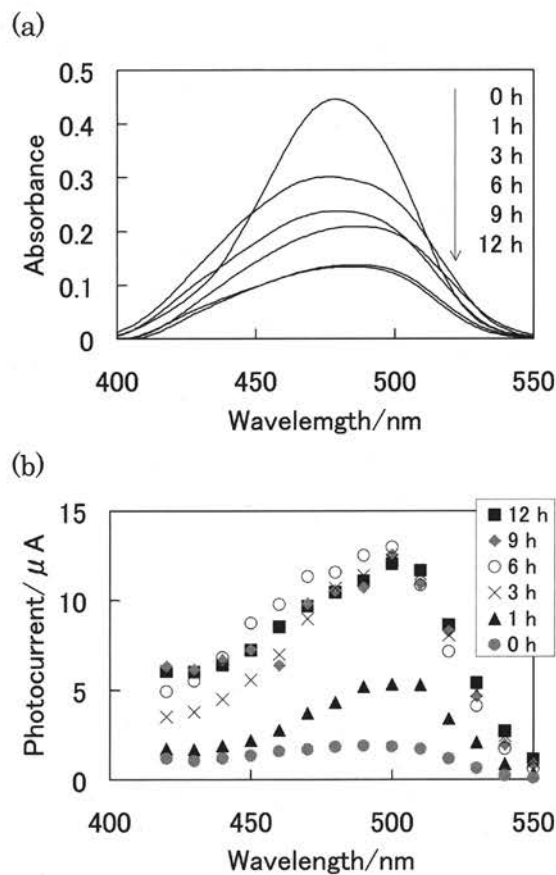


図 3 フルオレセインを分散したチタニアゲルの(a)可視スペクトルおよび(b)光電流スペクトルの水蒸気処理時間依存性

度の増加がみられた。水蒸気処理によるチタニアの粒子成長と結晶化の効果が現れている。しかしながら、焼成した試料ではさらに高い電流値を示し、水蒸気処理では焼成した場合ほど結晶化が進んでいないことも確かである。

図 3 にフルオレセインを分散したチタニアゲルの可視吸収および電流スペクトルの水蒸気処理時間依存性を示す。処理前の吸収スペクトルは 480 nm 付近にピークを示すが、処理時間にもなって吸光度が減少するとともに 485 nm までレッドシフトした。フルオレセインのアニオンおよびジアニオン種のピーク波長はそれぞれ 450–480 nm 付近と 490 nm 付近である[12]。水蒸気処理にもなる吸収スペクトルの変化はゲル中に弱い相互作用で取り込まれているアニオン種の優先的な脱離によるものである。フルオレセインはそのカルボキシル基とチタニアゲルの TiOH 基とがエステル化するような作用により、結果的に COO<sup>-</sup>基をもつジアニオン種のような構造で Ti に結合していると考えられる[13,14]。

一方、処理前の試料の光電流測定ではフルオレセインのジアニオンの吸収スペクトルに対応する 500 nm にピークを示すスペクトルが得られた。この結果は、色素の励起状態からチタニアゲルの伝導帯のような状態バンドに電子移動がおり光電流が発生したことを示している。この光電流スペクトルは水蒸気処理とともにピーク位置は変化しないが、強度が増加し 3–6 時間以降は大きな変化がみられなくなった。ジアニオンのような構造のフルオレセインが光電流発生に関与していると考えられる。光電流値の増加はチタニアの結晶化にもなる電気伝導性の増加に起因する。また、水蒸気処理は色素とチタニアとの相互作用を増強する可能性もある。

図 4 はアリザリンを分散したチタニアゲルの可視吸収および電流スペクトルの水蒸気処理時間依存性である。フルオレセインを分散した試料と異なり、水蒸気処理により吸収スペクトルが大きく変化することはなかった。アリザリンはフルオレセインに比べチタニアとの相互作用が大きいため水蒸気処理に

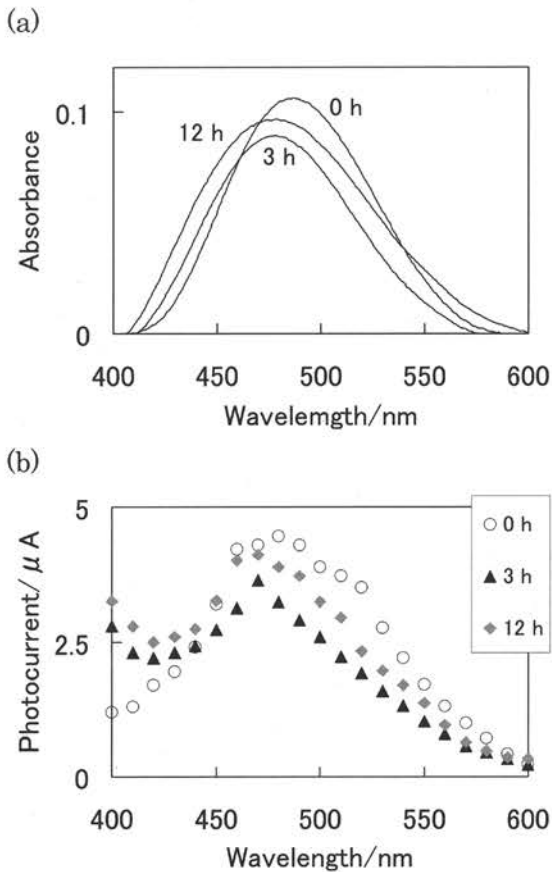


図 4 アリザリンを分散したチタニアゲルの(a)可視スペクトルおよび(b)光電流スペクトルの水蒸気処理時間依存性

よる脱離がほとんどない。吸収スペクトルの結果に対応して、電流スペクトルも水蒸気処理による変化はほとんどなかった。

チタニアゲルの水蒸気処理による結晶化に与える色素の影響を議論するため、色素を分散したチタニアゲルを 12 時間水蒸気処理した試料の XRD パターンの色素濃度依存性を図 5 に示した。図中に示した濃度はディップコーティングに用いたゾル中における各色素の濃度である。フルオレセインの系では濃度を高くしても水蒸気処理により脱離するため濃度による XRD パターンの違いはほとんどないが、アリザリンの系では濃度の増加とともに XRD パターンはよりブロードになった。この結果は各色素とチタニアとの相互作用の違いを反映している。図 6 のようにアリザリンはそのジアニオンの 2 つのヒドロキシレート基が Ti に配位することによりチタニアと強く結合していると予想される[15,16]。これにより分子周辺のチタニアゲルの結晶化を妨げている。一方フルオレセインは、そのジアニオンカルボキシ

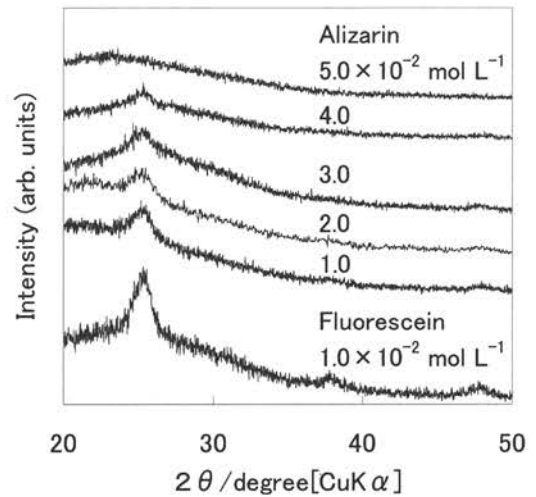


図 5 フルオレセインおよびアリザリンを分散したチタニアゲル薄膜を 12 時間水蒸気処理した試料の XRD パターンの色素濃度依存性

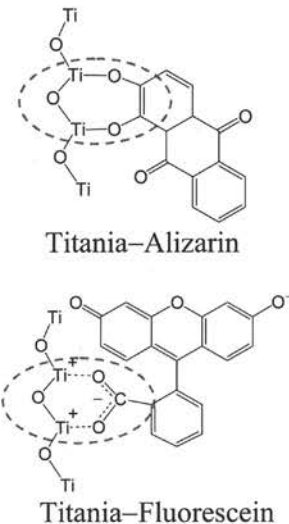


図 7 フルオレセインおよびアリザリンのチタニアゲル中の Ti との相互作用モデル

レート基と Ti との相互作用によりエステル化する形で結合していると考えられる。

#### 4. 結論

フルオレセインまたはアリザリンをドーブしたチタニアゲルに可視光照射すると、色素の励起状態からチタニアゲルの伝導帯のような状態バンドに電子移動がおり、光電流が発生することがわかった。

フルオレセインを分散したチタニアゲルでは、水蒸気処理によりアナターゼ型の酸化チタン微結晶が生成し、電気伝導性が増加するため、処理時間とともに光電流も増加した。アリザリン分子はTiとの強い相互作用のため分子周辺のチタニアゲルの結晶化を妨げることがわかった。

#### 謝辞

本研究発表のための出張は財団法人信州大学工学部若里会の援助により行われました。ここに深く感謝いたします。

本研究は財団法人日本科学協会の笹川科学研究助成および財団法人熱電気エネルギー技術財団の研究助成により行われました。両財団に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] B. O'Regan, M. Grätzel, *Nature* 335 (1991) 737.
- [2] M. K. Nazeeruddin, A. Kay, I. Rodicio, R. Hamphry-Baker, E. Müeller, P. Liska, N. Vlachopoulos, M. Grätzel, *J. Am. Chem. Soc.* 115 (1993) 6382.
- [3] M. Grätzel, *J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.* 4 (2003) 145.
- [4] S. Yamazaki-Nishida, K. J. Nagano, L. A. Philips, S. Cervera-March, M. A. Anderson, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 70 (1993) 95.
- [5] Y. Djaoued, S. Badilescu, P. V. Ashrit, D. Bersani, P. P. Lottici, R. Brüning, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 24 (2002) 247.
- [6] Y. Hu, C. Yuan, *J. Crystal Growth* 274 (2005) 563.
- [7] R. Rodríguez, S. Jiménez-Sandoval, M. Estevez, S. Vargas, *J. Non-Crystalline Solids* 351 (2005) 167.
- [8] P. Tarte, *Physics of Non-Crystalline Solids*, North Holland, Amsterdam, 1965, p. 549.
- [9] M. L. Galzada, L. Delolmo, *J. Non-Crystalline Solids* 121 (1990) 413.
- [10] S. Ben Amor, G. Baud, J. P. Besse, M. Jacquet, *Mater. Sci. Eng. B47* (1997) 110.
- [11] L. Castañeda, J. C. Alonso, A. Ortiz, E. Andrade, J. M. Saniger, J. G. Bañuelos, *Mater. Chem. Phys.* 77 (2002) 938.
- [12] T. Fujii, A. Ishii, N. Tagusagawa, *Res. Chem. Intermed.* 17 (1992) 1.
- [13] K. Murakoshi, G. Kano, Y. Wada, S. Yanagida, H. Miyazaki, M. Matsumoto, S. Murasawa, *J. Electroanal. Chem.* 31 (1995) 27.
- [14] K. Kalyanasundaram, M. Grätzel, *Coordination Chem. Rev.* 77 (1998) 347.
- [15] G. Ramakrishna, A. K. Singh, D. K. Palit, H. N. Ghosh, *J Phys. Chem. B* 108 (2004) 1701.
- [16] W. R. Duncan, W. M. Stier, O. V. Prezhdo, *J. Am. Chem. Soc.* 127 (2005) 7941.





## 研究助成受領者名簿

平成 7 年度	橋本 佳男 清野龍太郎 山本 佳志 石川 正昭 梅崎 健夫	電気電子 物質 生産システム 生産システム 物質	150,000	フランス ハワイ ハワイ カナダ 中国				
			100,000					
			100,000					
			150,000					
			100,000					
			600,000					
平成 8 年度	中村 正行 橋本 昌巳 川原 琢也 降旗 健治 曹 西 大久保慶治	生産システム 情報 情報 電気電子 社会開発 電気電子	150,000	フランス オーストリア ドイツ イギリス イタリア 中国				
			150,000					
			150,000					
			150,000					
			100,000					
			850,000					
平成 9 年度	大久保慶治 李 健 田中 伸明 伊東 一典 牛 立斌 邵 長城 榊 和彦 アサノ・デービット・ケン	電気電子 社会開発 物質 情報 生産システム 生産システム 生産システム 情報	135,000	メキシコ 米国 千葉県 米国 中国 米国 フランス オーストラリア				
			135,000					
			35,000					
			135,000					
			135,000					
			135,000					
			135,000					
			135,000					
			980,000					
平成 10 年度	萱津 理佳 北原 司 清水 茂 田中 清	情報 情報 社会開発 電気電子	150,000	スロバキヤ 中国 シンガポール インド				
			100,000					
			100,000					
			100,000					
			450,000					
平成 11 年度	邵 長城 池田 清志 伊東 栄次 田中 清 田守伸一郎 武井 重人 和崎 克巳 中村 正行	機械システム 電気電子 電気電子 電気電子 社会開発 情報 情報 環境機能	115,000	米国 フランス 米国 米国 ニュージーランド 米国 ドイツ 中国				
			115,000					
			115,000					
			115,000					
			115,000					
			115,000					
			115,000					
			115,000					
			80,000					
						885,000		
平成 12 年度	川村 隆 松原 雅春 山口 朋浩	社会開発 機械システム 物質	150,000	イタリア 米国 米国				
			150,000					
			150,000					
			450,000					
平成 13 年度	伊東 一典 海谷 治彦 榊 和彦 菅 博幸 高瀬 達夫 樽田 誠一 中屋 眞司 牛 立斌 吉野 正人 和崎 克巳	情報 情報 機械システム 物質 社会開発 物質 社会開発 環境機能 機械システム 情報	120,000	米国 中国 ドイツ 横浜市 中国 米国 米国 中国 フランス ドイツ				
			80,000					
			120,000					
			40,000					
			80,000					
			120,000					
			120,000					
			80,000					
			120,000					
			120,000					
			120,000					
						1,000,000		
			平成 14 年度		西山 宗雄 辺見 信彦 清水 茂 池田 清志 降旗 建治	社会開発 機械システム 社会開発 電気電子 電気電子	150,000	スペイン 韓国 ポーランド 米国 米国
90,000								
150,000								
150,000								
150,000								
			690,000					
平成 15 年度	阿部 克也 錦織 広昌 海谷 治彦 高瀬 達雄 山口 朋浩 樽田 誠一 大久保慶治 野崎 功一 天野 良彦 榊 和彦	電気電子 環境機能 情報 社会開発 物質 物質 電気電子 物質 物質 機械システム	150,000	フランス 奈良市 米国 韓国 名古屋 名古屋 韓国 三重県 三重県 大阪市				
			50,000					
			110,000					
			100,000					
			50,000					
			50,000					
			100,000					
			50,000					
			50,000					
			50,000					
			50,000					
			760,000					

平成 16 年度	辺見 信彦 両角 修四郎 千田 有一 伊東 栄次 和崎 克己 牛 立斌	機械システム 機械システム 機械システム 電気電子 情報 環境機能	150,000	ドイツ 千葉県 台湾 フランス 中国・香港 中国・上海
			50,000	
			100,000	
			150,000	
			100,000	
			650,000	
平成 17 年度	池田 清志 清水 茂 新村 正明 國宗 永佳 吉田 尚史 錦織 広昌 アギレ・エルナン	電気電子 社会開発 情報 情報 環境機能 環境機能 情報	150,000	カナダ ポーランド オーストラリア オーストラリア 三重県 米国 (ハワイ) イギリス
			150,000	
			100,000	
			100,000	
			50,000	
			150,000	
			850,000	

「技報 こまくさ」 第5号 平成18年9月発行  
(非売品)

発行者 財団法人信州大学工学部若里会  
〒380-8553

住 所 長野県長野市若里4丁目17-1  
TEL (026) 266-8209 (FAX 共有)  
E-mail: wakasat@gipwc.shinshu-u.ac.jp

印刷・製本 カシヨ株式会社  
〒381-0037 長野市西和田1丁目27-9  
TEL (026) 251-0510

本書の内容の一部あるいは全部を無断で複製すると、著作権及び出版権の侵害となる場合がありますのでご注意ください。







(財) 信州大学工学部 若里会