

愛知工科大学紀要

工学部・愛知工科大学自動車短期大学

第 15 卷



AICHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

2017

愛知工科大学紀要 第 15 卷

目 次

研究論文

異方性水平多孔質層内自然対流による伝熱促進効果

..... 椎名保顕 1

Analysis of Two-Dimensional Steady Thermal Stresses in Functionally Graded Orthotropic Materials

by the Stress Function Method Manabu Ohmichi 9

惑星探査ローバの ARLISS2016 における動作ログの詳細分析

..... 斎藤卓也, 秋山実穂 19

スマートフォンの加速度センサを用いたぬいぐるみに与えた動作の認識

..... 實廣貴敏, 伊藤俊樹, 早瀬友博 27

研究ノート

「修学形成 1・2」におけるエンジニアリング基礎教育の取り組み

..... 荒川俊也, 井藤良温 33

自動走行機能を搭載した SLAM 型案内ロボットの実践的モノづくり教育

..... 大西正敏, 藁谷明史, 田宮 直 41

Engineering Design using Autonomous Robots for Student Education

(Practical Engineering Education with PDCA)

..... Naoshi Tamiya and Masatoshi Onishi 47

講義・実験融合型授業による実践的技術者教育の取り組み

..... 館山武史 53

大学と地域，行政，NPO との協働に関する考察

..... 加藤高明 59

Excel データから XML 文書への半自動変換

..... 吉田 茂，杉山将平 65

総説・解説

IEC の概要と IEC SC48D の取り組みについて

..... 杉浦伸明 73

愛知工科大学・愛知工科大学自動車短期大学教職員業績リスト (2017.1-2017.12)

愛知工科大学紀要規程

愛知工科大学紀要投稿細則

研究論文

異方性水平多孔質層内自然対流による伝熱促進効果

椎名 保顕*

(2017年9月30日受理)

Heat Transfer Augmentation by Natural Convection in Anisotropic Horizontal Porous Layers

Yasuaki Shiina *

(Received September 30, 2017)

Abstract

Natural convection heat transfer in high porosity and high anisotropic horizontal porous layers with insertion of thin circular cylindrical rods was analytically studied. Critical Rayleigh number at the onset of natural convection in the high anisotropic porous layers was obtained by linear stability analysis considering both of Darcy and viscous terms. Non-linear heat transfer equations derived by energy equation coupled with Navier-Stokes equations were solved by collocation method and Newton-Rapson method.

Insertion of thin circular cylindrical rods with high thermal conductivity in horizontal fluid layer increases effective thermal conductivity of horizontal porous layer, which yields increase in conduction heat in conduction region. Whereas the insertion suppresses the onset of natural convection, which may yield decreases in convection heat in high Rayleigh number region. Heat transfer augmentation across the porous layer was estimated by the comparison of the heat between with and without the insertion for wide range of Rayleigh number.

Keywords: Critical Rayleigh number, Natural convection heat transfer, Anisotropic porous layer, Conduction heat, Convection heat, Heat transfer augmentation

1. まえがき

固液相変化による潜熱蓄熱技術において、相変化媒体 (Phase Change Material: 以後 PCM と称する) の熱伝導率は通常非常に低いため、蓄熱・放熱に時間がかかることになり、実用化には伝熱特性の向上が必要である。そのため、フィン付き伝熱面を用いたり、PCM 中に高熱伝導率の金属細線等を挿入すること等により、伝熱特性を向上させることが検討されている^{1)~3)}。

水平流体層中に熱伝導率の高い細線等が挿入された水平多孔質層 (液体 PCM + 細線等の多孔質層を水平多孔質層と称する) は、実効熱伝導率が向上する。この水平多孔質層の下面を加熱し、上面を冷却する場合、熱伝導領域では実効熱伝導率の向上により伝熱量は増大する。

一方、上下面の温度差が大きくなり、流体のみの場合には自然対流が発生する温度差を越えても、細線等が存在することにより自然対流の発生は抑制される。そのため、細線の挿入により自然対流による伝熱を期待できない状態が存在する。この場合、細線等の多孔質層の存在により、伝熱特性が劣化することもある。

したがって、水平流体層中に金属細線等を挿入して伝熱向上を図る場合には、水平多孔質層の総合的な伝熱特性を詳細に把握する必要がある。

水平多孔質層中の自然対流に関しては、球が充填された均質多孔質層について研究が多く行われ、ダルシー則が成立する場合について、自然対流発生臨界レイリー数が求められてきた^{4) 5)}。その後、流体の粘性が支配的と

* 愛知工科大学工学部機械システム工学科, 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Faculty of Engineering, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, Nishihasama-cho, gamagori, 443-0047 Japan

なりダルシー則が成立しない領域についても解析が行われ⁶⁾⁷⁾、ダルシー則に従う領域からレイリー・ベナール対流領域まで解析が行われてきている。一方、繊維質断熱材等は、繊維の向きにより流動抵抗や物性値がxyz方向に不均質となるが、多孔質層の異方性を考慮した自然対流の研究も行われてきている。

異方性多孔質中の自然対流は、Castinelら⁸⁾及びEphere⁹⁾によりダルシー流れに基づいて浸透度あるいは浸透度と熱拡散率の異方性を考慮した解析が行われたのが最初であり、臨界レイリー数が求められた。その後、Palmら¹⁰⁾、Kvernfoldら¹¹⁾は、ダルシー流れを仮定し、臨界レイリー数に加えて熱伝達の解析を行うとともに、実験結果との比較を行っている。比較的最近には、流体の粘性抵抗を考慮するBrinkman-Darcyモデルに基づく解析が行われ、地中の地下熱源により生じる上昇流が地表近くで冷却される場合をモデル化した等熱流束加熱の解析等が行われてきている¹²⁾¹³⁾。これらの解析では異方性を特徴づける主軸が重力方向と角度を持つ場合の自然対流が取り扱われ、異方性を表すパラメータにより自然対流が大きく影響されることが示されている。

これら異方性多孔質層中自然対流の解析の多くはダルシー則に基づく流れが扱われているが、通常、ダルシー則が成立するのは気孔率(体積全体に占める空隙の割合)が小さい場合に限られる。(例えば、球を最密に配置した場合の気孔率は約0.26である)一方、潜熱蓄熱技術において伝熱特性向上のため円柱細線等の多孔質体を挿入する場合には、空隙の割合を高くしてPCMの量を多くする必要があることから、気孔率は1に近く、ダルシー則は成立しないと考えられる。筆者らは、ダルシー則が成立しない領域における異方性多孔質層内の自然対流研究を行ってきており、臨界レイリー数、非線形方程式による熱伝達の解析、実験と解析の比較等を行ってきた¹⁴⁾⁻¹⁶⁾。本研究では、水平流体層の高温面及び低温面間に円柱細線を均一に挿入し、熱拡散率の異方性が大きい場合の熱伝達特性を非線形解析で求めるとともに、円柱細線を挿入することによる自然対流抑制効果を含めた総合的な伝熱促進効果の考察をおこなったので報告する。

2. おもな記号

c : 比熱

d : 円柱細線の直径

Da : ダルシー数 $= K_1/h^2$

$\mathcal{D}_f$: 実効熱拡散率テンソル

F_D : 円柱細線の抗力

$f_1(\varepsilon), f_2(\varepsilon)$: (16)(17) 式参照

g : 重力加速度,

h : 水平多孔質層の高さ

k : 波数

$K(K_x, K_y, K_z)$: x,y,z 方向の浸透度

K_1, K_2 : $K_1 = K_x = K_y$, $K_2 = K_z$

$\mathcal{K}$: 浸透度テンソル

p, P, p_D : 圧力変動, 圧力, 抗力による圧力損失

q, q_{cond} : 熱流束, 熱伝導で伝わる熱流束

Ra, Ra_c : レイリー数, 臨界レイリー数

T, T_0, T_1 : 温度 (無次元化後も同じ記号を使う。このとき $T = (T - T_1)/h$), 下面温度, 上面温度

ΔT : $T_0 - T_1$

$u(u, v, w)$: 流速, 攪乱流速 (無次元化後も同じ記号)

U : 多孔質層中の平均速度

[ギリシャ文字]

α : $\alpha = (T_1 - T_0)/h$

β : 熱膨張率

ε : 空隙率

θ : 温度攪乱 (無次元化後も同じ記号)

$(\kappa_x)_{ef}, (\kappa_z)_{ef}$: x 及び z 方向実効熱拡散率

λ_f, λ_c : 流体及び円柱細線の熱伝導率

λ_{ef} : 実効熱伝導率

μ : 粘性係数

ν : 動粘性係数

ρ, ρ_0 : 密度, 参照密度

σ : λ_f/λ_c

γ : $(\kappa_x)_{ef}/(\kappa_z)_{ef}$

$\phi = K_x/K_z$

ω : (47) 式で定義される比

[subscript]

$_{ef}$: 実効値

$_f$: 流体

x, y, z : 方向成分

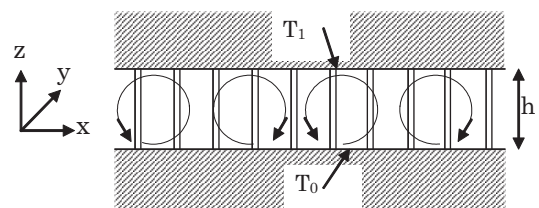


Fig.1 Physical coordinate of the analysis

3. 解析

3.1 自然対流発生臨界レイリー数解析

自然対流発生の臨界レイリー数を線型安定性解析により求める。Fig.1 に水平伝熱面間に垂直かつ均一に円柱細線を挿入した水平多孔質層の模式図を示す。\$(x, y, z)\$ 方向の速度成分を \$\mathbf{u}(u, v, w)\$ とし、Boussinesq 近似を仮定して、流体に作用する力として浮力、円柱細線への抗力及び流体の粘性力を考慮すると基礎方程式は次式で表される。

$$\text{div} \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\rho D\mathbf{u}/Dt = -\rho \mathbf{g} - \nabla P + \mu \nabla^2 \mathbf{u} - \mu \boldsymbol{\kappa}^{-1} \mathbf{u} \quad (2)$$

$$(\rho c)_{ef} / (\rho c)_f \cdot \partial T / \partial t + (\mathbf{u} \cdot \nabla T) = \nabla \cdot \{ \boldsymbol{\phi}_{ef} \cdot \nabla T \} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{境界条件: } z=0, \quad T=T_0, \quad u=v=w=0 \\ z=h, \quad T=T_1, \quad u=v=w=0 \end{aligned} \quad (4)$$

上式で \$\boldsymbol{\kappa}\$ 及び \$\boldsymbol{\phi}_{ef}\$ はそれぞれ浸透度 \$K_x, K_y, K_z\$ 及び実効熱拡散率 \$(\kappa_x)_{ef}, (\kappa_y)_{ef}, (\kappa_z)_{ef}\$ を対角要素とするテンソルであり、\$\boldsymbol{\kappa}^{-1}\$ は \$\boldsymbol{\kappa}\$ の逆行列である。対流発生後、円柱細線には流体から抗力を受ける。抗力は円柱が均一に配列されているとしてストークス近似により求められ、抗力から浸透度が求められる¹⁵⁾。円柱が流れに直交する場合の抗力は平行の場合の2倍となり、これから、xyz 方向の浸透度は \$K_x = K_y = K_z/2\$ となる。

実効熱拡散率は実効熱伝導率を流体の密度及び比熱で除いたものである。実効熱伝導率は熱流が1次元と仮定して、以下の式で表される。

$$z \text{ 方向} \quad (\lambda_z)_{ef} = \lambda_c (1 - \varepsilon) + \varepsilon \lambda_f \quad (5)$$

$$\begin{aligned} x, y \text{ 方向} \\ (\lambda_x)_{ef} = \lambda_f \left[1 - 2 \sqrt{\frac{1 - \varepsilon}{\pi}} + \frac{1}{\sigma - 1} \right. \\ \left. \times \left(\frac{\pi}{2} - \frac{2}{\sqrt{1 - b^2}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{1 - b}{1 + b}} \right) \right] \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、\$b\$ は次式で表される。

$$b = 2(\sigma - 1) \sqrt{(1 - \varepsilon)/\pi}$$

初期熱伝導状態では次式が成り立つ。

$$T = T_0 + \alpha z \quad (7)$$

$$\rho / \rho_0 = 1 - \beta (T - T_0) \quad (8)$$

$$\partial p / \partial z = -\rho_0 g (1 - \beta \alpha z) \quad (9)$$

$$u(u, v, w) = 0 \quad (10)$$

ここで \$\alpha = (T_1 - T_0)/h\$ である。熱伝導状態からの温度、圧力、速度攪乱をそれぞれ \$\theta, p, \mathbf{u}(u, v, w)\$ とすると、攪乱に関して以下の式が成り立つ。

$$\text{div} \mathbf{u} = 0 \quad (11)$$

$$\rho \partial u / \partial t + (\mathbf{u}, \text{grad}) u = -\partial p / \partial x + \mu \nabla^2 u - (\mu / K_x) u \quad (12)$$

$$\rho \partial v / \partial t + (\mathbf{u}, \text{grad}) v = -\partial p / \partial y + \mu \nabla^2 v - (\mu / K_y) v \quad (13)$$

$$\rho \partial w / \partial t + (\mathbf{u}, \text{grad}) w = \rho_0 \beta \theta g - \partial p / \partial z + \mu \nabla^2 w - (\mu / K_z) w \quad (14)$$

$$(\rho c)_{ef} / (\rho c)_f \cdot \partial \theta / \partial t + (\mathbf{u}, \text{grad}) \theta + \alpha w = \nabla \cdot \{ \boldsymbol{\phi}_{ef} \cdot \nabla \theta \} \quad (15)$$

実効熱伝導率 \$(\kappa_x)_{ef} = (\kappa_y)_{ef}\$ である。ここで、\$(\kappa_z)_{ef}\$ は \$z\$ 方向の実効熱拡散係数である。長さ、温度、圧力及び速度をそれぞれ以下の量で無次元化し、無次元化後も同じ記号を使う。

$$h, \quad \Delta T = T_0 - T_1, \quad \mu (\kappa_x)_{ef} / K_x, \quad (\kappa_z)_{ef} / h$$

微小攪乱における中立安定条件は \$\partial/\partial t = 0\$ から求められる。結局、以下の基礎式が得られる。

$$\text{div} \mathbf{u} = 0 \quad (16)$$

$$0 = -\partial p / \partial x + Da \nabla^2 u - u \quad (17)$$

$$0 = -\partial p / \partial y + Da \nabla^2 v - v \quad (18)$$

$$0 = Ra Da \cdot \theta - \partial p / \partial z + Da \nabla^2 w - w/2 \quad (19)$$

$$\gamma \nabla_1^2 \theta + \partial^2 \theta / \partial z^2 + w = 0 \quad (20)$$

$$\text{境界条件: } z=0, 1 \text{ で } u=v=w=\theta=0 \quad (21)$$

上式で \$\nabla_1^2 = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2\$、\$\gamma = (\kappa_x)_{ef} / (\kappa_z)_{ef}\$ である。また、\$Da = K_x / h^2\$ であり、\$Da\$ はダルシー数と呼ばれる無次元数である。レイリー数を次式で定義する。

$$Ra = g \beta \Delta T h^3 / (\kappa_z)_{ef} \nu \quad (22)$$

(16) ~ (21) 式を用いて自然対流発生の臨界レイリー

Table 1 Critical Rayleigh number and critical wave number corresponding to γ and K_1/h^2

$\gamma=1$			$\gamma=0.1$		
K_1/h^2	k	Ra_c	K_1/h^2	k	Ra_c
100	3.1163	1708.28	100	4.2326	831.37
10	3.1172	1711.39	10	4.2344	832.60
1	3.1263	1742.40	1	4.2523	844.91
0.1	3.2949	2049.34	0.1	4.4126	965.49
0.01	3.5322	4967.55	0.01	5.2219	2055.78
0.001	3.7642	32214.40	0.001	6.3295	11746.39
0.0001	3.7641	295631.40	0.0001	6.6453	105655.79
$\gamma=0.01$			$\gamma=0.001$		
K_1/h^2	k	Ra_c	K_1/h^2	k	Ra_c
100	4.6933	706.60	100	4.7651	692.53
10	4.6958	707.55	10	4.7676	693.45
1	4.7201	717.02	1	4.7932	702.58
0.1	4.9412	809.05	0.1	5.0267	791.21
0.01	6.2069	1601.71	0.01	6.4066	1545.94
0.001	9.0575	7942.14	0.001	10.1541	7335.96
0.0001	11.2856	66376.87	0.0001	16.0273	57504.69

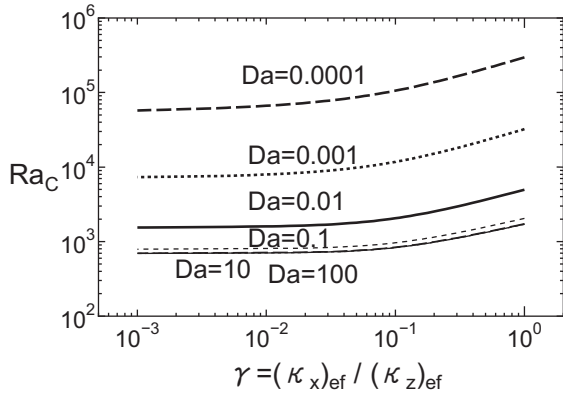


Fig.2 Plot of critical Rayleigh number against γ with Darcy number as a parameter

数及び波数が求められる（解析詳細は文献(16)参照）。**Table 1** に解析で得られた臨界レイリー数及び波数を、また、**Fig.2** に Ra_c と γ の関係を示す。これから臨界レイリー数 Ra_c は γ 及びダルシー数 Da に依存することがわかる。 Da が大きい場合、 Ra_c はレイリー・ベナール対流の臨界レイリー数 1707.8 より小さくなる場合があるが、これは Ra_c が $(\kappa_z)_{ef}$ により定義されるためで、 $(\kappa_z)_{ef}$ の代わりに流体の熱拡散率を用いると、1707.8 より大きいことが示される。すなわち、多孔質層の挿入により自然対流は抑制される。

多孔質物質が挿入されないレイリー・ベナール対流の臨界波数は 3.11632 である。**Table 1** より波数はすべてこれより大きくなっていることから、この水平多孔質層内に生じるセル対流の幅は、レイリー・ベナール対流よりも狭いことがわかる。

3.2 自然対流発生後の熱伝達解析

自然対流が発生した場合、すなわち、 $Ra > Ra_c$ の場合の自然対流熱伝達は、(12) ～ (15) 式を解いて求められる。(12) ～ (15) から圧力項を消去して次式が得られる。

$$\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \phi \nabla_1^2 w - Ra Da \nabla_1^2 \theta - Da \nabla^4 w = \frac{Da}{Pr} \left[\frac{\partial^2}{\partial z \partial x} (u, grad) u + \frac{\partial^2}{\partial z \partial y} (u, grad) v - \nabla_1^2 (u, grad) w \right] \quad (23)$$

$$\gamma \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \gamma \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + w = u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + w \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (24)$$

ここで、 $\phi = K_x/K_z$ 、 $\gamma = (\kappa_x)_{ef}/(\kappa_z)_{ef}$ である。この場合、2次元モードが最不安定モードだから、基礎式は以下ようになる。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (25)$$

$$\phi \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - Ra Da \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - Da \nabla^2 \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) = \frac{Da}{Pr} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (-u \nabla^2 w + w \nabla^2 u) \quad (26)$$

$$\gamma \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + w = u \frac{\partial \theta}{\partial x} + w \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (27)$$

$$\text{境界条件 } z=0,1 \text{ で } u=v=w=\theta=0 \quad (28)$$

流れ関数 ψ を導入し、 u および w は以下のように表す。

$$u = -\partial \psi / \partial z, \quad w = \partial \psi / \partial x \quad (29)$$

ここで、 Ψ 及び θ を以下のように展開する。

$$\Psi = -i \sum_{l=-\infty}^{l=\infty} A_l(z) e^{ikl x}, \quad \theta = \sum_{l=-\infty}^{l=\infty} B_l(z) e^{ikl x} \quad (30)$$

u, w, θ が実数であることから次の関係が成り立つ。

$$A_l = -A_{-l}, \quad B_l = B_{-l} \quad (31)$$

(30)(31) を (25)-(27) に代入し、 e^{-ipkx} を掛けて 0 ～

$2\pi/k$ で積分を実行する。また、

$$\xi = 2z - 1 \quad (32)$$

を導入し、固定境界を $z = 0.1$ から、 $\xi = \pm 1$ に変更すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} & -\phi A_p p^2 k^2 + 4 \frac{d^2 A_p}{d\xi^2} + Ra Da B_p p k - Da \left(p^2 k^2 - 4 \frac{d^2}{d\xi^2} \right)^2 A_p \\ & = 2 \frac{Da}{Pr} \cdot \sum_{l=-\infty}^{\infty} \left[k(p-l) \{ k^2 p(2l-p) A_{p-l} \} \frac{dA_l}{d\xi} + 4 \frac{dA_l}{d\xi} \frac{dA_{p-l}}{d\xi} \right. \\ & \quad \left. - 4 A_{p-l} \frac{d^3 A_l}{d\xi^3} \right] = 0 \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} & -\gamma B_p p^2 k^2 + 4 \frac{d^2 B_p}{d\xi^2} + A_p p k = 2 \sum_{l=-\infty}^{\infty} k \left[l A_l \frac{dB_{p-l}}{d\xi} \right. \\ & \quad \left. - (p-l) \frac{dA_l}{d\xi} B_{p-l} \right] \end{aligned} \quad (34)$$

$$\text{境界条件: } \xi = \pm 1 \text{ で } u = v = w = \theta = 0 \quad (35)$$

境界条件を満足するように $A_l(\xi), B_l(\xi)$ を以下のように展開する。

$$A_{lm}(\xi) = \sum_{m=0}^{\infty} A_{lm} (1-\xi^2)^2 T_m(\xi) = \sum_{m=0}^{\infty} A_{lm} \tilde{T}_m(\xi) \quad (36)$$

$$B_{lm}(\xi) = \sum_{m=0}^{\infty} B_{lm} (1-\xi^2) T_m(\xi) = \sum_{m=0}^{\infty} B_{lm} \hat{T}_m(\xi) \quad (37)$$

ここで、 $T_m(\xi)$ は m 次のチェビシエフ多項式である。

(36)(37) 式を (33)(34) 式に代入して以下の式を得る。

$$\begin{aligned} & \sum_{m=0}^{\infty} \left[A_{pm} \left\{ -\phi p^2 k^2 \tilde{T}_m + 4 \frac{d^2 \tilde{T}_m}{d\xi^2} - Da \left(p^2 k^2 - 4 \frac{d^2}{d\xi^2} \right)^2 \tilde{T}_m \right\} \right] + Ra Da p k \\ & \cdot \sum_{m=0}^{\infty} B_{pm} \hat{T}_m - 2 \frac{Da}{Pr} \sum_{l=-\infty}^{\infty} k(p-l) \sum_{m=0}^{\infty} \left[k^2 p(2l-p) A_{p-l,m} \tilde{T}_m \sum_{m=0}^{\infty} A_{lm} \frac{d\tilde{T}_m}{d\xi} \right. \\ & \quad \left. + 4 A_{lm} \frac{d\tilde{T}_m}{d\xi} \sum_{m=0}^{\infty} A_{p-l,m} \frac{d^2 \tilde{T}_m}{d\xi^2} - 4 A_{p-l,m} \tilde{T}_m \sum_{m=0}^{\infty} A_{lm} \frac{d^3 \tilde{T}_m}{d\xi^3} \right] = 0 \end{aligned} \quad (38)$$

$$p k \sum_{m=0}^{\infty} A_{pm} \tilde{T}_m + \sum_{m=0}^{\infty} B_{pm} \left\{ -\gamma p^2 k^2 \hat{T}_m + 4 \frac{d^2 \hat{T}_m}{d\xi^2} \right\} - 2 k \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \left[l A_{lm} \tilde{T}_m \right.$$

$$\left. \cdot \sum_{m=0}^{\infty} B_{p-l,m} \frac{d\tilde{T}_m}{d\xi} - (p-l) A_{lm} \frac{d\tilde{T}_m}{d\xi} \sum_{m=0}^{\infty} B_{p-l,m} \hat{T}_m \right] = 0 \quad (39)$$

$$\text{境界条件 } \xi = \pm 1: \quad A_l = dA_l/d\xi = B_l = 0 \quad (40)$$

ヌッセルト数を求める。熱流束は次式より求められる。

$$q = -(\lambda_{ef})_z \frac{\Delta T}{h} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{wall} \quad (41)$$

ここで、 T, z はそれぞれ無次元化された温度及び z であり、 $(\lambda_{ef})_z$ は z 方向の実効熱伝導率である。これから、ヌッセルト数は

$$Nu = \frac{h \cdot q}{(\lambda_{ef})_z \Delta T} = - \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (42)$$

と求められる。無次元化後の流路内温度は、(5) 式に温度攪乱 θ を加えて次式で表される。

$$T = 1 - z + \theta \quad (43)$$

これから、(42) 式は以下ようになる。

$$Nu = 1 - \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)_{z=0} \quad (44)$$

伝熱面上ではセル対流が発生することから、 $(\partial \theta / \partial z)_{z=0}$ は伝熱面上において分布を持つ。そこで、伝熱面上で $(\partial \theta / \partial z)_{z=0}$ 平均をとりヌッセルト数を定義すると、

$$Nu = 1 - \left\langle \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)_{z=0} \right\rangle \quad (45)$$

が得られる。ここで、 $\langle \rangle$ は、伝熱面上の平均値を示す。 θ に (30) 式を代入し、 z を ξ に変換して平均を求める。以下以下の式が得られる。

$$Nu = 1 - 4 \sum_{m=0}^{\infty} B_{0m} (-1)^m \quad (46)$$

(38)-(40) 式を解いて A_{lm} 、 B_{lm} を求める。多孔質層中 z 方向に $M+1$ 個の点を定め、 $l = m = M+1$ として A_{lm} 、 B_{lm} を求める Collocation 法を用いた。ここでは $l = m = 15$ として解を求めた。非線形方程式は Newton-Rapson 法により解いた。

3.3 円柱細線の有無による伝熱特性解析

高熱伝導率の円柱細線を挿入すると実効熱伝導率の向

上により熱伝導伝熱は促進される。しかし、高レイリー数域では自然対流は抑制されるため、逆に伝熱劣化の可能性がある。ここでは、水平流体層に円柱細線が挿入された場合及び挿入されない場合の伝熱特性を評価する。レイリー・ベナール対流のヌッセルト数は Catton¹⁷⁾の結果を用いた。下面加熱・上面冷却であるから、平均すれば熱は z 方向のみに流れると考えて良い。このとき、 z 方向の実効熱伝導率 $(\lambda_z)_{ef}$ は (1) 式で表される。 $(\lambda_z)_{ef}$ と λ_f の比を ω とすると、

$$\omega = (\lambda_z)_{ef} / \lambda_f = \varepsilon + (1 - \varepsilon) / \sigma, \quad \sigma = \lambda_f / \lambda_c \quad (47)$$

となる。水平多孔質層の場合のレイリー数は (22) 式で定義されるが、(22) 式の $(\kappa_z)_{ef}$ のかわりに流体の熱拡散率 κ_f を用いたレイリー数を Ra_f と書き、水平多孔質層の臨界レイリー数 Ra_c に対応する Ra_f を Ra_{cf} と表すと、 Ra_{cf} は次のように与えられる。

$$Ra_{cf} = \omega \cdot Ra_c \quad (48)$$

円柱細線が挿入された水平多孔質層の熱流束を q_{ef} 、同じ温度条件・形状で円柱細線が挿入されない流体の場合の熱流束を q_f とすると、 q_{ef}/q_f は以下のように求められる。

- (1) $Ra_f \leq 1707.8$ (円柱細線の有無にかかわらず熱伝導)

$$q_{ef}/q_f = \omega \quad (49)$$

- (2) $1707.8 \leq Ra_f \leq Ra_{cf}$ (円柱細線がある場合：熱伝導、円柱視線が無い場合：自然対流)

$$q_{ef}/q_f = (1/Nu_f) \cdot \omega \quad (50)$$

ここで Nu_f はベナール対流のヌッセルト数であり、

$$Nu_f = 1 + \sum_{i=1}^{\infty} N_i (1 - R_{Ci}/Ra_f) \delta(Ra_f - R_{Ci}) \quad (51)$$

で与えられる¹⁷⁾。 N_i は Catton¹⁷⁾ により与えられた定数、 R_{Ci} は i 番目の遷移モードの臨海レイリー数であり、 $Nu_f = q_f h / \lambda_f \Delta T$ である。

- (3) $Ra_f \geq Ra_{cf}$ (円柱細線の有無にかかわらず自然対流)

$$q_{ef}/q_f = (Nu/Nu_f) \cdot \omega \quad (52)$$

ここで、 Nu は水平多孔質層の自然対流発生後のヌッ

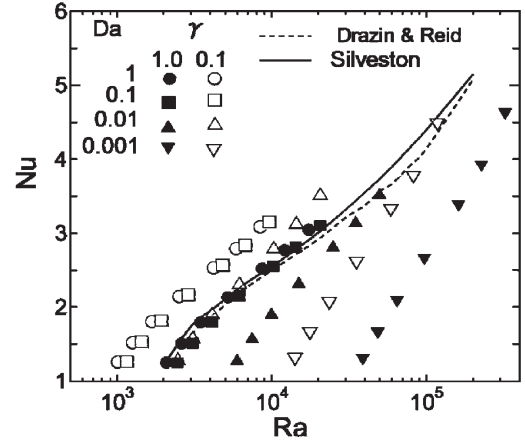


Fig.3 Plot of Nu against Ra at $\gamma=1$ and 0.1 with Da as a parameter

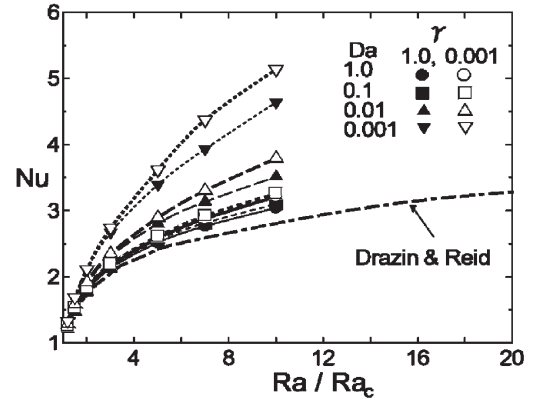


Fig.4 Plot of Nu against Ra/Ra_c at $\gamma=1$ and 0.001 with Da as a parameter

セルト数⁽⁴⁾であり、 $Nu = q_{ef} h / (\lambda_z)_{ef} \Delta T$ である。本解析では γ , σ , ε を変えて Nu を求めた。

4. 結果と考察

Fig.3 に $\gamma=1$ および $\gamma=0.1$ の場合の Nu と Ra の関係を Da をパラメータとして示す。図にベナール対流の場合 ($\xi=1$, $Da \rightarrow \infty$) の実験結果¹⁸⁾¹⁹⁾を併せて示す。

$\gamma=1$ ($\lambda_c = \lambda_f$) で $Da \geq 1$ の場合は、ベナール対流の結果とほぼ一致する。 $Da < 1$ になると臨界レイリー数 Ra_c は増加し、 Da が小さいほど同じ Ra に対する Nu は小さいことがわかる。 $\gamma=1$ と $\gamma=0.1$ の場合では、 γ が小さい方が Ra_c は小さいため、 Da が等しい場合、 Nu は、 $\gamma=0.1$ の場合の方が大きくなる。

Fig.4 に $\gamma=1$ および $\gamma=0.001$ の場合の Nu と Ra/Ra_c の関係を Da をパラメータとして示す。図にはベナール対流における実験結果⁽¹⁹⁾を併せて示す。図から、円柱細線を挿入すると、ヌッセルト数はレイリー・ベナール対流の場合より増加し、 Da 及び γ が小さい方が、同じ

Ra/Ra_c に対する Nu は大きくなることわかる。

Fig.5 に Nu と $\gamma = (\kappa_x)_{ef} / (\kappa_z)_{ef}$ の関係を Ra/Ra_c をパラメータとして示す。図に示されるように、 $Ra/Ra_c \leq 5$ では Nu は γ にほとんど依存せず、ほぼ一定値を示す。 Nu は Ra/Ra_c とともに増加するが、同じ Ra/Ra_c では γ が小さい方が高い Nu を示す。しかし、 Ra/Ra_c が 10 近くになると、 γ が 1 に近いところで Nu に極小値が現れることが観察される。解析精度は Ra/Ra_c が大きいほど低くなるから、この極小値は解析精度の低下により生じた可能性も考えられる。

Fig.3 から **Fig.5** の結果で注意が必要なのは、ダルシー数や γ が異なる場合には、同じレイリー数や同じヌッセルト数でも、水平流体層の上下面温度差が等しいわけでも、また熱伝達率が等しいわけでもないということである。これは、レイリー数及びヌッセルト数は実効熱伝導率で定義されており、実効熱伝導率は Da 及び γ に依存するためである。そこで、熱流束が増加したかどうかを

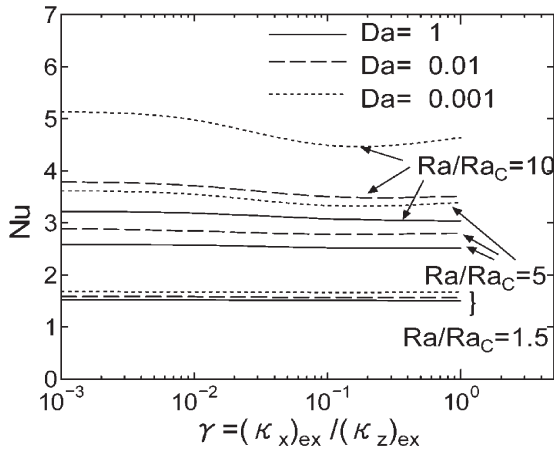


Fig.5 Plot of Nu against γ with Da as a parameter

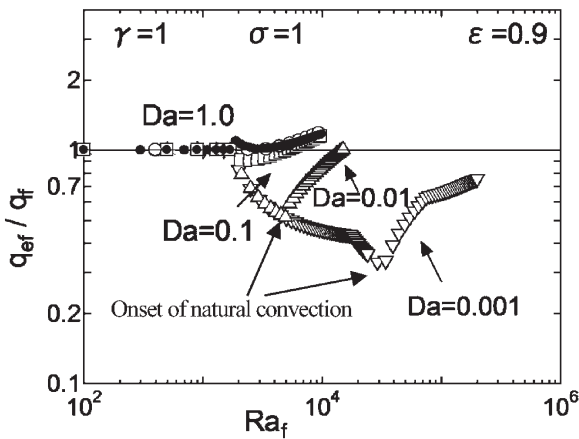


Fig.6 Plot of q_{ef}/q_f against Ra_f in case of $\gamma=1$, $\sigma=1$, and $\epsilon=1$ with Da as a parameter

わかりやすく示すために、流体のみの場合と流体中に円柱細線を入れた場合の伝熱促進効果を以下に示す。

Fig.6 に、流体と熱伝導率が等しい円柱細線が、気孔率 0.9 で挿入された場合の水平多孔質層の上下面間の熱流束 q_{ef} と、円柱細線が挿入されない場合の熱流束 q_f の比、 q_{ef}/q_f と Ra_f の関係を示す。ここで、 Ra_f は流体の物性値を用いたレイリー数であり、上下面間の温度差が等しい場合には、異方性水平多孔質層でも流体のみの場合のレイリー数と等しい。 $Da=1$ の場合には **Table 1** に示すように $Ra_f=1742.2$ で自然対流が発生し、その後レイリー数が増加すると q_{ef}/q_f はわずかに 1 より増加するが、ほぼ 1 を保持している。すなわち、この場合には円柱細線挿入により熱伝導率増加はほとんど期待できない。一方、 $Da=0.01$ のときは $Ra_f=4967.6$ であるから、流体のみの場合には $Ra_f=1708$ で自然対流が発生し、対流伝熱が行われているのに対して、多孔質層では $Ra_f < 4967.6$ で伝導伝熱のみであるから、 $1708 \leq Ra_f \leq 4967.6$ の領域で流体のみの場合の方が伝熱特性が高いことになる。すなわち、円柱細線の挿入により伝熱劣化が生じることになる。やがて、多孔質層内部にも自然対流が発生すると伝熱特性は向上し、 $Ra_f \geq 10000$ で、流体のみの場合の伝熱特性と等しくなることがわかる。 $Da=0.001$ の場合には、伝熱劣化の傾向がさらに大きくなることが示されている。**Fig.6** の場合は流体の同じ熱伝導率の円柱を挿入した場合の結果であるが、通常、伝熱促進を目的として流体と同じ熱伝導率の円柱細線を挿入することはあり得ない。本解析では気孔率の大きな場合を対象としているので、円柱細線の熱伝導率が非常に大きくても、実効熱伝導率の増加量はさほど大きくない。そこで、熱伝導率比 100 ($\sigma=0.01$) の場合と $\sigma=1$ の場合の比較を **Fig.7** に示す。

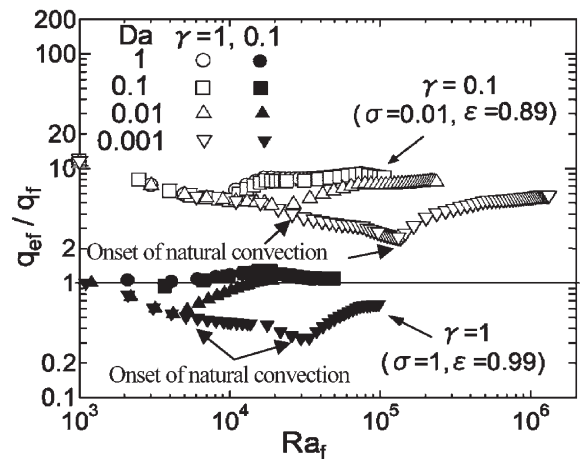


Fig.7 Plot of q_{ef}/q_f against Ra_f at $\gamma=1$ and $\gamma=0.1$ with Da as a parameter

Fig.7 に $\sigma=0.01$, $\gamma=0.1$ の場合 ($\varepsilon=0.89$), 及び $\sigma=1, \gamma=1$ の場合 ($\varepsilon=0.99$) の q_{ef}/q_f と Ra_f の関係をダルシー数 Da をパラメーターとして示す. $\gamma=1$ の場合, Fig.6 で記述したように $Da < 1$ では Ra_f が 1707.8 を超えてもすぐには自然対流が発生しないため q_{ef}/q_f は 1 より低下し, 自然対流の発生に伴って $q_{ef}/q_f=1$ に近づく. 一方, $\gamma=0.1$ の場合, $Da=0.1$ では Table 1 より $Ra_c=965.5$ であり, これは $Ra_f=9655$ に対応するが, この場合には自然対流が発生しなくても実効熱伝導率の増加割合が大きいため q_{ef}/q_f は 1 を下回ることなく, 伝導熱だけでベナール対流の伝熱量を上回る. これは, 円柱細線の熱伝導率が流体より非常に大きいことによる. したがって, σ と ε を適当に選択すれば, 円柱細線の挿入は固相の融解時において自然対流が抑制されても伝熱促進に有効であるといえることができる.

5. 結 論

下面加熱上面冷却の水平流体層間に, 流体と異なる物性値を持つ円柱細線を垂直に挿入した場合の伝熱特性を解析により求め, 以下の結論を得た.

1. $\gamma = (\kappa_x)_{ef}/(\kappa_z)_{ef}$ が小さいほど, また, Da が大きいほど同じ Ra に対する Nu は高くなる.
2. $\gamma=1$ の場合は円柱細線の挿入により伝熱特性は劣化するが, 適当な σ 及び ε を選択し, $\gamma < 1$ とすると, 円柱細線の挿入により自然対流が抑制されても $q_{ef}/q_f \geq 1$ とすることができる.

参考文献

- 1) 笹口健吾, 井村英昭, 古庄弘一, フィンチューブ形潜熱蓄熱装置の伝熱特性 (第 1 報, 凝固及び融解過程における実験的研究), 機械学会論文集, B 編, 52 巻, 473 号, pp.159-166 (1986)
- 2) Shiina, Y., Inagaki, T., „Study on the efficiency of effective thermal conductivities on melting characteristics of latent heat capsules, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol.48 (2005), pp.373-383
- 3) 椎名保顕, 菱田誠, 空隙率の高い水平多孔質層内の自然対流熱伝達, 日本機械学会論文集, 73 巻, 728 号, pp.1045-1051 (2007)
- 4) Horton, C.W., Rogers, F.T., Convection Currents in a Porous Medium, *Journal of Applied Physics*, Vol.16 (1945) 367-370
- 5) Lapwood, E. R., Convection of a fluid in a porous medium, *Proc. Cam. Phil. Soc.* Vol.44 (1948), pp.508-521,
- 6) Katto, Y., Masuoka, T., Criterion for the onset of convective flow in a Fluid and Porous Medium, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol.10, pp.297-309 (1967)
- 7) Walker, K., Homsy, G.M., A note on convective instabilities in Bousinesq fluids and porous medium, *Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer*, Vol.99 (1977), pp.338-339
- 8) Castinel G., Combarnous, M, Natural convection in an anisotropic porous layer, *Int. Chem Eng*, Vol.17, No.4 (1977), pp.605-614
- 9) Epherre, J.F., Criterion for the appearance of natural convection in an anisotropic porous layer, *Int Chem Eng*, Vol.17, No.4 (1977), pp. 615-616
- 10) Palm, E. Weber, J.E., Kvernfold, O., On steady convection in a porous medium, *J. Fluid Mech.*, 54 (1972), pp.153-161
- 11) Kvernfold, O., Tyvand, P.A, Non-linear thermal convection in anisotropic porous media, *J Fluid Mech*, Vol.90, (1979), 609-624
- 12) Mamou, M., Mahidjiba, P., Vasseur, P., Robillard, L., Onset of convection in an anisotropic porous medium below by a constant heat flux., *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Vol.25, (1998), pp.799-808
- 13) Mahidjiba, P., Robillard, L., Vasseur, P., Mamou, M., Onset of convection in an anisotropic porous layer of finite lateral extent., *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Vol.27 (2000), pp.333-342
- 14) Shiina, Y. and Hishida, M., Critical Rayleigh number of natural convection in porosity anisotropic horizontal porous layers., *Int J Heat Mass Transfer*, Vol.53, pp.1507-1513 (2010)
- 15) 椎名保顕, 菱田誠, 円柱細線を挿入した異方性水平多孔質層内の自然対流熱伝達, 愛知工科大学紀要, 11 巻 pp.15-21 (2014)
- 16) 椎名保顕, 菱田誠, 高空隙率の異方性多孔質層内の自然対流発生臨界レイリー数, 日本機械学会論文集 B 編, 73 巻 733 号, pp.1876-1883 (2007)
- 17) Catton, I., Natural convection in horizontal liquid layers, *Physics Fluids*, Vol.9, pp.2521-2522 (1966)
- 18) Silveston, P.L., *Forsch Ing-Wesen*, 24 (1958), 26
- 19) Drazin, P.G., Reid, W.H., *Hydrodynamic Stability*, Cambridge University Press (1981)

研究論文

Analysis of Two-Dimensional Steady Thermal Stresses in Functionally Graded Orthotropic Materials by the Stress Function Method

Manabu Ohmichi*

(Received September 30, 2017)

Abstract

The present paper aims at the formulation and investigation of the effects of orthotropy for two-dimensional steady thermal stress problems in functionally graded orthotropic materials (FGOMs) by the stress function method. All material properties are assumed to be exponential functions of a variable x . The general solution can be obtained by use of the stress function method. The numerical calculations for the functionally graded orthotropic strip (FGOS) are carried out under a steady temperature field. The effects of orthotropy of the FGOS on thermal stresses are shown.

Keywords : Thermoelastic problems, Functionally graded orthotropic materials, Two-dimensional problems, Stress function method

1. Introduction

The functionally graded material (FGM) is one of the advanced high-temperature materials capable of withstanding extreme temperature environments. The initial concept of FGMs^{1) 2)} was proposed by researchers in National Aerospace Laboratory in Sendai, Japan. Since then, many researchers have studied many kinds of thermal stress problems in FGMs. For examples, Noda and Tsuji^{3) 4)} studied steady thermal stresses in a functionally graded plate with and without temperature-dependent material properties. Obata and Noda⁵⁾ investigated steady thermal stresses in a hollow circular cylinder and a hollow sphere of FGMs. Noda⁶⁾ firstly overviewed the thermal stress problems in FGMs. In recent years, Hetnarski⁷⁾ edited the Encyclopedia of Thermal Stresses. Many entries on the thermal stress problems in FGMs have been introduced in literature.

However, as for the recent developments of thermal stress problems in the FGMs, papers dealing with thermal stress problems in functionally graded orthotropic materials (FGOMs) are few. Sladek et

al.⁸⁾ treated heat conduction analysis of 3-D axisymmetric anisotropic FGM bodies by Petrov–Galerkin method. Sladek et al.⁹⁾ discussed transient heat conduction analysis in FGMs by the meshless local boundary integral equation method. Tarn and Wang¹⁰⁾ discussed heat conduction in a cylindrically anisotropic tube of a FGM. Ohmichi et al.¹¹⁾ investigated the analytical method for plane heat conduction problems in the FGOM in the Cartesian coordinate system. Steady and transient temperatures for the FGOM, in which material properties were expressed by both exponential function and arbitrary function of x , are discussed in the paper. Ding et al.¹²⁾ treated a non-homogeneous orthotropic cylindrical shell for axisymmetric plane strain dynamic thermoelastic problems. Pelletier and Vel¹³⁾ discussed an exact solution for the steady-state thermoelastic response of functionally graded orthotropic cylindrical shells. Kar and Kanoria¹⁴⁾ studied generalized thermoelastic functionally graded orthotropic hollow sphere under thermal shock. Kansal and Parvez¹⁵⁾ investigated thermal stress analysis of orthotropic graded rotating discs. Ootao and Tanigawa¹⁶⁾

* Department of Mechanical Systems Engineering, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, Nishihama-cho, Gamagori, Aichi 443-0047 Japan

discussed transient thermal stresses of orthotropic, functionally graded, thick strips. Zhou et al.¹⁷⁾ studied transient thermal stress analysis of orthotropic functionally graded materials with a crack. Moradi and Mansouri¹⁸⁾ investigated thermal buckling analysis of shear deformable laminated orthotropic plates. Chen et al.¹⁹⁾ treated thermal fracture analysis of a functionally graded orthotropic strip with a crack. Chen²⁰⁾ studied thermal stress intensity factors for an interface crack in a graded orthotropic coating-substrate structure. Dag²¹⁾ investigated thermal fracture analysis of FGOMs using an equivalent domain integral approach. Dag et al.²²⁾ treated mixed-mode fracture analysis of FGOMs under mechanical and thermal load. Yildirim et al.²³⁾ studied delamination of compressively stressed orthotropic functionally graded material coatings under thermal loading. Kim and Amit²⁴⁾ investigated a generalized interaction integral method for the evaluation of the T-stress as well as mixed-mode stress intensity factors in orthotropic functionally graded materials under thermomechanical loads.

The purpose of this paper is to investigate the general analytical treatment for plane thermoelastic problems in the FGOMs in the Cartesian coordinate system. The material properties are assumed to be exponential functions of a variable x . To obtain the general solution for plane thermoelastic problems in the FGOMs, the stress function method is used. The numerical calculations for the functionally graded orthotropic strip (FGOS) are carried out under the steady temperature field. The effects of orthotropy of the material properties on thermal stresses are discussed.

1. Two-dimensional steady temperature in the functionally graded orthotropic materials

When the thermal conductivities along the x and y directions in the FGOM are expressed by the arbitrary functions of x only, the plane steady heat conduction equation is given by ¹¹⁾

$$\frac{\partial}{\partial x} [\lambda_x(x) \frac{\partial T}{\partial x}] + \lambda_y(x) \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

where $\lambda_x(x)$ and $\lambda_y(x)$ are the thermal conductivities along the x and y directions, respectively.

When the thermal conductivities are expressed by exponential functions of x

$$\lambda_x(x) = \lambda_{x0} e^{\lambda x}, \quad \lambda_y(x) = \lambda_{y0} e^{\lambda x} \quad (2)$$

where λ , λ_{x0} and λ_{y0} are material constants,

Eq. (1) reduces to

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\lambda_{y0}}{\lambda_{x0}} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (3)$$

By using the separation of variables, we obtain the general solution of Eq. (3) as

$$T(x, y) = A_{01} + A_{02} e^{-\lambda x} + B_{01} y + B_{02} e^{-\lambda x} y + (A_1 e^{s_1 x} + A_2 e^{s_2 x}) \cos sy + (B_1 e^{s_1 x} + B_2 e^{s_2 x}) \sin sy \quad (4)$$

where A_{01} , A_{02} , B_{01} , B_{02} , A_1 , A_2 , B_1 and B_2 are constants which are determined by boundary conditions for temperature, s denotes separation constant and s_1 and s_2 are given by

$$s_1 = -\frac{\lambda}{2} + \sqrt{\frac{\lambda^2}{4} + s^2 q^2}, \quad s_2 = -\frac{\lambda}{2} - \sqrt{\frac{\lambda^2}{4} + s^2 q^2} \quad (5)$$

and q is defined as

$$q = \sqrt{\frac{\lambda_{y0}}{\lambda_{x0}}} \quad (6)$$

We consider the functionally graded orthotropic strip (FGOS) shown in **Fig.1**. The general boundary conditions assumed are

$$T = T_a g_a(y) = T_a \int_0^\infty \bar{g}_a(s) \cos sy ds \quad \text{at } x=0 \quad (7)$$

$$T = T_b g_b(y) = T_b \int_0^\infty \bar{g}_b(s) \cos sy ds \quad \text{at } x=h \quad (8)$$

where

$$\bar{g}_a(s) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty g_a(y) \cos sy dy, \quad \bar{g}_b(s) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty g_b(y) \cos sy dy \quad (9)$$

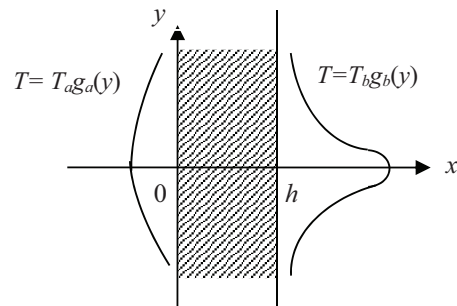


Fig.1 The boundary conditions of FGOS

The temperature which satisfies these boundary conditions is shown as follows ¹¹⁾.

$$T(x, y) = \int_0^\infty \frac{1}{e^{s_2 h} - e^{s_1 h}} \{ [T_a \bar{g}_a(s) e^{s_2 h} - T_b \bar{g}_b(s)] e^{s_1 x} + [T_b \bar{g}_b(s) - T_a \bar{g}_a(s) e^{s_1 h}] e^{s_2 x} \} \cos sy ds \quad (10)$$

or

$$T(x, y) = \int_0^\infty C_s [T_a \bar{g}_a(s) e^{-\lambda x/2} \sinh(h-x) \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} + T_b \bar{g}_b(s) e^{(h-x)\lambda/2} \sinh x \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2}] \cos sy ds \quad (11)$$

where

$$C_s = \frac{1}{\sinh h \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2}} \quad (12)$$

As an example, we consider the following specific boundary conditions

$$T(0, y) = 0, T(h, y) = T_b e^{-ay^2} \quad (13)$$

where a is a constant.

The temperature which satisfies the specific boundary conditions (13) is given by

$$T(x, y) = e^{-\frac{\lambda x}{2}} \int_0^\infty \left[\frac{T_a \bar{g}_a(s) \sinh(h-x) \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2}}{\sinh h \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2}} + e^{\frac{\lambda}{2} h} \frac{T_b \bar{g}_b(s) \sinh x \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2}}{\sinh h \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2}} \right] \cos sy dy \quad (14)$$

2. Two-dimensional steady thermal stresses in the functionally graded orthotropic materials

The equilibrium equations for plane thermo-elasticity are

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} = 0 \quad (15)$$

where σ_{ij} ($i, j=x, y$) denote stress components. Strains and rotation are given by

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y}, \quad \varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right), \quad \omega = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \quad (16)$$

where ε_{ij} ($i, j=x, y$) denote strains, ω is a rotation, and u_i ($i=x, y$) are displacements.

The constitutional equations for the plane problems in the FGOMs are

$$\varepsilon_{xx} = a_{11} \sigma_{xx} + a_{12} \sigma_{yy} + \alpha_1 \tau, \quad \varepsilon_{yy} = a_{21} \sigma_{xx} + a_{22} \sigma_{yy} + \alpha_2 \tau, \quad \varepsilon_{xy} = a_{66} \sigma_{xy} \quad (17)$$

$$\sigma_{xx} = b_{11} \varepsilon_{xx} + b_{12} \varepsilon_{yy} + \beta_1 \tau, \quad \sigma_{yy} = b_{21} \varepsilon_{xx} + b_{22} \varepsilon_{yy} + \beta_2 \tau, \quad \sigma_{xy} = b_{66} \varepsilon_{xy} \quad (18)$$

where a_{ij} , b_{ij} ($i, j=1, 2, 6$) and β_i ($i=1, 2$) denote the material properties which are dependent on the positions x and y , α_i ($i=1, 2$) means the coefficient of linear thermal expansion along the x and y directions, respectively. The following relationships are formed among a_{ij} , b_{ij} , α_i and β_i ($i=1, 2$).

$$a_{21} = a_{12}, \quad b_{21} = b_{12}, \quad b_{11} = \frac{a_{22}}{a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}} \quad (19)$$

$$b_{12} = \frac{-a_{12}}{a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}}, \quad b_{21} = \frac{-a_{21}}{a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}}, \quad b_{22} = \frac{a_{11}}{a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}} \quad (20)$$

$$b_{66} = \frac{1}{a_{66}}, \quad \beta_1 = -\frac{a_{22} \alpha_1 - a_{12} \alpha_2}{a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}}, \quad \beta_2 = -\frac{a_{11} \alpha_2 - a_{21} \alpha_1}{a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}} \quad (21)$$

The compatibility equation is given by

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_{xx}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_{yy}}{\partial x^2} = 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_{xy}}{\partial x \partial y} \quad (22)$$

We introduce stress function χ which satisfies equilibrium Eq. (15) identically.

$$\sigma_{xx} = \frac{\partial^2 \chi}{\partial y^2}, \quad \sigma_{yy} = \frac{\partial^2 \chi}{\partial x^2}, \quad \sigma_{xy} = -\frac{\partial^2 \chi}{\partial x \partial y} \quad (23)$$

Substitution of Eq. (23) into Eqs. (17) and (22) yields

$$\begin{aligned} & a_{22} \frac{\partial^4 \chi}{\partial x^4} + (a_{12} + a_{21} + 2a_{66}) \frac{\partial^4 \chi}{\partial x^2 \partial y^2} + a_{11} \frac{\partial^4 \chi}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial a_{22}}{\partial x} \frac{\partial^3 \chi}{\partial x^3} \\ & + \left(\frac{\partial^2 a_{22}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a_{12}}{\partial y^2} \right) \frac{\partial^2 \chi}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial(a_{12} + a_{66})}{\partial y} \frac{\partial^3 \chi}{\partial x^2 \partial y} + 2 \frac{\partial^2 a_{66}}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 \chi}{\partial x \partial y} \\ & + 2 \frac{\partial a_{11}}{\partial y} \frac{\partial^3 \chi}{\partial y^3} + \left(\frac{\partial^2 a_{11}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 a_{21}}{\partial x^2} \right) \frac{\partial^2 \chi}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial(a_{12} + a_{66})}{\partial x} \frac{\partial^3 \chi}{\partial x \partial y^2} \\ & + \alpha_2 \frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \alpha_1 \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} + \left(\frac{\partial^2 \alpha_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \alpha_1}{\partial y^2} \right) \tau + 2 \frac{\partial \alpha_2}{\partial x} \frac{\partial \tau}{\partial x} + 2 \frac{\partial \alpha_1}{\partial y} \frac{\partial \tau}{\partial y} = 0 \end{aligned} \quad (24)$$

When the material properties are the functions of one variable x , Eq. (24) becomes

$$\begin{aligned} & a_{22} \frac{\partial^4 \chi}{\partial x^4} + (a_{12} + a_{21} + 2a_{66}) \frac{\partial^4 \chi}{\partial x^2 \partial y^2} + a_{11} \frac{\partial^4 \chi}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial a_{22}}{\partial x} \frac{\partial^3 \chi}{\partial x^3} + \frac{\partial^2 a_{22}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \chi}{\partial x^2} \\ & + \frac{\partial^2 a_{21}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \chi}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial(a_{12} + a_{66})}{\partial x} \frac{\partial^3 \chi}{\partial x^2 \partial y} + \alpha_2 \frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \alpha_1 \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \alpha_2}{\partial x^2} \tau + 2 \frac{\partial \alpha_2}{\partial x} \frac{\partial \tau}{\partial x} = 0 \end{aligned} \quad (25)$$

Here, we analyze the model whose material properties are expressed in terms of the exponential functions.

$$\begin{aligned} \lambda_x(x) &= \lambda_{x0} e^{\lambda x} = \lambda_{10} e^{\lambda x}, \quad \lambda_y(x) = \lambda_{y0} e^{\lambda x} = \lambda_{20} e^{\lambda x}, \\ a_{11}(x) &= a_{110} e^{\varepsilon x}, \quad a_{12}(x) = a_{120} e^{\varepsilon x}, \quad a_{21}(x) = a_{210} e^{\varepsilon x}, \quad a_{22}(x) = a_{220} e^{\varepsilon x}, \\ a_{66}(x) &= a_{660} e^{\varepsilon x}, \quad \alpha_1(x) = \alpha_{10} e^{\alpha x}, \quad \alpha_2(x) = \alpha_{20} e^{\alpha x} \end{aligned} \quad (26)$$

where λ_{10} , λ_{20} , a_{110} , a_{120} , a_{210} , a_{220} , a_{660} , α_{10} and

α_{20} are material constants.

Referring back to Eq. (11), the change of temperature becomes

$$\tau(x, y) = T(x, y) - T_0 = -T_0 + \int_0^x C_s [T_a \bar{g}_a(s) e^{-\lambda x/2} \sinh(h-x) \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} + T_b \bar{g}_b(s) e^{(h-x)\lambda/2} \sinh x \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2}] \cos sy ds \quad (27)$$

where T_0 denotes the reference temperature.

The general solution of Eq. (25) consists of the homogeneous solution χ^c and the particular solution χ^p .

$$\chi = \chi^c + \chi^p \quad (28)$$

The homogeneous equation is given by

$$a_{22} \frac{\partial^4 \chi^c}{\partial x^4} + (a_{12} + a_{21} + 2a_{66}) \frac{\partial^4 \chi^c}{\partial x^2 \partial y^2} + a_{11} \frac{\partial^4 \chi^c}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial a_{22}}{\partial x} \frac{\partial^3 \chi^c}{\partial x^3} + \frac{\partial^2 a_{22}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \chi^c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a_{21}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \chi^c}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial(a_{21} + a_{66})}{\partial x} \frac{\partial^3 \chi^c}{\partial x \partial y^2} = 0 \quad (29)$$

The homogeneous solution is expressed in the form

$$\chi^c(x, y) = e^{\xi x} (C \cos sy + D \sin sy) \quad (30)$$

where ξ , C and D are constants.

Substitution of Eq. (30) into Eq. (29) yields

$$a_{220} \xi^4 + 2a_{220} \xi^2 + [a_{220} \xi^2 - (a_{120} + a_{210} + 2a_{660}) \xi^2] \xi^2 - 2(a_{210} + a_{660}) \xi^2 \xi + a_{110} \xi^4 - a_{210} \xi^2 s^2 = 0 \quad (31)$$

Using the roots of Eq. (31), we obtain the homogeneous solution.

$$\chi^c(x, y) = \sum_{i=1}^4 e^{\xi_i x} (C_{si}^c \cos sy + D_{si}^c \sin sy) \quad (32)$$

In the next place, the inhomogeneous equation for particular solution is given by

$$a_{22} \frac{\partial^4 \chi^p}{\partial x^4} + (a_{12} + a_{21} + 2a_{66}) \frac{\partial^4 \chi^p}{\partial x^2 \partial y^2} + a_{11} \frac{\partial^4 \chi^p}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial a_{22}}{\partial x} \frac{\partial^3 \chi^p}{\partial x^3} + \frac{\partial^2 a_{22}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \chi^p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a_{21}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \chi^p}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial(a_{21} + a_{66})}{\partial x} \frac{\partial^3 \chi^p}{\partial x \partial y^2} = -[a_2 \frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + a_1 \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 a_2}{\partial x^2} \tau + 2 \frac{\partial a_2}{\partial x} \frac{\partial \tau}{\partial x}] \quad (33)$$

Substitution of Eq. (27) into right-hand side of Eq. (33) yields

$$a_{22} \frac{\partial^4 \chi^p}{\partial x^4} + (a_{12} + a_{21} + 2a_{66}) \frac{\partial^4 \chi^p}{\partial x^2 \partial y^2} + a_{11} \frac{\partial^4 \chi^p}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial a_{22}}{\partial x} \frac{\partial^3 \chi^p}{\partial x^3} + \frac{\partial^2 a_{22}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \chi^p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a_{21}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \chi^p}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial(a_{21} + a_{66})}{\partial x} \frac{\partial^3 \chi^p}{\partial x \partial y^2} = e^{(\alpha - \lambda/2)x} \int_0^x [D_s^1 \sinh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (h-x) + D_s^2 \cosh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (h-x) + D_s^3 \sinh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} x + D_s^4 \cosh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} x] \cos sy ds \quad (34)$$

where D_s^1 , D_s^2 , D_s^3 , D_s^4 are given by

$$D_s^1 = C_s T_a \bar{g}_a(s) [\alpha_{20} (\alpha \lambda - \frac{\lambda^2}{2} - q^2 s^2 - \alpha^2) + \alpha_{10} s^2]$$

$$D_s^2 = C_s T_a \bar{g}_a(s) \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (2\alpha - \lambda) \alpha_{20}$$

$$D_s^3 = C_s T_b \bar{g}_b(s) e^{\lambda h/2} [\alpha_{20} (\alpha \lambda - \frac{\lambda^2}{2} - q^2 s^2 - \alpha^2) + \alpha_{10} s^2] \quad (35)$$

$$D_s^4 = C_s T_b \bar{g}_b(s) e^{\lambda h/2} \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (\lambda - 2\alpha) \alpha_{20}$$

The particular solution is expressed in the form

$$\chi^p(x, y) = e^{(\alpha - \lambda/2)x} \int_0^x [E_s^1 \sinh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (h-x) + E_s^2 \cosh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (h-x) + E_s^3 \sinh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} x + E_s^4 \cosh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} x] \cos sy ds \quad (36)$$

Substitution of Eqs. (36) and (26) into Eq. (34) yields

$$e^{(\alpha - \lambda/2)x} \int_0^x \{ [E_s^1 \{ a_{220} [\eta^4 + 6(\lambda^2/4 + q^2 s^2) \eta^2 + (\lambda^2/4 + q^2 s^2)^2] - 2(a_{210} + a_{660})(\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) s^2 + a_{110} s^4 + 2a_{220} \eta \eta^2 + 3(\lambda^2/4 + q^2 s^2) + a_{220} \varsigma^2 (\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) - a_{210} \varsigma^2 s^2 - 2(a_{210} + a_{660}) \varsigma \eta s^2 \} + E_s^2 \{ -4a_{220} \eta \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) + 4(a_{210} + a_{660}) \eta s^2 \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} - 2a_{220} \varsigma \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (3\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) - 2a_{220} \varsigma^2 \eta \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} + 2(a_{210} + a_{660}) \varsigma s^2 \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} \} \sinh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (h-x) + [E_s^3 \{ -4a_{220} \eta \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) + 4(a_{210} + a_{660}) \eta s^2 \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} - 2a_{220} \varsigma \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (3\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) - 2a_{220} \varsigma^2 \eta \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} + 2(a_{210} + a_{660}) \varsigma s^2 \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} \} \cosh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (h-x) + [E_s^4 \{ a_{220} [\eta^4 + 6(\lambda^2/4 + q^2 s^2) \eta^2 + (\lambda^2/4 + q^2 s^2)^2] - 2(a_{210} + a_{660})(\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) s^2 + a_{110} s^4 + 2a_{220} \eta \eta^2 + 3(\lambda^2/4 + q^2 s^2) + a_{220} \varsigma^2 (\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) - a_{210} \varsigma^2 s^2 - 2(a_{210} + a_{660}) \varsigma \eta s^2 \} \cosh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} x + [E_s^5 \{ a_{220} [\eta^4 + 6(\lambda^2/4 + q^2 s^2) \eta^2 + (\lambda^2/4 + q^2 s^2)^2] - 2(a_{210} + a_{660})(\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) s^2 + a_{110} s^4 + 2a_{220} \eta \eta^2 + 3(\lambda^2/4 + q^2 s^2) + a_{220} \varsigma^2 (\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) - a_{210} \varsigma^2 s^2 - 2(a_{210} + a_{660}) \varsigma \eta s^2 \} + E_s^6 \{ 4a_{220} \eta \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) - 4(a_{210} + a_{660}) \eta s^2 \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} + 2a_{220} \varsigma \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (3\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) + 2a_{220} \varsigma^2 \eta \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} - 2(a_{210} + a_{660}) \varsigma s^2 \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} \} \sinh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} x + [E_s^7 \{ 4a_{220} \eta \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) - 4(a_{210} + a_{660}) \eta s^2 \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} + 2a_{220} \varsigma \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (3\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) + 2a_{220} \varsigma^2 \eta \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} - 2(a_{210} + a_{660}) \varsigma s^2 \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} \} \cosh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} x + E_s^8 \{ a_{220} [\eta^4 + 6(\lambda^2/4 + q^2 s^2) \eta^2 + (\lambda^2/4 + q^2 s^2)^2] - 2(a_{210} + a_{660})(\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) s^2 + a_{110} s^4 + 2a_{220} \eta \eta^2 + 3(\lambda^2/4 + q^2 s^2) + a_{220} \varsigma^2 (\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) - a_{210} \varsigma^2 s^2 - 2(a_{210} + a_{660}) \varsigma \eta s^2 \} \cosh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} x \} \cos sy ds = e^{(\alpha - \lambda/2)x} \int_0^x [D_s^1 \sinh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (h-x) + D_s^2 \cosh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (h-x) + D_s^3 \sinh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} x + D_s^4 \cosh \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} x] \cos sy ds \quad (37)$$

Comparison of both sides of Eq. (37) yields

$$\eta = \alpha - \varsigma - \lambda/2 \quad (38)$$

$$E_s^1 \{ a_{220} [\eta^4 + 6(\lambda^2/4 + q^2 s^2) \eta^2 + (\lambda^2/4 + q^2 s^2)^2] - 2(a_{210} + a_{660})(\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) s^2 + a_{110} s^4 + 2a_{220} \eta \eta^2 + 3(\lambda^2/4 + q^2 s^2) + a_{220} \varsigma^2 (\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) - a_{210} \varsigma^2 s^2 - 2(a_{210} + a_{660}) \varsigma \eta s^2 \} + E_s^2 \{ -4a_{220} \eta \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) + 4(a_{210} + a_{660}) \eta s^2 \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} - 2a_{220} \varsigma \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} (3\eta^2 + \lambda^2/4 + q^2 s^2) - 2a_{220} \varsigma^2 \eta \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} + 2(a_{210} + a_{660}) \varsigma s^2 \sqrt{\lambda^2/4 + q^2 s^2} \} = D_s^1 \quad (39)$$

$$\begin{aligned}
& E_s^4 [-4a_{220}\eta\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)+4(a_{210}+a_{660})\eta\mathcal{P}^2\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2} \\
& -2a_{220}\zeta\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)-2a_{220}\zeta^2\eta\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}+2(a_{210}+a_{660})\zeta s^2\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}] \\
& +E_s^3\{a_{220}[\eta^4+6(\lambda^2/4+q^2s^2)\eta^2+(\lambda^2/4+q^2s^2)^2]-2(a_{210}+a_{660})(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)s^2 \\
& +a_{110}s^4+2a_{220}\zeta\eta[\eta^2+3(\lambda^2/4+q^2s^2)]+a_{220}\zeta^2(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)-a_{210}\zeta s^2 \\
& -2(a_{210}+a_{660})\zeta\eta s^2]\}=D_s^2
\end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned}
& E_s^3\{a_{220}[\eta^4+6(\lambda^2/4+q^2s^2)\eta^2+(\lambda^2/4+q^2s^2)^2]-2(a_{210}+a_{660})(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)s^2 \\
& +a_{110}s^4+2a_{220}\zeta\eta[\eta^2+3(\lambda^2/4+q^2s^2)]+a_{220}\zeta^2(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2) \\
& -a_{210}\zeta s^2-2(a_{210}+a_{660})\zeta\eta s^2]\} \\
& +E_s^4[4a_{220}\eta(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}-4(a_{210}+a_{660})\eta\mathcal{P}^2\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2} \\
& +2a_{220}\zeta(3\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}+2a_{220}\zeta^2\eta\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2} \\
& -2(a_{210}+a_{660})\zeta s^2\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}]=D_s^3
\end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned}
& E_s^3[4a_{220}\eta(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}-4(a_{210}+a_{660})\eta s^2\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2} \\
& +2a_{220}\zeta(3\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}+2a_{220}\zeta^2\eta\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2} \\
& -2(a_{210}+a_{660})\zeta s^2\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}] \\
& +E_s^4[a_{220}[\eta^4+6(\lambda^2/4+q^2s^2)\eta^2+(\lambda^2/4+q^2s^2)^2]-2(a_{210}+a_{660})(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)s^2 \\
& +a_{110}s^4+2a_{220}\zeta\eta[\eta^2+3(\lambda^2/4+q^2s^2)]+a_{220}\zeta^2(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2) \\
& -a_{210}\zeta s^2-2(a_{210}+a_{660})\zeta\eta s^2]=D_s^4
\end{aligned} \quad (42)$$

Coefficients E_s^1 , E_s^2 , E_s^3 and E_s^4 in Eq. (36) are given by Eqs. (39) - (42).

Thus, the stress function is obtained in the following way

$$\begin{aligned}
\chi &= \chi^c + \chi^p = \int_0^\infty \sum_{i=1}^4 C_{si}^c e^{\xi_i x} \cos \text{syds} \\
&+ e^{\eta x} \int_0^\infty [E_s^1 \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}(h-x) + E_s^2 \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}(h-x) \\
&+ E_s^3 \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}x + E_s^4 \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}x] \cos \text{syds}
\end{aligned} \quad (43)$$

Then the thermal stresses Eq. (23) result in

$$\begin{aligned}
\sigma_{xx} &= \frac{\partial^2 \chi}{\partial y^2} = - \int_0^\infty \sum_{i=1}^4 C_{si}^c e^{\xi_i x} s^2 \cos \text{syds} \\
&- e^{\eta x} \int_0^\infty [E_s^1 \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}(h-x) + E_s^2 \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}(h-x) \\
&+ E_s^3 \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}x + E_s^4 \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}x] \cos \text{syds}
\end{aligned} \quad (44)$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{yy} &= \frac{\partial^2 \chi}{\partial x^2} = \int_0^\infty \sum_{i=1}^4 C_{si}^c \xi_i^2 e^{\xi_i x} \cos \text{syds} \\
&+ e^{\eta x} \int_0^\infty \{[\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2]E_s^1-2\eta\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^2\} \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}(h-x) \\
&+ [(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)E_s^2-2\eta\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^3] \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}(h-x) \\
&+ [(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)E_s^3+2\eta\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^4] \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}x \\
&+ [(\eta^2+\lambda^2/4+q^2s^2)E_s^4+2\eta\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^5] \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}x\} \cos \text{syds}
\end{aligned} \quad (45)$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{xy} &= - \frac{\partial^2 \chi}{\partial x \partial y} = \int_0^\infty \sum_{i=1}^4 C_{si}^c \xi_i \eta e^{\xi_i x} \sin \text{syds} \\
&+ e^{\eta x} \int_0^\infty s[(\eta E_s^1 - \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^2) \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}(h-x) \\
&+ (\eta E_s^2 - \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^3) \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}(h-x) \\
&+ (\eta E_s^3 + \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^4) \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}x \\
&+ (\eta E_s^4 + \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^5) \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}x] \sin \text{syds}
\end{aligned} \quad (46)$$

Unknown coefficients C_{si}^c ($i = 1, 2, 3, 4$) can be determined by boundary conditions for stresses.

$$\sigma_{xx} = \sigma_{xy} = 0 \quad \text{at } x = 0 \quad (47)$$

$$\sigma_{xx} = \sigma_{xy} = 0 \quad \text{at } x = h \quad (48)$$

Substitution of Eqs. (44) and (46) into Eqs. (47) and (48) yields

$$C_{s1}^c + C_{s2}^c + C_{s3}^c + C_{s4}^c = -E_s^1 \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}h - E_s^2 \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}h - E_s^3 \quad (49)$$

$$\begin{aligned}
& \xi_1 C_{s1}^c + \xi_2 C_{s2}^c + \xi_3 C_{s3}^c + \xi_4 C_{s4}^c = (-\eta E_s^1 + \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^2) \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}h \\
& + (\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^1 - \eta E_s^2) \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}h - \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^3 - \eta E_s^4
\end{aligned} \quad (50)$$

$$\begin{aligned}
& C_{s1}^c e^{\xi_1 h} + C_{s2}^c e^{\xi_2 h} + C_{s3}^c e^{\xi_3 h} + C_{s4}^c e^{\xi_4 h} \\
& = -e^{\eta h} (E_s^2 + E_s^3 \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}h + E_s^4 \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}h)
\end{aligned} \quad (51)$$

$$\begin{aligned}
& \xi_1 e^{\xi_1 h} C_{s1}^c + \xi_2 e^{\xi_2 h} C_{s2}^c + \xi_3 e^{\xi_3 h} C_{s3}^c + \xi_4 e^{\xi_4 h} C_{s4}^c \\
& = e^{\eta h} [\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^1 - \eta E_s^2 - (\eta E_s^3 + \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^4) \sinh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}h \\
& - (\sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}E_s^3 + \eta E_s^4) \cosh \sqrt{\lambda^2/4+q^2s^2}h]
\end{aligned} \quad (52)$$

By solving Eqs. (49) - (52) numerically, we obtain the thermal stresses σ_{xx} , σ_{yy} and σ_{xy} .

3. Results and discussions

For the numerical calculations, we consider the case where the Young's moduli E_x and E_y , and the coefficients of linear thermal expansion α_x and α_y are expressed by the exponential functions of x . For this case, they are denoted by

$$\begin{aligned}
E_x(x) &= E_{x0} e^{\gamma x} = E_{10} e^{\gamma x}, \quad E_y(x) = E_{y0} e^{\gamma x} = E_{20} e^{\gamma x}, \\
\alpha_x(x) &= \alpha_{x0} e^{\alpha x}, \quad \alpha_y(x) = \alpha_{y0} e^{\alpha x} = \alpha_{20} e^{\alpha x}
\end{aligned} \quad (53)$$

For the plane stress problem, the material properties (26) can be expressed as follows

$$\begin{aligned}
a_{11}(x) &= a_{110} e^{\gamma x} = 1/E_1 = e^{-\gamma x}/E_{10}, \\
a_{110} &= 1/E_{10}, \quad \zeta = -\gamma, \\
a_{22}(x) &= a_{220} e^{\gamma x} = 1/E_2 = e^{-\gamma x}/E_{20}, \\
a_{220} &= 1/E_{20}, \\
a_{12}(x) &= a_{120} e^{\gamma x} = -\nu_{12}/E_2 = -\nu_{12} e^{-\gamma x}/E_{20}, \\
a_{120} &= -\nu_{12}/E_{20}, \quad \zeta = -\gamma, \\
a_{21}(x) &= a_{210} e^{\gamma x} = -\nu_{21}/E_1 = -\nu_{21} e^{-\gamma x}/E_{10}, \\
a_{210} &= -\nu_{21}/E_{10}, \quad a_{660} = (1+\nu_{12})/E_{120}
\end{aligned} \quad (54)$$

where ν_{ij} ($i, j=1, 2$) denote Poisson's ratios.

The material properties of the FGOM considered in this paper are shown in **Table 1**.

We introduce the following non-dimensional constants and variables.

$$\begin{aligned}
x^* &= x/h, \quad y^* = y/h, \quad \xi_i^* = \xi_i h, \quad \gamma^* = \gamma h, \\
\lambda^* &= \lambda h, \quad s^* = sh, \quad \alpha^* = \alpha h, \quad a^* = ah^2, \quad \eta^* = \eta h, \quad \zeta^* = \zeta h, \\
\alpha_{20}^* &= \alpha_{20}/\alpha_{10}, \quad D_s^{1*} = D_s^1 h/(T_b \alpha_{10}), \quad D_s^{2*} = D_s^2 h/(T_b \alpha_{10}),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_s^3 &= D_s^3 h / (T_b \alpha_{10}), D_s^4 = D_s^4 h / (T_b \alpha_{10}), E_s^1 = a_{10} E_s^1 / (T_b \alpha_{10} h^3), \\
E_s^2 &= a_{10} E_s^2 / (T_b \alpha_{10} h^3), E_s^3 = a_{10} E_s^3 / (T_b \alpha_{10} h^3), E_s^4 = a_{10} E_s^4 / (T_b \alpha_{10} h^3), \\
\bar{g}_a^*(s^*) &= \bar{g}_a(s) / h, \bar{g}_b^*(s^*) = \bar{g}_b(s) / h, \\
\sigma_{xx}^* &= a_{10} \sigma_{xx} / (T_b \alpha_{10}) = \sigma_{xx} / (T_b \alpha_{10} E_{10}), \sigma_{yy}^* = a_{10} \sigma_{yy} / (T_b \alpha_{10}) = \sigma_{yy} / (T_b \alpha_{10} E_{10}), \\
\sigma_{xy}^* &= a_{10} \sigma_{xy} / (T_b \alpha_{10}) = \sigma_{xy} / (T_b \alpha_{10} E_{10}), C_{si}^* = C_{si} / (T_b \alpha_{10} E_{10} h^3), \quad (55) \\
\tau^*(x^*, y^*) &= \frac{\tau(x, y) - \tau_a}{\tau_b - \tau_a} = \frac{T(x, y) - T_a}{T_b - T_a} = \frac{T(x, y) / T_b - T_a / T_b}{1 - T_a / T_b} = \frac{T^*(x, y) - T_a^*}{1 - T_a^*}, \\
\tau_b &= T_b - T_0, \tau_a = T_a - T_0, T^*(x, y) = T(x, y) / T_b, T_a^* = T_a / T_b
\end{aligned}$$

Table 1 The thermomechanical properties of ZrO₂ and Ti-6Al-4V

Material	Thermal conductivity [W/(mK)]	Coefficient of linear thermal expansion [$\times 10^{-6}$ K]	Young's modulus [GPa]	Poisson's ratio
ZrO ₂	2.036	7.11	110	0.333
Ti-6Al-4V	18.1	10.3	66.2	0.321

For this case, Eqs. (2) and (55) give

$$\lambda^* = -2.1849, \gamma^* = 0.5078, \alpha^* = -0.3706 \quad (56)$$

In numerical calculations, the ratios of orthotropy of material properties of the FGOS are assumed as

$$\begin{aligned}
\lambda_{y0}/\lambda_{x0} &= 1.2, E_{y0}/E_{x0} = 1.2, \alpha_{y0}/\alpha_{x0} = 1.2, \\
a_{660}/E_{x0} &= 0.9467 \quad (57)
\end{aligned}$$

The Poisson's ratio is assumed as $\nu_{xy} = 0.321$ and we put $a^* = 1.0$ in Eq. (55). By using these non-dimensional constants and variables, the non-dimensional temperature change becomes

$$\begin{aligned}
\tau^*(x^*, y^*) &= -\frac{T_a^*}{1 - T_a^*} + \frac{1}{1 - T_a^*} \int_0^{\infty} \frac{1}{\sinh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}}} [T_a^* \bar{g}_a^*(s^*) e^{-\lambda^{*2}/2} \sinh(-x^*) \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} \\
&+ \bar{g}_b^*(s^*) e^{(1-x^*)\lambda^{*2}/2} \sinh x^* \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}}] \cos s^* y^* ds^* \quad (58)
\end{aligned}$$

The non-dimensional thermal stresses become

$$\begin{aligned}
\sigma_{xx}^* &= -\int_0^{\infty} \sum_{i=1}^4 C_{si}^* e^{\xi_i^* x^*} s^{*2} \cos s^* y^* ds^* \\
&- e^{\eta^* x^*} \int_0^{\infty} s^{*2} [E_s^{1*} \sinh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} (1-x^*) + E_s^{2*} \cosh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} (1-x^*) \\
&+ E_s^{3*} \sinh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} x^* + E_s^{4*} \cosh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} x^*] \cos s^* y^* ds^* \quad (59) \\
\sigma_{yy}^* &= \int_0^{\infty} \sum_{i=1}^4 C_{si}^* \xi_i^{*2} e^{\xi_i^* x^*} \cos s^* y^* ds^* \\
&+ e^{\eta^* x^*} \int_0^{\infty} \{ (\eta^{*2} + \lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}) E_s^{1*} - 2\eta^* E_s^{2*} \} \sinh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} (1-x^*) \\
&+ [-2\eta^* \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} E_s^{1*} + (\eta^{*2} + \lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}) E_s^{2*}] \cosh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} (1-x^*) \\
&+ [(\eta^{*2} + \lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}) E_s^{3*} + 2\eta^* \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} E_s^{4*}] \sinh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} x^* \\
&+ [2\eta^* \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} E_s^{3*} + (\eta^{*2} + \lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}) E_s^{4*}] \cosh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} x^* \} \cos s^* y^* ds^* \quad (60) \\
\sigma_{xy}^* &= \int_0^{\infty} \sum_{i=1}^4 C_{si}^* \xi_i^* s^* e^{\xi_i^* x^*} \sin s^* y^* ds^*
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&+ e^{\eta^* x^*} \int_0^{\infty} s^* [(\eta^* E_s^{1*} - \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} E_s^{2*}) \sinh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} (1-x^*) \\
&(-\sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} E_s^{1*} + \eta^* E_s^{2*}) \cosh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} (1-x^*) \\
&+ (\eta^* E_s^{3*} + \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} E_s^{4*}) \sinh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} x^* \\
&(\sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} E_s^{3*} + \eta^* E_s^{4*}) \cosh \sqrt{\lambda^{*2}/4 + q^2 s^{*2}} x^*] \sin s^* y^* ds^* \quad (61)
\end{aligned}$$

Fig.2 shows the 3-D visualization of temperature change τ^* in the FGOS. The maximum temperature change occurs at $x^*=1$ and $y^*=0$.

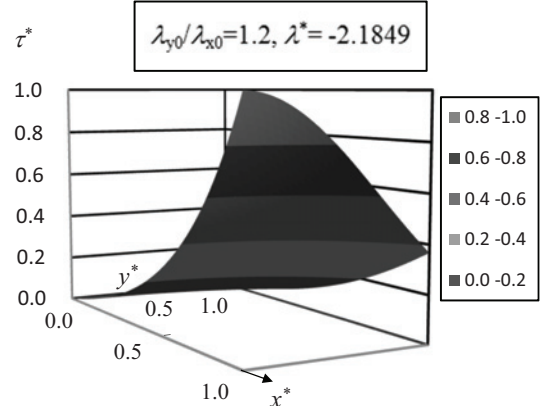


Fig.2 The 3-D visualization of temperature change τ^* in the FGOS

Fig.3 shows the 3-D visualization of normal stress σ_{yy}^* in the FGOS. The compressive stresses work on both low temperature side ($x^*=0.0$) and high temperature side ($x^*=1.0$). The maximum compressive stress is -0.2611 at $x^*=1.0$ and $y^*=0.0$. On the other hand, the tensile stress works at the middle part across the thickness. The maximum tensile stress is 0.0850 at $x^*=0.61$ and $y^*=0$, which is 32.6 % of maximum compressive stress.

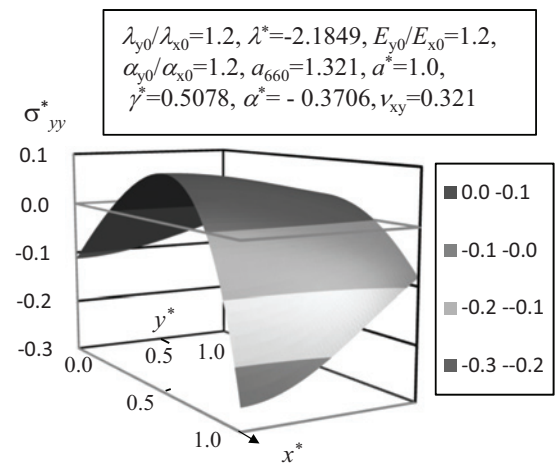


Fig.3 The 3-D visualization of normal stress σ_{yy}^* in the FGOS

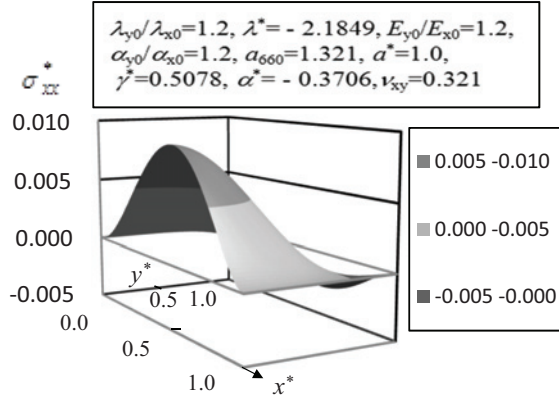


Fig.4 The 3-D visualization of normal stress σ_{xx}^* in the FGOS

Fig.5 shows the 3-D visualization of shear stress σ_{xy}^* in the FGOS. The maximum shearing stress is 0.0151 at $x^*=0.85$ and $y^*=0.8$.

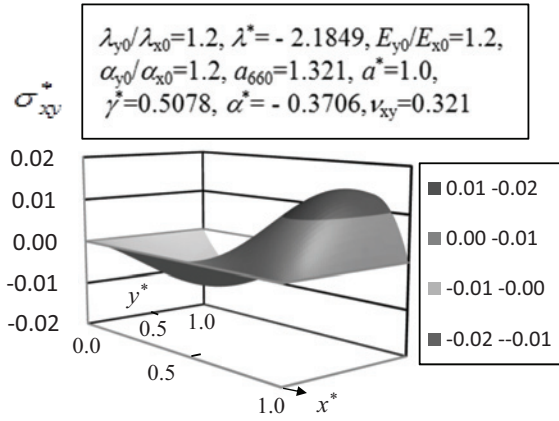


Fig.5 The 3-D visualization of shear stress σ_{xy}^* in the FGOS

The maximum normal stress $(\sigma_{xx}^*)_{\max}$ is 3.40 % of the maximum normal stress $(\sigma_{yy}^*)_{\max}$ and the maximum shearing stress $(\sigma_{xy}^*)_{\max}$ is 5.78% of the maximum normal stress $(\sigma_{yy}^*)_{\max}$ which occurs at $x^*=1.0$ and $y^*=0$.

Based on the features characteristic of the functionally graded isotropic strip (FGIS), we consider a new FGOS to clarify the effect of orthotropy on compressive stress at $x^*=0$. That is, one material property is orthotropy but the other material property is isotropy.

Fig.6 shows the effect of the thermal conductivity ratio $(\lambda_{y0}/\lambda_{x0})$ on thermal stress

$(\sigma_{yy}^*)_{x^*=1}$ in the FGOS. The maximum compressive stress increases with the increase in $(\lambda_{y0}/\lambda_{x0})$. The maximum compressive stress for $(\lambda_{y0}/\lambda_{x0})=10.0$ is 4.17 times of the maximum compressive stress for $(\lambda_{y0}/\lambda_{x0})=1.0$ at $y^*=0.0$.

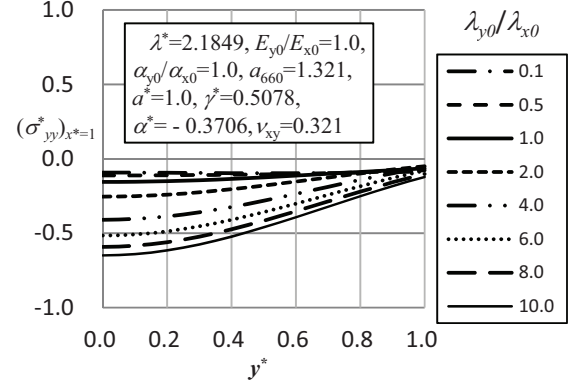


Fig.6 The effect of the thermal conductivity ratio $(\lambda_{y0}/\lambda_{x0})$ on thermal stress $(\sigma_{yy}^*)_{x^*=1}$ in the FGOS

Fig.7 shows the effect of Young' modulus ratio (E_{y0}/E_{x0}) on thermal stress $(\sigma_{yy}^*)_{x^*=1}$ in the FGOS.

The maximum compressive stress increases with the increase in (E_{y0}/E_{x0}) . The maximum compressive stress for $(E_{y0}/E_{x0})=10.0$ is 7.88 times of the maximum compressive stress for $(E_{y0}/E_{x0})=1.0$.

Fig.8 shows the effect of the coefficient of linear thermal expansion ratio $(\alpha_{y0}/\alpha_{x0})$ on compressive stress $(\sigma_{yy}^*)_{x^*=1}$ in the FGOS. The maximum compressive stress increases with the increase in $(\alpha_{y0}/\alpha_{x0})$. The maximum compressive stress $(\sigma_{yy}^*)_{x^*=1}$ for $(\alpha_{y0}/\alpha_{x0})=10.0$ is 12.90 times of the maximum compressive stress for $(\alpha_{y0}/\alpha_{x0})=1.0$.

According to these results, the orthotropy of the material property gives significant effect on thermal stresses in the FGOS.

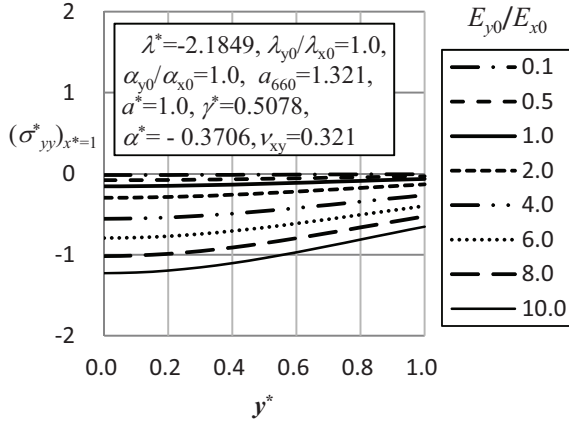


Fig.7 The effect of the Young's modulus ratio (E_{y0}/E_{x0}) on thermal stress $(\sigma_{yy}^*)_{x^*=1}$ in the FGOS

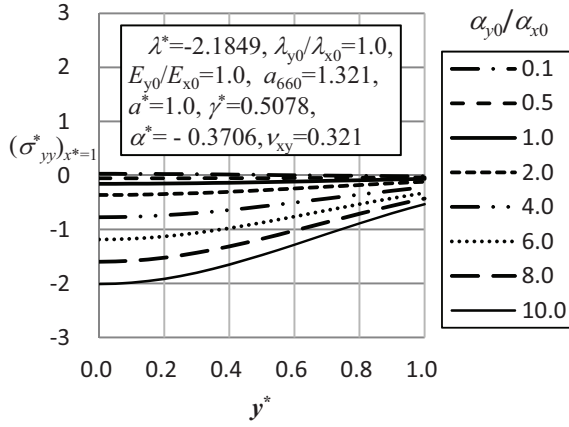


Fig.8 The effect of the coefficient of linear thermal expansion ratio (α_{y0}/α_{x0}) on thermal stress $(\sigma_{yy}^*)_{x^*=1}$ in the FGOS

6 Conclusions

The analytical method to solve the plane thermoelastic problems in FGOMs whose material properties are expressed by exponential functions of a variable is presented in the Cartesian coordinate system.

The effects of orthotropy of the FGOS on the maximum thermal stresses are discussed. According to numerical results, the orthotropy of the material properties gives significant effect on thermal stresses in the FGOS.

REFERENCES

- 1) Yamanouchi, M., Koizumi, M., Hirai, T., Shiota, I., Proceedings of the first international symposium on functionally gradient materials, Sendai, Japan, Functionally gradient materials forum, p. 379, (1990).
- 2) Koizumi, M., The concept of FGM, Holt, J.B., Koizumi, M., Hirai, T., Munir, A., (edis.), Ceramic Trans. 24, Functionally gradient materials, The American Ceramic Society, Vol. 3-9, p. 469, (1993).
- 3) Noda, N., Tsuji, T., Steady thermal stresses in a plate of functionally gradient material, Japan Society of Mechanical Engineering, Series A, Vol. 57, No. 533, pp. 98-103, (1991).
- 4) Noda, N., Tsuji, T., Steady thermal stresses in a plate of functionally gradient material with temperature-dependent properties, Japan Society of Mechanical Engineering, Series A, Vol. 57, No. 535, pp. 625-631, (1991).
- 5) Obata, Y., Noda, N., Steady thermal stresses in a hollow circular cylinder and a hollow sphere of a functionally gradient material, Journal of Thermal Stresses, Vol. 17, No. 3, pp. 471-487, (1994).
- 6) Noda, N., Thermal stresses in functionally graded materials, Journal of Thermal Stresses, Vol. 22, No. 4/5, pp. 477-512, (1999).
- 7) Hetnarski, R. B.: Encyclopedia of Thermal Stresses, Springer, (2013).
- 8) Sladek, J., Sladek, V., Hellmich, CH., Eberhardsteiner, J., Heat conduction analysis of 3-D axisymmetric and anisotropic FGM bodies by meshless local Petrov–Galerkin method, Computational Mechanics, Vol. 39, Issue 3, pp. 323-333, (2007).
- 9) Sladek, J., Sladek, V., Zhang, Ch., Transient heat conduction analysis in functionally graded materials by the meshless local boundary integral equation method, Computational Materials Science, Vol. 28, Issue 3/4, pp. 494–504, (2003).
- 10) Tarn, J-Q., Wang, Y-M., Heat conduction in a cylindrically anisotropic tube of a functionally graded material, Journal of Mechanics, Vol. 19, Issue 3, pp. 365-372, (2003).
- 11) Ohmichi, M., Noda, N. Sumi, N., Plane heat conduction problems in functionally graded orthotropic materials, Journal of Thermal Stresses, Vol. 40, No.66, pp. 747-764, (2017).
- 12) Ding, H.J., Wang, H.M., Chen, W.O., A solution of a non-homogeneous orthotropic cylindrical shell for axisymmetric plane strain dynamic thermoelastic problems, Journal of Sound and Vibration, Vol. 263, Issue 4, pp. 815–829, (2003).
- 13) Pelletier, J.L, Vel, S.S., An exact solution for the steady-state thermoelastic response of functionally graded orthotropic cylindrical shells, International Journal of Solid and Structures, vol. 43, Issue 5, pp. 1131-1158, (2006).
- 14) Kar, A., Kanoria, M., Generalized thermoelastic functionally graded orthotropic hollow sphere under thermal shock with three-phase-lag effect, European Journal of Mechanics-A/ Solids, vol. 28, Issue 4, pp. 757–767, (2009).
- 15) Kansal, G., Parvez, M., Thermal stress analysis of orthotropic graded rotating discs, International Journal of Modern Engineering Research, vol. 2, Issue 5, pp. 3881-3885, (2012).
- 16) Ootao, Y., Tanigawa, Y., Transient thermal stresses of orthotropic functionally graded thick strip due to nonuniform heat supply, Structural Engineering and Mechanics, vol. 20, Issue 5, pp. 559-573, (2005).
- 17) Zhou, Y.T., Lib X., Qinc, J. Q., Transient thermal stress analysis of orthotropic functionally graded materials with a crack, Journal of Thermal Stresses, Vol. 30, No. 12, pp. 1211-1231, (2007).
- 18) Moradi, S., Mansouri, M. H., Thermal buckling analysis of shear deformable laminated orthotropic plates by differential quadrature, Steel and Composite Structures, Vol. 12, Issue 2, pp. 129-147, (2012).
- 19) Chen, J., Soh, A. K., Liu J., Liu, Z., Thermal fracture analysis of a functionally graded orthotropic strip with a crack, International Journal of Materials in Design, Vol. 1, Issue 2, pp. 131-141, (2004).
- 20) Chen, J., Determination of thermal stress intensity factors for an interface crack in a graded orthotropic coating-substrate structure, International Journal of Fracture, Vol. 133, Issue 4, pp. 303-328, (2005).
- 21) Dag, S., Thermal fracture analysis of orthotropic functionally graded materials using an equivalent domain integral approach, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 73, Issue 18, pp. 2802–2828, (2006).
- 22) Dag, S., Yildirim, B., Sarikaya, D., Mixed-mode fracture analysis of orthotropic functionally graded materials under mechanical and thermal load, International Journal of Solids and Structures, Vol. 44, Issue 24, pp. 7816–7840, (2007).
- 23) Yıldırım, B., Yılmaz, S., Kadioğlu, S., Delamination of compressively stressed orthotropic functionally graded material coatings under thermal loading, Journal of Applied Mechanics, Vol. 75, Issue 5, (2008).
- 24) Kim, J.H., Amit. K.C., A generalized interaction integral method for the evaluation of the T-stress in orthotropic functionally graded materials under thermal loading, Journal of Applied Mechanics, Vol. 75, Issue 5, p. 11, (2008).

研究論文

惑星探査ローバの ARLISS2016 における動作ログの詳細分析

斎藤卓也^{*} , 秋山実穂^{*}

(2017年9月30日受理)

Analysis of Log Data in ARLISS 2016 of a Planetary Exploration Rover

Takuya Saito^{*} and Miho Akiyama^{*}

(Received September 30, 2017)

Abstract

We participated in ARLISS 2016 and got third place in the Comeback Competition category. It was a perfect match for conducting various evaluations of the planetary exploration rover we developed. Our rover was launched to 3,000 m above the sky by the rocket, released from it, descended to the ground with a parachute, and traveled to the goal point by autonomous running. At that time, our rover acquired various log data such as GPS positioning information and voltage change of the battery. In this paper, we describe detailed analysis results of the log data acquired by ARLISS 2016.

キーワード: ARLISS, 缶サット, カムバックコンペティション, ロケット, GPS, ログデータ, Arduino

Keyword: ARLISS, CanSat, Comeback Competition, Rocket, GPS, Log Data, Arduino

1. 緒 言

近年、惑星探査ローバの研究を対象とし、様々なコンテストが開催されている。毎年日本では3月に鹿児島県南種子町で行われる種子島ロケットコンテスト^[1]、7月に秋田県能代市で行われる能代宇宙イベント^[2]が行われている。さらに世界大会として、アメリカネバダ州ブラックロック砂漠にて開催される ARLISS^[3] がある。これらのコンテストでは、気球やロケットで上空から投下された惑星探査ローバが、いかに正確に指定された目的地に到達できるかを競っている。その中でも ARLISS が最も本格的な大会であり、会場であるアメリカネバダ州ブラックロック砂漠は、地球上で最も火星表面に似ているということで選ばれている。また、ロケットにより上空約 3,000 ~ 4,000m まで打ち上げられ、そこからロケッ

トのペイロードからローバが放出される。打ち上げに使用されるロケットはアメリカのアマチュア・ロケットチーム AeroPac^[4] により提供されるものを用いている。ローバはパラシュート等の減速機構を用いて地上に落下され、それら機構を自ら取り外して目的地まで自律移動する。このように、数あるコンテストの中でも ARLISS は、最も本物の惑星探査ローバの要求に近い、過酷なコンテストである。そこで我々は開発した惑星探査ローバの実証実験として ARLISS 2016 に参加し、様々なデータを取得した。また、競技の結果、Comeback Competition 部門 Accuracy Award において、ゴールまで 5.81m まで近づき 3 位の結果を得た^{[5][6]}。本稿では ARLISS2016 におけるローバのログデータを分析した結果について述べる。

^{*} 愛知工科大学工学部電子制御・ロボット工学科, 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2

^{*} Department of Electronic Control and Robot Engineering, Faculty of Engineering, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, Nishihasama-cho, Gamagori, 443-0047 Japan

2. ローバの要求仕様及び構造

2.1 制御回路の構造

開発したローバの回路基板を **Fig.1** に、内部回路のブロックダイアグラムを **Fig.2** に示す。ローバの制御用コンピュータには Arduino^[7] Uno 互換機である Uncompatino^[8] を用いた。純正ではなく Uncompatino を選んだ理由は以下の2つである。

1つ目は、学生がローバ制御回路をユニバーサル基板により製作しているため、2.54mm ピッチ (1,000mil) でピンヘッダを配置する必要があるが、純正の Arduino Uno ではデジタル端子の一部が 1.27mm ピッチ (500mil) ずらして配置されているため、そのままでは直接ユニバーサル基板に取り付けることができない問題がある。しかし Uncompatino では全端子を 2.54mm ピッチで取り出すことが可能になっているため、ユニバーサル基板への実装に有利である。

2つ目は、純正では 5V のボルテージレギュレータを内蔵しており、外部電源入力端子には、仕様上 7V 以上を入力する必要があるが、さらにシリースレギュレータであるため、変換効率が低い欠点がある。また、より高性能なボルテージレギュレータを用いることや、LC 回路による電源ラインノイズ対策もやりづらい。それに対して Uncompatino はボルテージレギュレータを内蔵してい

ないため、外部から電源として 5V を入力すれば良い。このため、より効率がよく低ドロップ電圧のスイッチング・ボルテージレギュレータを用い、バッテリー電圧に合わせて電力効率を上げて動作させることが可能になる。実際に 5V のボルテージレギュレータには、CUI Inc 社製の V78-1000 スwitchングレギュレータ^[9] (通称スーパー 3 端子レギュレータ) を使用している。

位置情報を取得する GPS には、Adafruit^[10] Ultimate GPS Breakout を用いた。この GPS ユニットは、3.3V で動作し、入力電圧が 5V トレラントであるため、5V 動作の Arduino との接続性が良い。外部アンテナ端子を備えているため、研究室など室内でも GPS のプログラムテストが可能である。

制御ログはテキストファイルとして SD カードに保存している。同時に XBee PRO ZB S2B (Zig Bee)^[11] により送信しているため、ノート PC 等により外部から動作状態をリアルタイムで閲覧することができる。

2.2 パラシュート分離機構

パラシュート分離機構には 22 Ω のカーボン抵抗 2 本を並列接続したものをを用いている。パラシュート分離機構には、サーボモータを利用したものや、ニクロム線を用いたもの等、様々な構造が考えられるが、**Table 1** に示した各機構の定性的評価の結果、抵抗を用いた機構を

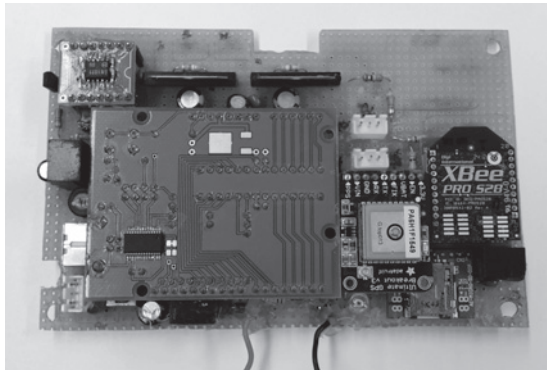


Fig.1 Electrical Circuit Board of the Rover

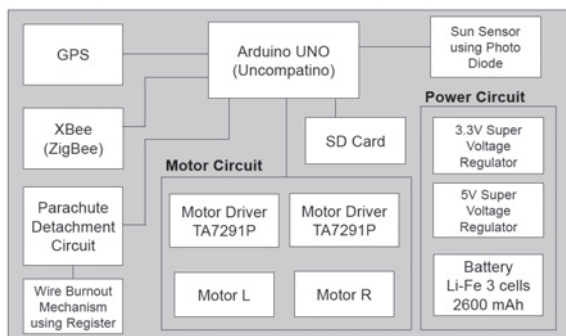


Fig.2 Block Diagram of Electronic Circuit

Table 1 Qualitative Evaluation in Each Mechanism

	抵抗	ニクロム線	サーボ
重量	小	中	大
体積	小	中	大
分離確実性	高	高	高
位置の自由度	高	低	低
寿命	短	長	中
故障率	低	低	高
メンテナンス性	高	中	低
コスト	低	中	高



Fig.3 Attaching Resistances for Removing Parachute

採用した。Fig.3 にローバにパラシュート分離用抵抗をはんだ付けにより装着している様子を示す。

ARLISS では多くのチームでは、サーボモータを使ってパラシュートを分離しているが、サーボモータを機体に配置する必要があるが、取り回しが良くない。またサーボモータは抵抗やニクロム線と比べて体積が大きく、重量も重い。コストも高く、寿命も余り長くない。また外力が加わり無理にサーボホーンが動かされたりすると故障する可能性が高く、本番での確実な動作に問題がある。

ニクロム線は抵抗よりも寿命が長く、交換の必要がほぼないなど、抵抗よりも有利な点も存在する。しかし、ローバ本体にニクロム線を固定する必要があるが、そのために熱により切断するテグスや結束バンドの固定方法が限定されるなどの問題がある。

抵抗を用いた分離機構では 1/4W 抵抗に 5W 近くの電力を消費させるため、数回しか使用できず、寿命が短い欠点があるが、この欠点は抵抗を毎回新品に交換すれば動作には影響はない。またそれ以外の点においては全て利点となる。軽く、体積も小さく、確実に分離でき、位置の自由度も高く、コストは安く、今までに抵抗故障が生じた事例はなく、故障率も低い。以上定性的評価の結果、抵抗を用いたパラシュート分離機構を採用した。

2.3 バッテリー

バッテリーには正極材料にリン酸鉄リチウム (LiFePO₄) を使用している Li-Fe (リン酸鉄リチウムイオン) バッテリーを用いた。容量は 3 セル 2,600mAh のものを選択した。Li-Fe バッテリーは Li-Po (リチウムポリマー) バッテリーよりも容量的に劣るが、安全性が高い利点があるため、Li-Fe バッテリーを選択した。実際に Li-Fe バッテリーは、危険性の高い Li-Po バッテリーが使用禁止である能代宇宙イベント^[6]でも使用可能である。Arduino や GPS 等電子回路の電源はスーパー 3 端子レギュレータを用いて 5V 及び 3.3V を生成している。これは通常のシリーズレギュレータとは違い、内部がスイッチングレギュレータ構造となっており、90% 前後の高い変換効率を有している。このため、バッテリー寿命を伸ばすことができ、放熱問題も生じにくくできる。また、モータ等からのノイズによりマイコンの暴走やその他センサ類の動作が不安定になることを防ぐために、電源ラインには低 ESR コンデンサ及びインダクタを用いて電源ラインノイズを極力低減している。

3. ローバ制御手法

3.1 ステアリング角度制御手法

ローバの制御は、動作シーケンスを切り替えることにより行っている。GPS のデータ取得は 1 秒間に 1 回であるため、制御周期は 1Hz である。ローバがロケットから放出されると、そこからタイマーが作動し、30 分後にパラシュート分離機構を作動させ、目的地へ移動を開始する。ロケットから放出されたか否かはフォトダイオードを用いた光センサにより判断している。パラシュートを保護ケースごと分離した後、ローバは 10 秒間直進動作を行う。これはなるべくパラシュートから離れてから制御開始した方が、パラシュートを巻き込んで動作不能に陥る事態を避けるためである。その後、ローバは GPS 情報によりゴール地点へと走行を行う。

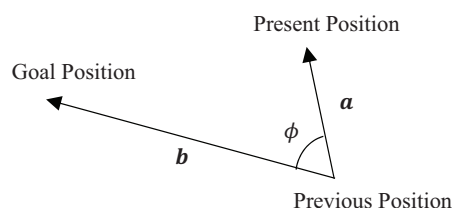


Fig.4 Relationship between GPS Positioning Information and Steering Angle

GPS 位置情報によるローバ制御における走行角度計算手法について述べる。GPS 位置情報により、1 秒前の位置から現在の位置へのベクトルを $\mathbf{a}$ とし、現在の位置からゴール位置へのベクトルを $\mathbf{b}$ とする。ベクトル $\mathbf{a}$ はローバの進行方向を表し、ベクトル $\mathbf{b}$ はローバからゴール位置の方向を表している。この関係を Fig.4 に示す。これにより、ローバがゴールへ向かうためには、2 つのベクトル $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ のなす角 ϕ だけステアリングを逆方向へ切れれば良いことになる。 ϕ は式 (1) により計算している。

$$\phi(t) = \tan^{-1} \frac{\mathbf{a} \times \mathbf{b}}{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}} \quad (1)$$

ステアリング角度は、 ϕ の大きさに定数を掛けるP制御が基本である。実際にはローバのモータは、全く同一の回転をすることはなく、それぞれバラツキがあるため、実際には直進しないことが多い。そのため、 ϕ に直進用の定数を加えるようにしている。

3.2. モータ特性変化によるステアリング角度修正

また、ローバのモータはARLISSでは数km～10kmもの距離を走ることがあるが、その場合、走行途中でモータのギア摩耗等で特性が変化し、直進できなくなることがある。ひどいときにはその場で回転してしまうようになることがある。この問題点に対応するために、I制御も行っている。I制御による修正舵を δ とすると、 δ は式(2)で計算している。

$$\delta(t) = \frac{1}{100} \sum_{n=0}^{99} \phi(t-n) \quad (2)$$

実際のステアリング角度は、さらに ϕ に δ を加え、さらに定数を掛けて求めている。

$$\theta(t) = (A\phi(t) + B + C\delta(t)) \times D/\pi \quad (3)$$

実際のステアリング角度 θ は式(3)により計算している。ただし、Aは ϕ のP制御パラメータ、Bは直進修正用定数、Cは δ のP制御パラメータ、Dは全体のP制御パラメータである。以上より、ローバのステアリング角度はPI制御をしており、ステアリング角度 θ の範囲は $[-1,1]$ となる。

3.3. モータ制御

ステアリング角度からモータのPWM値[0,255]への変換は、式(4)、(5)、(6)、(7)により計算している。

$\theta \geq 0$ のとき

$$\text{MotorR} = (1 - \theta) \times 255 \quad (4)$$

$$\text{MotorL} = 255 \quad (5)$$

$\theta < 0$ のとき

$$\text{MotorR} = 255 \quad (6)$$

$$\text{MotorL} = (1 - \theta) \times 255 \quad (7)$$

モータ駆動のPWM周波数は、前進方向には980Hzを用い、後退方向には490Hzを使用している。これはArduino UnoのPWM端子のうち、2本が980Hzであり、残り4本が490Hzであることが理由である。PWM周波数の高い端子を前進方向の制御に使用している。

4. スタック判定及びゴール判定手法

ローバは走行時に轍等にスタックし、動けなくなることがある。このような時は、ローバがスタックしたことを判定し、後退、左右回転動作等を行うことにより、スタックから抜け出す仕組みを入れている。スタック判定は1秒間の移動距離が0.5m以下の状態が10秒間以上連続で続いたときに、スタック判定をするようにしている。スタック判定を行うと、スタック脱出シーケンスに移行し、5秒間後退、5秒間時計回転、5秒間反時計回転、そして停止を行う。

またゴール付近では、走行速度を4段階で変化させている。GPS測位情報がゴール地点から10m以内になると、一段階速度を落とす。7m以内になると、さらに速度を落とす。5m以内になると、より速度を落とし、2m以内になると、最低の速度で走行する。そして、ゴールまでの距離が0.5m以内の状態を3秒間連続で検知すると、ゴール判定を行い、動作を停止する。

5. ARLISS ログデータ分析結果

5.1. ロケット打ち上げ及び落下

ARLISSではローバをロケットに搭載し、上空へと打ち上げる。ロケット打ち上げの瞬間をFig.5に示す。ロケット打ち上げからパラシュートで地上に落下してくる



Fig.5 Rocket Launch

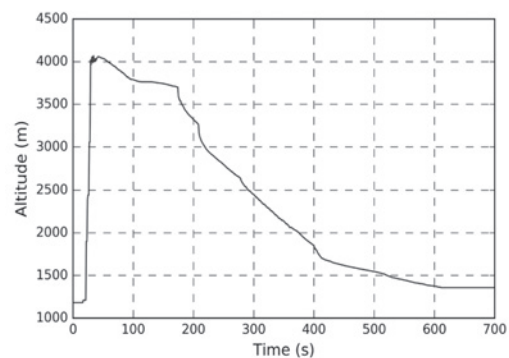


Fig.6 Altitude

間の GPS により測定された高度変化を Fig.6 に示す。これは GPS の海拔高度なので、打ち上げ時に約 1,200m 程度の値を示している。

その後ロケットの打ち上げにより約 4,000m まで高度が上昇し、そこでロケットから放出されてパラシュートでゆっくりと地上へと降りて行く様子が分かる。この値から計算した結果を Table 2 に示す。

Table 2 Rocket Launch Data

最高高度	約 3,000m
ロケット打ち上げ速度	730 km/h
ローバ落下時間	約 500 秒
ローバ落下速度	6.0 m/s (=21.6 km/h)

ロケットの打ち上げ速度は時速約 730 km/s と非常に速い。そこからローバはロケットから放出されてパラシュートで降りてくるが、その部分の高度変化を見ると 400 秒以降は緩やかに減少しているが、パラシュートによる落下速度はほぼ一定であるはずである。そのため、これは GPS の誤差である可能性が高いと思われる。GPS は水平方向（緯度・経度方向）の精度は高いが、垂直方向（高度方向）の精度は非常に低い。そのため、実際のロケットの地上からの最高高度は約 3,000m とし、そこから地上までの落下時間は Fig.3 のグラフより落下曲線を直線ととして延長することにより、約 500 秒として計算した。それによると、パラシュートによる落下速度は約 6.0 m/s となる。種子島ロケットコンテストでは落下速度が 5.0 m/s 以下に制限されていることから、かなり速い落下速度であると言える。この速い落下速度でも壊れないように機体はカーボンを使って頑丈に作られている。

5.2 ローバ走行ログデータ

GPS ログデータより求めたローバの走行データを Table 3 に示す。ロケットの打ち上げ地点はゴールから 1,616 m 離れた地点であった。またロケットにより打ち上げて落下した地点は、打ち上げ地点から 1,339 m 離れていた。またその地点は、ゴールから 2,786 m 離れていた。

Fig.7 にローバの走行軌跡を示す。矢印はその地点におけるステアリング方向を示しており、ARLISS では制御履歴として各地点における制御方向を矢印で示すグラフの提出が求められている。Fig.7 のグラフの縦軸・横軸はそれぞれ緯度経度方向におけるゴール地点からの距

Table 3 Result Data

発射地点からゴールまでの距離	1,616 m
発射地点から落下地点までの距離	1,339 m
落下地点からゴールまでの距離	2,786 m
ローバの走行距離	3,519 m
ローバ走行速度	3.72 km/h
ローバの走行時間	59 分 26 秒
GPS によるゴールまでの距離	0.42 m

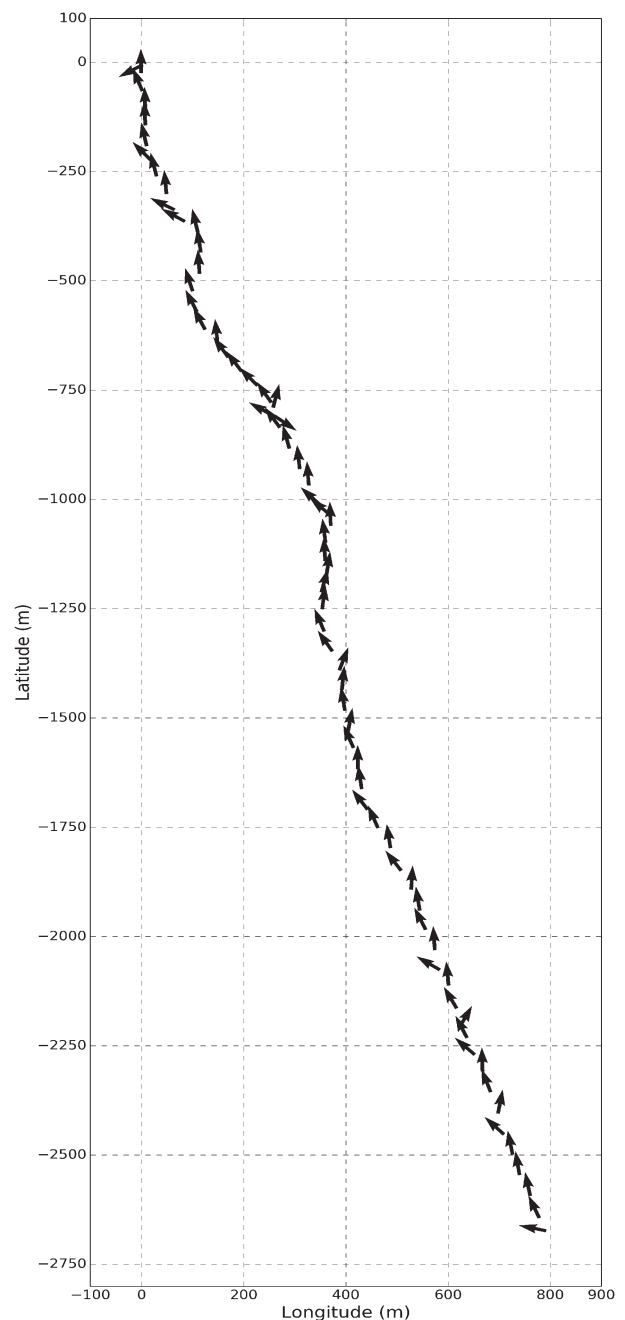


Fig.7 Rover Running Path

離を示している。ローバの落下位置は、ゴールから緯度方向に約 800m、経度方向に約 2,700m 離れた位置であった。Fig.7 のグラフでは緯度及び経度方向が同じスケールのグラフであるため、縦長のグラフとなっている。また Fig.7 グラフより、ローバはスタート地点からゴール地点まで、ほぼまっすぐ走行していることが分かる。

ローバは打ち上げ地点から 1,339m 離れた地点に落下した。落下地点からゴールまでの直線距離は 2,786m だったが、実際にローバが走行した距離は 3,519m であった。これは、ローバは完全にまっすぐゴールへ向かって走っているのではなく、地面にひび割れがあるため、それにより走行方向が左右へ振られてしまうため、左右へと向きを変えながら走行するためである。また、ローバの平均走行速度は 3.72km/h であった。

5.3 轍脱出動作

途中ローバはゴール地点から約 800m の地点で轍にスタックし、動作不能になった。この時の様子を Fig.8 に示す。轍部分にローバのシャーシが乗り上げてしまい、タイヤが空転し、動作不能になった。

この後、約 6 分間スタック判定動作を行い、タイヤは空転を続けたが、タイヤが左右逆に回るスタック判定時の動作により、ローバは少しずつその場で回転をし、タイヤが地面を捉え、スタックから脱出することに成功した。

5.4. ゴール判定

その後、ローバは順調にゴールを目指して走行し、ゴールから 5.81m の地点でゴール判定を行い停止した。ローバがゴール判定を行い、停止したときの様子を Fig.9 に示す。しかし、ログデータに記されたゴール時の GPS の位置情報はゴールからの距離は 0.42m であった。このゴール位置からの誤差は、主に GPS の測位誤差と考え



Fig.8 Rover Stucked in a Rut



Fig.9 Rover Stopped at Goal

Table 4 Result of ARLISS 2016

Rank	Team	Distance
1	東京大学 Team Grenouille	3.76 m
2	電気通信大学 Cake's	4.8 m
3	愛知工科大学 STELA	5.81 m
4	慶應義塾大学 Keio Team Wolve'Z	377m

られる。

Table 4 に ARLISS 2016 における Comeback Competition の競技結果を示す。我々のローバはゴールまで 5.81m まで近づき 3 位の結果を得た。

5.5 バッテリー電圧変化

Fig.10 にローバの電源を入れてからゴールするまでのバッテリー電圧の変化を示す。ローバの電源 ON 後、約 4,000 秒の時に走行開始し、約 7,600 秒の時にゴールしている。走行開始後にモータを動作させるため電圧が約 9.9V から約 9.6V に低下するが、ゆるやかな電圧低下のままゴールしている。3 セル Li-Fe バッテリーの最低電圧は約 7.8V なので、ゴール地点から 3km 程度の距離の走行には、十分なバッテリー容量であったことが確認できた。途中約 6,200 秒時と約 6,500 秒時に一瞬電圧が大きく低下しているが、これはローバが轍にスタックし、モータが停止し動作不能状態になった時である。この状態ではモータに大電流が流れるため、それぞれ約 9.0V、8.95V 程度までバッテリー電圧が低下している。それでも、3 セル Li-Fe バッテリーの最低電圧約 7.8V にはかなり余裕がある。

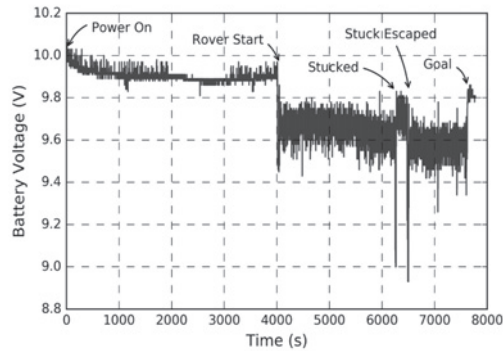


Fig.10 Battery Voltage

6. 結 言

ARLISS 2016 に参加し、3 位でゴールした時の動作ログの詳細な分析結果について述べた。ロケットにより実際に高度約 3,000m まで上昇し、パラシュートによる落下速度は約 6.0ms と、想定よりやや速い速度で落下していることが分かった。ARLISS では風に流されることにより、ゴールから 10km 以上離れた地点に落下することがあるが、我々は約 3km の地点に落下した。パラシュートローバは約 1 時間かけて約 3.5km 走行しているが、バッテリーの電圧変化を見ると、3 セル 2,600mAh のバッテリーでも、まだまだ余裕であることが分かった。GPS データ上ではゴールまで 0.42m まで近づいているにもかかわらず、実際には 5.81m 離れていたため、1 位にはなれず 3 位となった。これは GPS の誤差が原因であるが、GPS の誤差をより少なくすることはできないのかについて検討を行う必要がある。実際に XBee による通信が、GPS 測位精度に影響を与えることを我々は突き止めた^[12]。将来はこの点を考慮し、より GPS の測位誤差を減らしたローバを開発する必要がある。また、GPS の精度を高めたとしても、誤差を 0 にすることはできな

いため、GPS の誤差がある程度存在することを考慮した上で、よりゴールに近づく手法についても検討する必要がある。

参考文献

- [1] 種子島ロケットコンテスト実行委員会, "種子島ロケットコンテスト", <http://jaxa-rocket-contest.jp/> (最終アクセス日: 2017 年 10 月 30 日)
- [2] 一般社団法人あきた宇宙コンソーシアム, "能代宇宙イベント", <http://www.noshiro-space-event.org/> (最終アクセス日: 2017 年 10 月 30 日)
- [3] UNISEC 大学宇宙コンソーシアム, "ARLISS", <http://unisec.jp/activities/arliiss.html> (最終アクセス日: 2017 年 10 月 30 日)
- [4] AeroPac Network, "AeroPac", <http://www.aeropac.org/> (最終アクセス日: 2017 年 10 月 30 日)
- [5] 斎藤卓也, 秋山実穂, "小型自律移動ロボットの設計と ARLISS による実証評価", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 in Fukushima, 2P2-A12, May 2017.
- [6] 斎藤卓也, 秋山実穂, "惑星探査ローバの ARLISS2016 における動作ログの分析", 情報処理学会組込システムシンポジウム 2017, pp.112-113, 2017.
- [7] Arduino, "Arduino - Home", <https://www.arduino.cc/> (最終アクセス日: 2017 年 10 月 31 日)
- [8] 鈴木哲哉, "作って遊べる Arduino 互換機", ソシム株式会社, pp. 20-35, 2013.
- [9] CUI Inc, "V78-1000 Series", <http://www.cui.com/product/power/dc-dc-converters/non-isolated/1-a-output-current/v78-1000-series> (最終アクセス日: 2017 年 10 月 31 日)
- [10] Adafruit Industries, "Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits", <https://www.adafruit.com/> (最終アクセス日: 2017 年 10 月 31 日)
- [11] Digi International Inc, "Digi XBee Ecosystem - Everything you need to explore and create", <https://www.digi.com/xbee> (最終アクセス日: 2017 年 10 月 31 日)
- [12] 斎藤卓也, 秋山実穂, "惑星探査ローバにおける XBee の GPS 測位精度影響の研究", 情報処理学会組込みシステムシンポジウム 2017, pp.114-115, 2017.

研究論文

スマートフォンの加速度センサを用いた ぬいぐるみに与えた動作の認識

實廣 貴敏*, 伊藤 俊樹*, 早瀬 友博*

(2017年9月30日受理)

Recognition of Motions Given to a Stuffed Toy Using a Smartphone Acceleration Sensor

Takatoshi Jitsuhiro*, Toshiki Ito* and Tomohiro Hayase*

(Received September 30, 2017)

Abstract

We propose a new concept of smartphone applications which can recognize user's motions added to a stuffed toy, for examples, "lifting up", "hitting", and "stroking". This application is installed in a smartphone, and the phone should be added to a stuffed toy. Using the acceleration sensor included in the phone, the application can estimate the toy's motions given by the user. Since the duration of the motions is variable, we introduce Dynamic Time Warping (DTW) to estimate users' motions. Experimental results show that the average F-measure was 0.81 by using four user-independent templates per one kind of motions.

キーワード: 動作認識, 動的時間正規化, 加速度センサ, スマートフォン

Keywords: motion recognition, dynamic time warping, acceleration sensor, smart phone

1. はじめに

近年, スマートフォンをはじめとして音声対話システムの実用化が進んでいる. Apple社製 iPhone での「Siri」^[1]や NTT ドコモ社の iPhone と Android アプリである「しゃべってコンシェル」^[2]などでは, 簡単な音声対話を実現している. しかし, 声だけでは3次元の世界に生きている人間にとってはもの足りない. 本研究では, スマートフォンアプリとして実現しながら, ぬいぐるみに取り付け, ユーザからぬいぐるみに与える動作を認識することで, より自然なインタラクションを伴った対話を目指している.

スマートフォンには様々なセンサが搭載されており, それらを利用した研究の例として文献^[3]がある. これは加速度センサとマイクを用い, 室内での生活行動を認識しようとするものである.

本研究では, 何気ないぬいぐるみにスマートフォンを

取り付けるだけで, ユーザがぬいぐるみに対して行う動作に対して, なんらかの反応を返すような応答システムを提案する. 音声対話システムでは, 声でやり取りを行うだけだが, ぬいぐるみに対しては, 話しかけるだけよりは, 直接, 触って楽しむほうが普通である. そのとき, その動作に応じた応答があれば, ユーザにとって, 楽しいものになると思われる. **Fig. 1** に提案するシステムの構想図を示す. 例えば, ユーザがぬいぐるみを持ち上げ, いわゆる, 「高い高い」を行ったとき, ぬいぐるみが喜ぶような笑い声をあげる, という応答が考えられる. 具体的には, ユーザによる動作を認識し, それに対する応答を返す, スマートフォンのアプリを実現できればよい. ユーザが与えた動作の認識は, ぬいぐるみに取り付けられたスマートフォンに内蔵されている加速度センサの値から推定する.

スマートフォンではないが, 加速度センサを体に取り

* 愛知工科大学工学部情報メディア学科 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2

* Department of Media Informatics, Faculty of Engineering, Aichi University of Technology 50-2, Manori, Nishihasama-cho, Gamagori-shi, Aichi, 443-0047 Japan

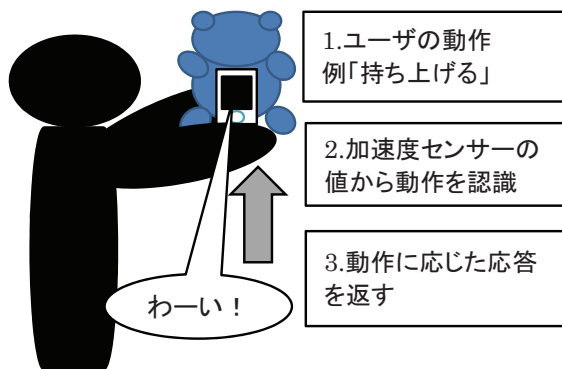


Fig. 1 スマートフォンをぬいぐるみに取り付けた提案システムの構想図. 動作「持ち上げる」を行った例.

り付けた動作認識の手法として文献^[4]がある. 一定の姿勢 (例えば, 座っている), 一定時間継続される運動 (例えば, 歩く), 1 回きりの動作であるジェスチャ, の 3 種類に分類し認識を行う研究をしている. ジェスチャの認識では, DTW (Dynamic Time Warping) が使用されている. 長さの異なる 2 つの信号間の類似度を図るアルゴリズムである. 音声認識において以前よく利用されており, 発声速度によらず, 同一の音声を認識するために使われていた. ジェスチャも音声同様に継続時間が異なるため, 長さが異なるデータの照合を行うことができる DTW が有効である.

本論文では, 提案するスマートフォンアプリを前提に, 加速度センサによるユーザが与える動作の認識精度の検討を行う. ユーザ動作を簡単な 3 種類とし, 基礎的な動作認識を検討する. 特徴量はスマートフォン内蔵の 3 軸加速度センサの値を用い, DTW によるテンプレートマッチングにより動作認識を行う. 本論文の内容は, 第 2, 3 著者らが中心で検討した文献^{[5][6]}を再度, 見直し, やや異なる観点から評価しなおしたものである.

以下に本論文の構成を述べる. 2 節では, 提案するぬいぐるみアプリケーションの構成やユーザが与える識別すべき動作の定義を述べる. 3 節では, 動作認識実験として, 提案手法の評価を行う. 4 節で, 本論文のまとめと今後の課題を述べる.

2. 提案する動作に反応するぬいぐるみアプリケーション

2.1. アプリケーションの構成

本論文では, ぬいぐるみとして, キューブ社製「ココロベア」^[7]を用いる. これはスマートフォンをお腹に固



Fig. 2 ココロベアに iPod touch を取り付けたところ

定することができる. また, スマートフォンの音声出力にケーブルをつなぐことで, 体内のスピーカから音を出力できる. そのとき, 音の大きさに合わせて口を開けたり閉じたり, パクパクさせてしゃべっているように見せられる.

本来は専用の育成ゲームのようなアプリを使う. しかし, そのアプリはタッチ式であり, ぬいぐるみとのインタラクションとしては不自然である.

Fig. 2 にココロベアにスマートフォンとして iPod touch を取り付けたところを示す. 音声出力へ接続する端子が iPod touch の下に見えている. 写真のアプリは加速度センサなどの値を計測および保存するものである. 将来的には, 動作認識機能や音声応答機能を入れたアプリを実現し, そのアプリを起動して使うことになる. なお, iPod touch 自体は音楽プレーヤーではあるが, 代表的なスマートフォンである iPhone と同じ iOS アプリを利用することができる. 今回利用するセンサは iPhone と iPod touch では同じものが使われており, 今回は iPod touch を用いた.

もちろん, 取り付け方を工夫して, 一般的なぬいぐるみでも同じように利用できるとよいが, 本論文では, このココロベアについての検討に限定する.

2.2. ユーザが与える動作の定義

ユーザが与える動作をどんなものでも認識して応答するのは困難である. そこで, 最初の検討でもあるので, 3 種類, Fig. 3 「持ち上げる」, Fig. 4 「叩く」, Fig. 5 「撫でる」の動作に限定する. また, それぞれの動作も連続して何度も行うことも可能だが, モデル化や識別が困難と思われる. 一種のジェスチャと考えて, 限定的な動きを定義する. 今回は「持ち上げる」「叩く」は 1 回, 「撫でる」は 2 往復程度としておく.

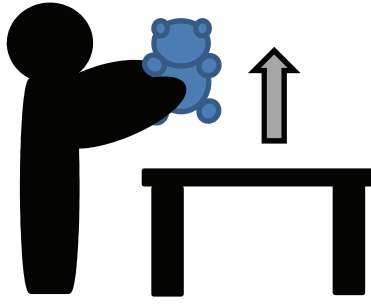


Fig. 3 「持ち上げる」動作

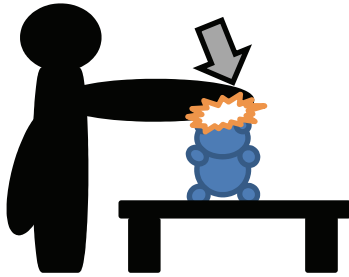


Fig. 4 「叩く」動作

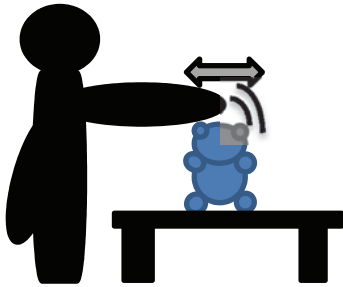


Fig. 5 「撫でる」動作

2.3. 動作認識手法

前節で説明した動作を，スマートフォンに内蔵されている加速度センサの値を用いて識別する．動作認識に使う特徴量としては，加速度センサの3軸の値を時間信号のまま用いる．また，細かい振動を除去するために，ローパスフィルタをかけて用いる．時刻 i でのセンサ出力そのままの値を u_i ，ローパスフィルタ出力を x_i とすると，

$$x_i = ax_{i-1} + (1-a)u_i$$

と表せる．ここで， a は定数である．

認識手法としてはテンプレートマッチング手法を用いる．ここで対象としている動作は，その度ごとに継続時間長が異なる．音声認識でかつてよく使われた Dynamic Time Warping (DTW) を用いる．Fig. 6 に DTW の概念図を示す．横軸に入力信号，縦軸に第 n テンプレートを配置し，対応する点での距離を計算，累積距離を計算した

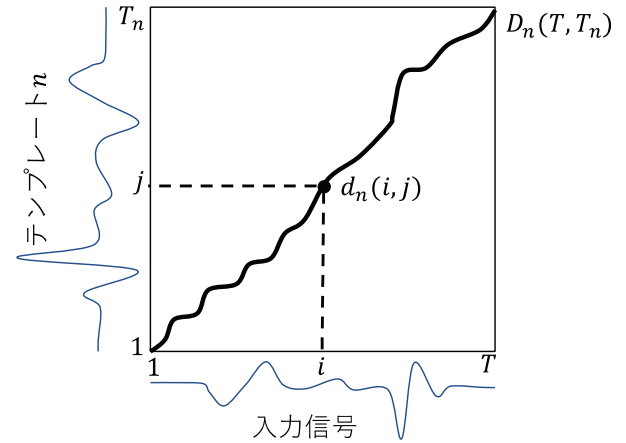


Fig. 6 Dynamic Time Warping の模式図

がら，最も累積距離が小さくなる経路を求める．その経路の累積距離をそのテンプレートで得られた距離とし，用意されているテンプレートの中で最も距離が小さくなるものを認識結果とする．

入力信号を $X = (x_1, x_2, \dots, x_T)$ ，第 n テンプレート信号を $Y_n = (y_{n1}, y_{n2}, \dots, y_{nT_n})$ とする．ここで， x_i あるいは y_{nj} はそれぞれの信号での i 番目あるいは j 番目での特徴量ベクトルを表す． T や T_n はそれぞれの信号の総サンプル数である．各サンプルの特徴量ベクトルは p 次元ベクトルとし，第 k 次元の要素を $x_i(k)$ とし， $x_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(p))^t$ とする． t は転置を表す．2点間の距離はユークリッド距離を用いる．

$$d_n(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_i(k) - y_{nj}(k))^2}$$

また累積距離を下記のように定義する．

$$D_n(i, j) = \min \begin{cases} D_n(i-1, j) + d_n(i, j) \\ D_n(i-1, j-1) + 2d_n(i, j) \\ D_n(i, j-1) + d_n(i, j) \end{cases}$$

上式の真ん中の式に $2d_n(i, j)$ とあるのは，斜め右上の移動に2倍の重みをかけていることを表す．最終端での累積距離 $D_n(T, T_n)$ が最も小さいテンプレートを認識結果とする．

3. 動作認識実験

3.1. 実験方法

ユーザが与える動作の認識実験を行った．DTWでのテンプレートの選択仕方でも下記の種類の評価を行った．

実験 (1) ユーザ依存テンプレートによる動作認識

同じユーザによる動作で得られたデータの一部をテンプレートとし、同じユーザの別のデータをそれで認識する。

実験 (2) ユーザ独立テンプレートによる動作認識

あるユーザによる動作で得られたデータの一部をテンプレートとし、別のユーザのデータをそれで認識する。実験 (1) のユーザ依存テンプレートでは、そのユーザが登録する必要がある。それに対し、他の人によるテンプレートで高い精度を得られるのであれば、使う本人が登録する必要がなくなる。

実験 (3) ユーザ独立テンプレートにおいて、テンプレート数を変えたときの動作認識性能評価

実験 (2) の条件で、テンプレートを増加させたときの認識性能を評価する。

3.2. 実験条件

本実験ではスマートフォンとして iOS デバイス、Apple 社製 iPod touch 第 6 世代 (iOS 9.3.5) を用いた。CoreMotion フレームワークを用い、加速度センサの値を保存する iOS アプリを作成した。サンプリング周波数は 10 Hz とした。加速度センサ 3 軸 (x, y, z 軸) の値をそれぞれローパスフィルタに通した値を特徴量として用いた。ローパスフィルタの係数は 0.80 とした。

使用したぬいぐるみは、キューブ社製「ココロベア」を用いた。スマートフォンをセットする器具に iPod touch を固定し、被験者に動作を与えてもらった。

動作は「持ち上げる」「叩く」「撫でる」の 3 動作とした。3 名の男子大学生に、3 種類の動作をそれぞれ 12 回ずつ行ってもらった。動作する前に手本を見せ、同様な動作をしてもらうようにした。12 回中 10 回分を評価データとし、残り 2 回分をユーザ依存テンプレートとした。

3.3. 実験 (1) ユーザ依存テンプレートによる動作認識

ユーザに依存したテンプレートとして、収録した一人当たり 12 回のデータのうち、2 回分を用いた。Fig.7 に再現率、適合率、F 値による評価結果を示す。平均では、それぞれ 0.79, 0.86, 0.82 が得られた。

また、3 ユーザの各動作に対する精度を Fig. 8, Fig. 9, Fig.10 に示す。「持ち上げる」動作では、この評価データにおいては確実に認識ができた。「叩く」と「撫でる」では、この 2 種類の動作で間違えることが多く、その認識精度はユーザによってまちまちとなった。

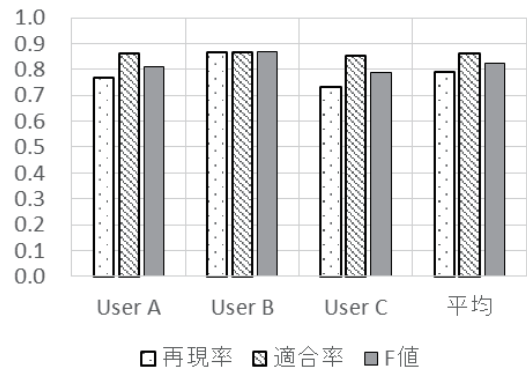


Fig. 7 ユーザ依存テンプレートによる精度

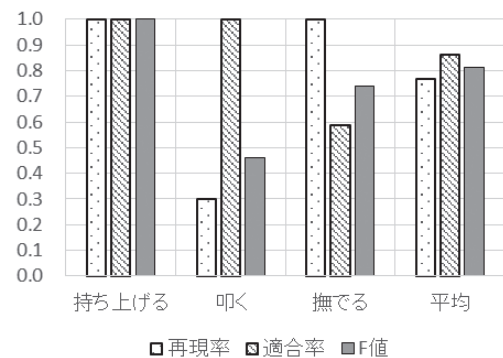


Fig. 8 ユーザ依存テンプレートでの User A に対する精度

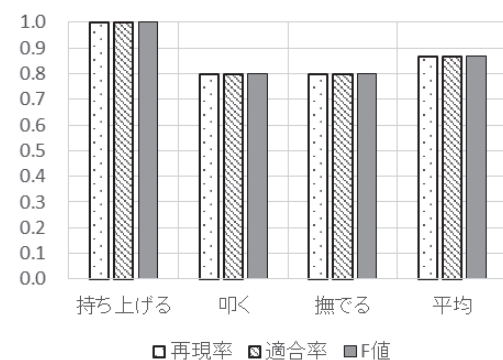


Fig. 9 ユーザ依存テンプレートでの User B に対する精度

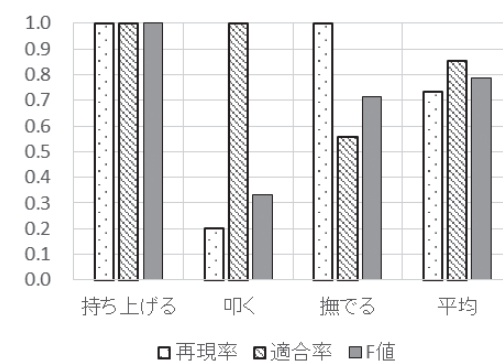


Fig. 10 ユーザ依存テンプレートでの User C に対する精度

実験 (2) ユーザ独立テンプレートによる動作認識

ユーザ独立テンプレートとして、ここでは、3 人の被験者のうち、他の 2 名のデータをテンプレートとして使う。1 つの動作に対して、1 名につき 2 つずつ、合計 4 つのテンプレートを用いる。Fig. 11 に再現率、適合率、F 値による評価結果を示す。平均では、それぞれ 0.81, 0.83, 0.82 が得られた。このデータでは、テンプレート数は倍になっているが、ユーザ依存テンプレートと同等な精度が得られた。

また、3 ユーザの各動作に対する精度を Fig.12, Fig. 13, Fig.14 に示す。「持ち上げる」動作については確実に認識できた。「叩く」「撫でる」はユーザにより精度に差が見られた。特に、今回はユーザ C では精度が低かった。他の 2 名に比べ、信号の振幅が小さく、動きが小さかったと考えられる。

実験 (3) テンプレート数による性能評価

実験 (2) でのユーザ独立テンプレートによる精度の評価において、テンプレート数を変化させて精度をみた。Fig. 15 に各ユーザにおける F 値を示す。動作別テンプレート数が 4 であるときが実験 (2) と同じ結果である。評価データのユーザとは別の 2 名のユーザから、同数のテンプレートを選択した。動作テンプレート数が 2～6 のときは、ほぼ精度が同じであるが、8 以上になると、精度が下がることがわかった。「叩く」「撫でる」がお互いに間違いやすいが、3 名中 2 名では、特に、この 2 つの動作において、テンプレート数が増えると誤認識が増える傾向があった。現状では、評価に用いる被験者数、データが少ないので、これ以上の分析は難しい。今後、データ量を増やして検討していく必要がある。

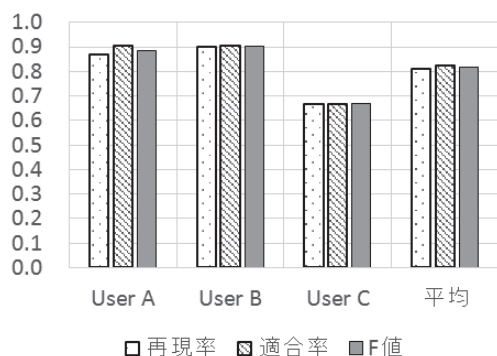


Fig. 11 ユーザ独立テンプレートによる精度

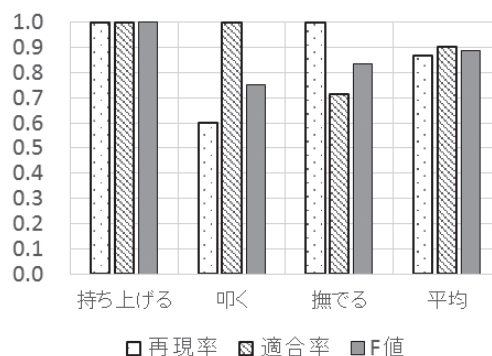


Fig. 12 ユーザ独立テンプレートでの User A に対する精度

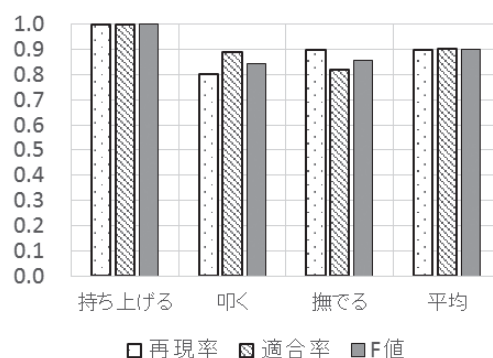


Fig. 13 ユーザ独立テンプレートでの User B に対する精度

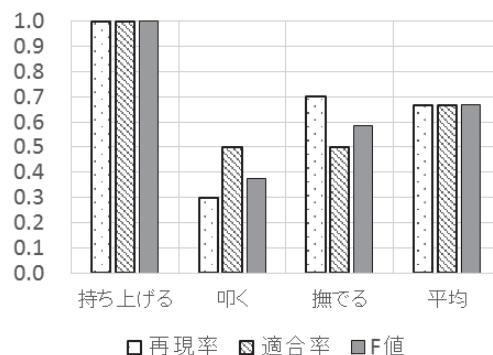


Fig. 14 ユーザ独立テンプレートでの User C に対する精度

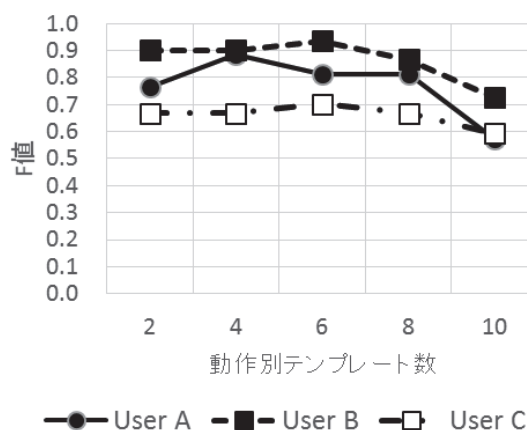


Fig. 15 テンプレート数を変化させた時の F 値の変化

まとめ

本研究では、ぬいぐるみにスマートフォンを取り付け、ぬいぐるみへのユーザが与える動作を認識し、適切に答えるアプリを考案した。本論文では、スマートフォンの加速度センサを用い、その動作を識別する方法を提案した。対象とする動作は3種類「持ち上げる」「叩く」「撫でる」とした。それぞれの動作は継続時間長が変化する。一種のジェスチャ認識と考えられるので、時間伸縮を考慮できる Dynamic Time Warping (DTW) を用いた。テンプレートとの比較を行い、最も距離に近いテンプレートを正解とした。実験では、ユーザ依存テンプレートのとき、ユーザ独立テンプレートのとき、テンプレート数を変化させたときの評価を行った。F 値では、0.8 程度の値が得られた。「叩く」動作の精度が低いユーザが見られた。

今後の課題として、まず、評価データや被験者を増やすことがあげられる。被験者が3名のみであるので、人による違いをより多くのデータを用いて評価していく必要がある。また、今回は加速度センサの値のみを用いたが、それ以外のセンサ情報を利用するも考えられる。さ

らには、データが増えれば、より複雑な識別手法で精度向上が可能と考えられる。現代的な手法も利用できると考えている。

参考文献

- [1] Apple, “iOS – Siri – Apple (日本),” <https://www.apple.com/jp/ios/siri/>, (アクセス日: 2017 年 9 月 18 日)
- [2] NTT ドコモ, “しゃべってコンシェル,” https://www.nttdocomo.co.jp/service/shabette_concier/, (アクセス日: 2017 年 9 月 18 日)
- [3] 大内一成, 土井美和子, “スマートフォンを用いた生活行動認識技術,” 東芝レビュー, vol. 68, no. 6, pp. 40-43, 2013 年
- [4] 村尾和哉, 寺田 努, “加速度センサの定常性判定による動作認識手法,” 情報処理学会論文誌, vol. 52, no. 6, pp. 1968-1979, 2011 年
- [5] 早瀬友博, “物理的な入力にも反応する音声対話システムの検討,” 愛知工科大学卒業論文, 2014 年
- [6] 伊藤俊樹, “スマートフォンを取り付けたぬいぐるみにおける加速度センサを用いた動作識別の検討,” 愛知工科大学卒業論文, 2016 年
- [7] キューブ, “Cube-Works_Works,” http://www.cube-works.co.jp/works/index_sub.html?/works/cocolobear/, (アクセス日: 2017 年 9 月 18 日)

研究ノート

「修学形成1・2」におけるエンジニアリング基礎教育の取り組み

荒川俊也*, 井藤良温*

(2017年9月30日受理)

Practice of Basic Engineering Education in “Study Build-up 1” and “Study Build-up 2”

Toshiya Arakawa* and Yoshiharu Ito*

(Received September 30, 2017)

1. はじめに

本論は、愛知工科大学機械システム工学科の「修学形成1」および「修学形成2」における、基礎エンジニアリング教育の取り組みについて述べたものである。

愛知工科大学は、中京・遠州工業圏と三河湾国定公園の中心に位置する愛知県蒲郡市と幸田町にまたがる地にキャンパスを構えている。本学は愛知県の中でも東方の三河地域に属しているが、三河地域は製造品出荷額が24兆円で、全国1位である愛知県の製造品出荷額(38兆円)の約6割である。特に三河地域の輸送用機械の製造品出荷額は17.2兆円であり、全国の3割を誇る^[1]。

このようなモノづくりが盛んな環境の中で、本学では、教育目標として、「自立と夢の実現：教育指針[心を磨き、技を極め、夢に挑む]に基づき、学生一人ひとりが夢を持ち、社会での自立とその夢の実現に必要な力を主体的に養い、自らの成長に自信を持って就職し、社会から喜ばれ歓迎される技術者となるよう教育する。」と掲げて教育に取り組んでいる。ここで述べている教育指針、[心を磨き、技を極め、夢に挑む]結果達成される「自立と夢の実現」のためには、総合力である「意欲」「人間性」「能力」を掛け合わせたものであると考えており、この総合力を最大にするためには、「意欲」「人間性」「能力」の3要件をバランス良く向上させる必要がある^[2]。

社会情勢に伴って教育のあり方も変化している。例

えば、高度成長期のような時代は、世の中の動静に激しい変化がなく、その流れに乗って管理社会の中で与えられた役割を果たし、最大の成果を出すように協力する教育のあり方が望ましい姿であった。一方、近年は、技術や社会情勢が目まぐるしく移り変わり、個人が置かれている状況も瞬時に変わる中で、全体と統括する管理者の下、一人ひとりが有する最大限の能力を発揮し、互いに助け合い、全体として調和を創り困難を乗り切れるようにする教育が望ましいと考えられている^[2]。このような教育が望ましいとされる中では、従来のような一様な教育内容、方法からの脱却の必要がある。これを踏まえて、本学では、2012年度より教育改革・授業改革を実施している^[2]。

この教育改革・授業改革のポイントは以下にある。

- (1) 人材教育の根幹を、「意欲」「人間性」「能力」の3要件に絞り込み、学びを通してこれら3要件がバランス良く向上するよう工夫する。
- (2) 学科の専門の学びにおける成長モデルを確立し、何ができるようになるのかを明確化し、それに沿った学びの内容に絞り込む。
- (3) 教員と学生、学生相互間での学び合う形態の授業を基本に置き、主体的に考える力、意見を交換し、お互いを理解し合う力、発表する力の向上を図る。
- (4) モノづくりの現場の姿を自分の目で見て、現場が必要とすることを体験的に理解し、学科の学びにつな

* 愛知工科大学工学部 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Faculty of Engineering, Aichi University of Technology, 50-2, Manori, Nishihama-cho, Gamagori, Aichi 443-0047 Japan

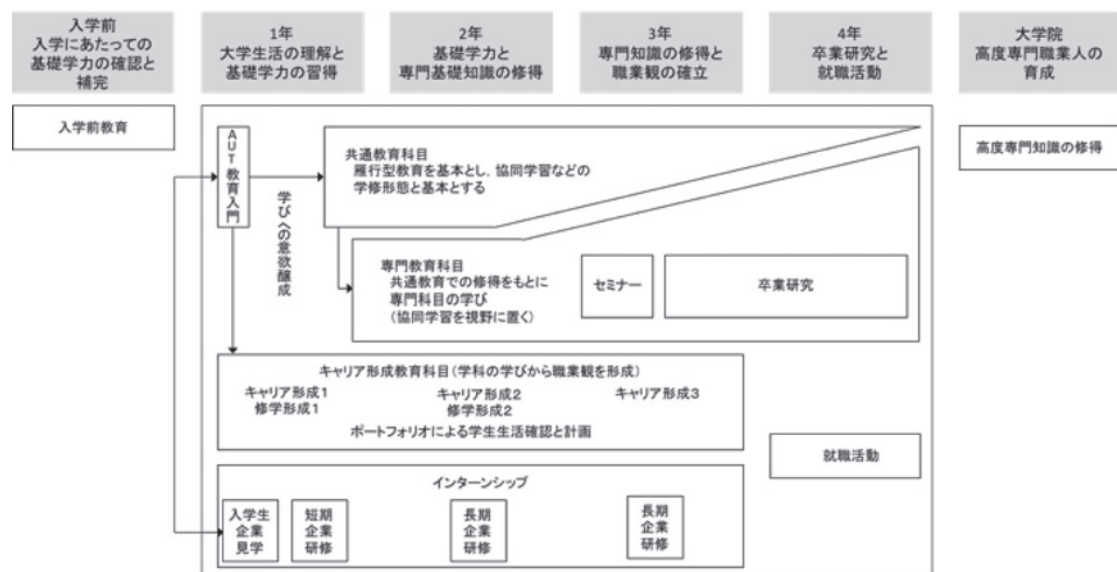


Fig.1 教育改革の教育体系^[1]

げる企業との連携を図った科目授業を組み込む。

- (5) 実験・実習に対して課題解決型テーマを設定し、アクティブラーニングを基本に学科の学びを総合的に取り組む形とする。
- (6) 学習内容が確実に身に付き、3要件が向上するように、アンケートなどを取り、学生の状態を確認して、具体的な施策を行う。

以上の教育改革・授業改革を推進する教育体系をFig.1に示す。入学前教育から卒業に至るまでの教育体系の柱を構成し、「意欲」「人間性」「能力」の3要件に基づく「総合力」と、着実に実行する「実践力」が、モノづくりに向けた土台の力として身につく。その土台となる力は、就職した企業の個々の状態に対応して、企業現場の必要に応じる形でモノづくり現場に活かされるという考えに基づいている。特に、専門科目への導入と呼ぶべき、1年次および2年次におけるキャリア形成教育科目が、モノづくりに向けた土台の力を養成するポイントになると筆者は考えている。

本学では、夏季におけるインターンシップによる企業研修を通じて、社会人およびモノづくり技術者に向けた基礎力や即戦力に繋がるトレーニングを行うことは可能である。しかし、インターンシップは必修科目ではなく、また、就職の意識が高いと言っても、夏期休暇という背景を考えると、例えば運転免許取得や帰省などで、機会を活用できない学生も見受けられるのが実情である。その一方で、本学の特色を踏まえて考えると、極力、初年次教育の段階で、モノづくり技術

者としての素養を高める教育を進める必要もある。

モノづくり技術者としての素養を高めるためには、実際のモノづくりを授業に導入することが近道である。しかし、本学のように、推薦入試、特に指定校推薦からの入学者数が多い大学は、学生の基礎学力が比較的低い^[3]。中には、目的意識を持たず、意欲的でない学生も見られる。このような学生に対しては、実際にモノを作らせることで技術者としての基礎固めを行うことは、入学時における学生の能力を考慮すると、技能面や知識面の観点、およびそれらに起因して不慣れな作業を遂行することに伴う危険性などの観点から困難を伴う。一方で、1年次および2年次に意欲を喚起しない場合、「技術者としてあるべき自分の姿」を思い描けず、無為に大学生活を送ることに繋がる。その結果、エンジニアとしての自己の姿を思い描けず、自身の意にそぐわない就職活動を行うなど、キャリアプランに多大な影響を及ぼすことが懸念される。

そこで、1年次に、実際に企業における技術者の役割を簡単に体験するプログラムを導入し、簡単ではあるがエンジニアリング能力の素養を身に付け、2年次には、実際に手を動かすモノづくりを体験させ、モノづくり技術者としての自身の意欲を高める取り組みを検討した。この取り組みによって、1年次および2年次で、基礎的なエンジニアリング能力を養い、3年次以降の専門科目にシームレスに繋げることで、自身のキャリアプランに寄与することが可能であると考えた。

本論では、愛知工科大学機械システム工学科で実施

している、1 年次共通基礎科目「修学形成 1」において、「アイデアコンテスト」という名称のモノづくり技術者としての意欲喚起と素養を高める教育を実践した結果について述べる。そして、2 年次共通基礎科目「修学形成 2」において、低コストながら創意工夫が求められるモノづくりを行う「役に立たないモノづくりコンテスト」の取り組みについて述べる。

本論の構成は次の通りである。第 2 章では「修学形成 1」で実施した「アイデアコンテスト」の具体的な内容と、実施した結果について述べる。第 3 章では「修学形成 2」で実施した「役に立たないモノづくりコンテスト」の具体的な内容と、実施した結果について述べる。第 4 章はまとめである。

2. 「修学形成 1」アイデアコンテストについて

2.1 アイデアコンテストの概要

モノづくり技術者としての素養を高める教育の題材として、本論の筆者の 1 人が、前職（自動車メーカー）の新入社員教育で実際に経験した内容を一部改変したものを採用した。この新入社員教育は、数日間の合宿形式で実施され、ビジネスマナー教育などを実施するものである。現在は新入社員教育の運営が変化している可能性があるが、本論の筆者の 1 人が経験した新入社員教育プログラムの 1 つとして、「新型車の企画と開発プロセスの経験」というものがある。これは、様々な部署の新入社員 5～6 名が 1 つのグループとなり、グループワーク形式で進めるものである。このグループワークを 3 日間進め、メーカーにおけるモノづくりのプロセスの体験と、モノづくりおよびグループで議論を進めることの難しさを理解することが目的である。

この新入社員教育プログラムは次の流れおよびルールに則って実施される。

- (1) グループが会社を運営していると考え、社名とエンブレムを決定する。
- (2) 他社を凌駕する売れる自動車の企画・立案を行う。スペック、特徴面から詰める。
- (3) (1) で企画した商品のデザインを行う。
- (4) (2) でデザインを行った自動車のクレイモデルを作成する。なお、クレイモデル作成に当たっては、予め規定量の粘土が与えられ、粘土の使用量が少ない程良い。粘土の量＝開発コストというルールに基づいている。

- (5) 社名・エンブレム・企画・開発・製作した商品についてのカatalogを模造紙 1 枚に収めて作成する。
- (6) グループ全員が登壇し、他のグループおよび研修に参加しているコーディネーター役の社員の前でプレゼンテーションを行う。
- (7) コーディネーター役の社員の評価と、(4) でクレイモデルを作成した際の粘土の残量を基に総合評価し、順位付けする。

実際の商品開発の現場はこの例程短スパンでなく、納期に合わせた開発などの困難を伴う。しかし、導入という位置付けを踏まえると、本プログラムは、モノづくりの「入口から出口」を経験し、モノづくり技術者としての意欲喚起を図ることができる格好の材料であると考えられる。また、若手の人間には希薄であるコストの概念も養える。本プログラムは、先述した、「意欲」「人間性」「能力」をバランスよく養うには良い材料であり、率先して未知の技術を探求する「意欲」、他者と強調して課題に取り組む「人間性」、グループワークによってコミュニケーションを円滑にしたり、プレゼンテーションによって他者に対して詳細に説明する「能力」が養えるものと考ええる。

これに則り、「修学形成 1」では、本プログラムをベースとした「アイデアコンテスト」を 4 回に渡って実施した。なお、「修学形成 1」は隔週の授業であるため、実際に「アイデアコンテスト」を実施した期間は 8 週間となる。「アイデアコンテスト」の進め方は次の通りである。

- (1) グループ内で興味のある機械を 1 つ挙げる。
- (2) (1) で挙げた機械の現状と価格を調査する。
- (3) (1) で挙げた機械の 20 年後の姿について議論し、どのような技術が搭載されているか、価格はどの程度であるか検討し、新たな商品を企画する。
- (4) (1) で挙げた機械のデザインを行う。
- (5) 企画・開発した商品についての企画書を A4 コピー用紙 2 枚を上限に纏める。(4) で検討したデザインも必ず入れることを条件とする。
- (6) グループ全員が登壇し、(5) で作成したカatalogを用いて、他のグループおよび授業に参加しているコーディネーター役の教員の前でプレゼンテーションを行う（発表 6 分、質疑 4 分）。
- (7) 授業に参加している学生とコーディネーター役の教員が共に「プレゼンテーションの出来」や「商品を買いたい度合い」など、5 点満点で採点し、総合評

価より順位付けする。

上記において、対象とする機械を20年後と設定した理由は、企業における次世代技術のターゲットが大凡20年であることを想定して設定した。また、自動車の場合は実際の開発プロセス（デザインプロセス）においてクレイモデルを作成するため、クレイモデル作成を新入社員教育に導入することは理に適っているが、大学におけるモノづくり教育の場合は、必ずしも学生が自動車に関連したモノづくりを意識する訳ではないため、一般的な「機械」に落とし込む必要がある。しかし、分野によっては、開発プロセスの中でクレイモデルを製作するということが生じないため、「アイデアコンテスト」ではクレイモデルの製作は省略した。なお、「アイデアコンテスト」を実施する前に、「アイデアコンテストは実際の企業の新人教育で実施されている内容を一部改変しているが、実際に企業に入社した場合に行う内容に即している」ことを伝えている。特に大きなポイントとしては、「自分たちが技術者として生きていく上で知っておくべき技術」「コストの概念」「プロジェクトで技術開発をすることが企業では当たり前のこと」「プロジェクトの検討結果を人前で発表する重要性」であり、学生にはこのポイントについても授業で伝えている。また、教員はあくまでコーディネーターであり、議論に関係する内容の質問は一切受け付けられないことも伝えている。このように教員が学生の議論に一切関与しないことで、「受動的な学習態度から能動的で自律的・自立的な学習態度への転換」の意識付けを図っている。

初年次教育において商品開発を導入する例は、例えば、文系では大正大学の初年次教育^[4]など、理系では東京農業大学短期大学部の初年次教育^[5]があるが、本学における取り組みとしては、将来の商品開発に特化しており、学生に現状の商品を把握させると共に技術の進化を想像させ、実現性について検討させること、また、コストの概念を導入し、ユーザー・お客様視点でのモノづくりを意識させること、また、学生が常日頃活用している、および、将来学生が開発するであろう機械の価値を再認識させることに特徴がある。

なお、「アイデアコンテスト」後の「修学形成1」では、「アイデアコンテスト」におけるモノづくりに対する意欲喚起を踏まえて、大学の学びにはどのような分野があり、前期で検討したモノを実現するには、大学でどのような専門科目を学べば良いか、ということ把握するために、数人の教員が、自身の専門の研

究をオムニバスで紹介した。その上で、「アイデアコンテスト」で企画した製品に対し、担当教員の専門分野に関する技術はどの部分で取り入れることができるか、グループで検討する内容とした。専門科目の学びや、自分の興味のある分野、4年次の卒業研究、そして、その先にある就職と、長期的な学びのロードマップを意識し、学生自身の学問に対する興味を繋げるようにすることも目的である。

2.2 アイデアコンテストの実施結果

各グループが企画したモノは多岐にわたり、エアコン、洗濯機、スカウターなどであった。技術については20年後程の将来技術とは言い難い内容であるが、将来技術を提案するまでのプロセスにおいて、各自、積極的にスマートフォンや図書館などを利用して関連するサイトや書籍を調べることで現状技術の動向、長所、短所などを調査していた。それを踏まえて、グループ内で議論をし、20年後の技術の「あるべき姿」を検討していた。従って、モノづくりの基礎として重要な、現状把握と調査、そして、初年次教育で重要であるグループワークがしっかりと行われていた。グループワークは実質1月半の期間が与えられているが、その間も宿題という形で各自およびグループで調査や議論を進めるようにしたため、学外におけるグループメンバーとのコミュニケーション活性化や、調査学習が実施されていた。グループワークによる議論の様子をFig.2に示す。プレゼンテーションでは、全員が発表グループを評価するルールとしていたため、先述の教育改革のポイントである、「主体的に考える力、意見を交換し、お互いを理解し合う力、発表する力の向上」がなされたものと考えられる。



Fig.2 グループワークの様子

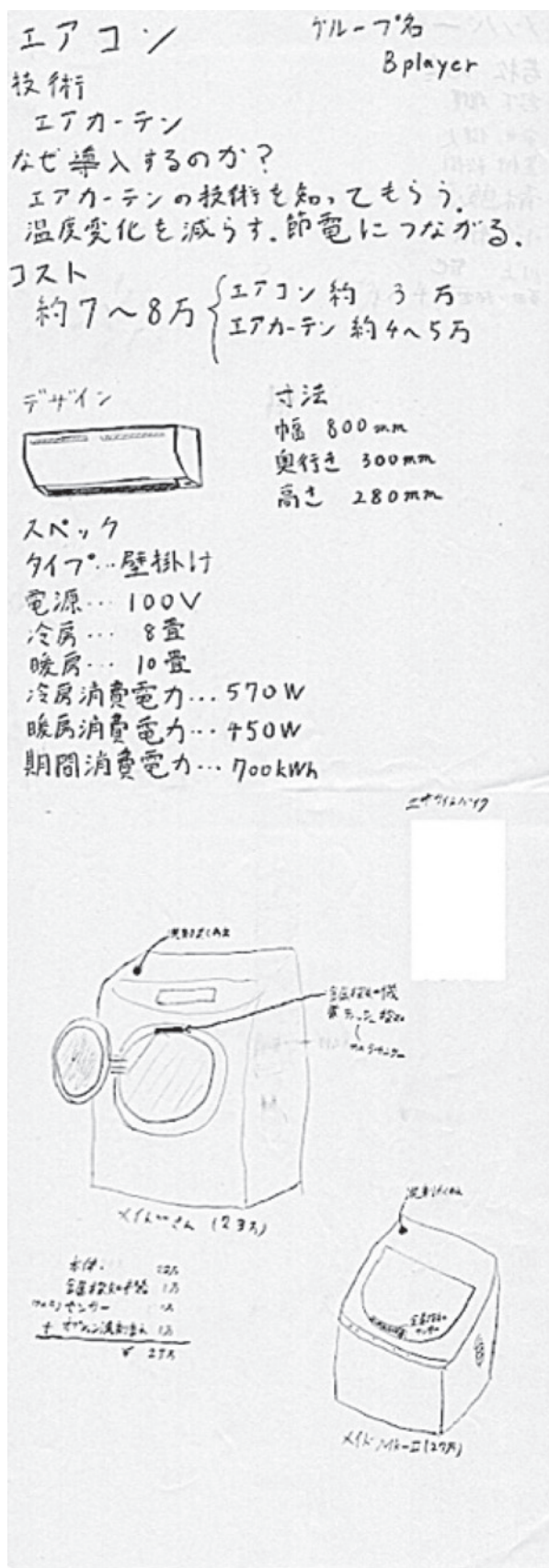


Fig.3 グループが作成した企画書の一部

Fig.3 に、全体7つのグループのうち、2つのグループについて、作成した企画書を示す。Fig.3 上は「エア

カーテン搭載のエアコン」、Fig.3 下は「洋服の中に小銭などを入れ忘れた場合でも小銭だけ選別して洗ってくれる洗濯機」である。技術的な可否や新規性について問題点はあるものの、既存技術を調べた上で、グループディスカッションによって検討した結果が反映されている。「アイディアコンテスト」実施前は現状の技術に対して無知な状態であったが、グループワークにおける調査や議論を通して、技術に対する感心の向上や、現状の技術に対する知見拡大などの効果が見られた。

3. 「修学形成2」の「役に立たないモノづくりコンテスト」について

モノづくりの本質は、「新しい使用価値を生み、暮らしに役立つ」という点にある^[6]。そして、役に立つものを作ろうとするならば、必然的に、コストが高くなる。必ずしも「コストが高いモノ」と「役に立つモノ」は必要十分条件の関係にあるとは限らないが、コストを掛ければその分だけ機能の充実も図ることができる。役に立つモノとなる可能性が高くなる。しかし、学生のモノづくり活動において、コストを掛けることは、制作費の観点で、学生に負担を強いる可能性が高い。そのため、「役に立つモノ」を課題としたモノづくりは、低コストという制約条件下においては、完成作品も「それなり」のレベルに留まる可能性があり、学生の創意工夫が十分に反映しきれない可能性がある。そこで、筆者らは、敢えて「役に立たないモノづくり」を学生に行わせることで、低コストであるが創意工夫を取り入れたモノづくりを経験させるに至った。

更に、モノづくりを行った後のことも検討する必要がある。折角製作・開発したモノをユーザである「お客様」に買って頂くためには、商品力および技術力を訴求する必要がある。営業職であれば直接の訴求対象がお客様であり、技術職であればそれが上司や役員となるであろう。何れにせよ、「モノを作ったら終わり」ではなく、商品および技術を売るための訴求力も身に付ける必要がある。

3.1 「役に立たないモノづくりコンテスト」の概要

「役に立たないモノづくり」を学生に行わせるための題材として、早稲田大学 創造理工学部 建築学科の学部1年生向け授業「設計演習A」で実施されている「役に立たない機械」コンテストの内容を取り入れた。この内容を一部改良し、本学の「修学形成2」に導入した。

「設計演習 A」における課題は次のものである。

役に立たないモノ（装置、機構、組み合わせ）を作ってください。何かの役には立っていそうなのだが、それが何かは決して分からない機械です。簡便に持ち運べるサイズのもの、持ち運び可能なものにして下さい。プロダクトとして販売できるようなシンプルさ&完成度も期待しています。

「修学形成 2」における「役に立たないモノづくりコンテスト」の課題も上記「設計演習 A」の課題を踏襲しているが、次の内容を追加している。

但し、制作費は全て自費です。役に立たないモノを作るにはお金をかければ良いわけではないので、創意工夫が求められます。

ここで、「役に立たないモノづくりコンテスト」の主旨としては、低コストで如何に創意工夫をするか、ということと、この「低コストの創意工夫」をモノづくりに反映させるという点において、「設計演習 A」と主旨が異なることを強調したい。更に、「修学形成 2」では、作品展示の前に、内容を短く紹介する形式の「ショットガンプレゼンテーション」を 1 分間実施し、自らの作品がいかに役に立たないかということと、工夫点を端的に説明させた。これは、将来の就職活動に備えて、自身の取り組みを限られた時間内で簡潔に説明できるようにするための練習を兼ねている。「ショットガンプレゼンテーション」の実施イメージとしては、エンジニアが、自らが開発した商品をアピールし、売り込むことのシミュレーションである。加えて、評価については、学生同士で相互に採点させる形式とした。

品評会については、クラス毎に作品を展示し、もう片方のクラスの学生が現物を見ると共に製作者から説明を受けながら採点する方式とした。評価は 1 点を「最も悪い」、5 点を「最も良い」とし、1 点刻みで採点させ、「役に立たないこと」「プロダクトとして販売できるシンプルさ」「完成度が高いこと」等を総合的に評価することとした。なお、担当教員（2 名）については、2 クラス両方の作品を全て評価すると共に、それぞれの作品について、25 点満点（学生の持ち点の 5 倍）で評価した。学生全員の得点と教員 2 名の得点を合計し、100 点満点に圧縮した上で、上位 3 名の作品を優秀作品として評価した。

展示と評価については、1 クラスにつき展示および評



Fig.4 発表の様子

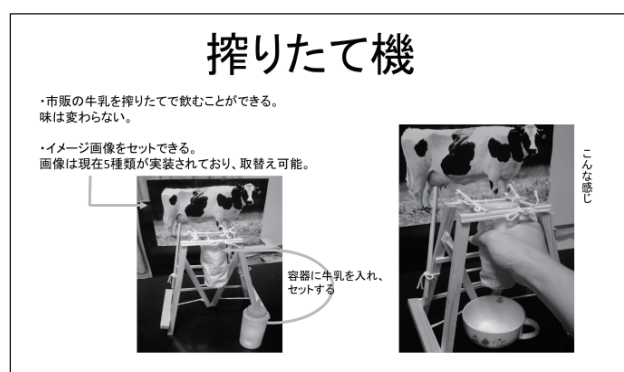


Fig.5 優秀作品（搾りたて機）

価の時間を 20 分間とし、20 分後展示側と評価側を入れ替え再度実施した。従って、2 クラスで展示および評価に 40 分を充てた。

当日の発表の様子を Fig.4 に示す。学生はそれぞれ登壇し、制作物を手に持ちながらプレゼンテーションを行った。

3.2 「役に立たないモノづくりコンテスト」の実施結果

次の上位 3 作品が優秀作品として選ばれた。

<第 1 位：搾りたて機 (91 点) > (Fig.5)

- ・市販の牛乳を搾りたてで飲むことができる。味は変わらない。
- ・イメージ画像をセットできる。画像は現在 5 種類が実装されており、取替え可能。

<第 2 位：コンパクト小物入れ (82 点) > (Fig.6)

- ・底面を内側に折り込むことで折りたたむことができる。そのため、使わない時にはしまっておける。
- ・が、しかし、折りたたみ可能になったため底面がパ

- カパカ。すぐ底が抜ける。
- 持ち上げたら最後、大惨事。

<第3位：蠟燭(78点)> (Fig.7)

- 明かりをつけるための蠟燭ですが火をつける所がありません。
- 色によって異なった香りがする。

これまでの本学における授業におけるプレゼンテーションでは、いわば従来型のように、10分や15分などの時間内でプレゼンテーションを行う形が多かった。しかし、いわゆる「良いプレゼンテーション」と言われる一つの要素と言われる、「簡潔にまとめて発表する」能力^[7]は、なかなか身に付けることができない。特に、就職活動における自己PRの場面などを想定すると、「簡潔にまとめて発表する」能力を早めに身に付けておく必要がある。そのために、「ショットガンプレゼンテーション」は、短い時間の中で、起承転結を盛り込む必要があるのも、良い訓練となるものと考えられる。なお、「修学形成2」実施後の学生への調査では、「時間が短いのでまとめるのに苦労した」「長く話すよりも短い時間で喋ることを纏める方が大変だった」という感想などが聞かれた。

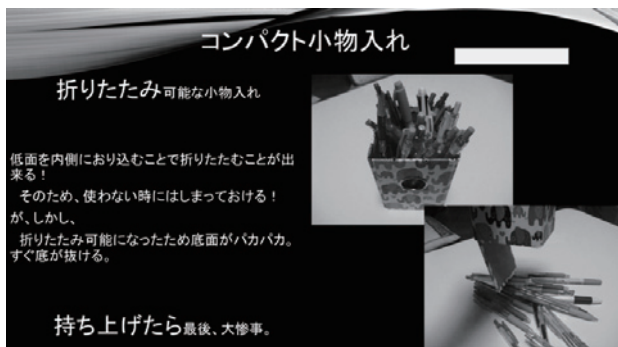


Fig.6 優秀作品（コンパクト小物入れ）

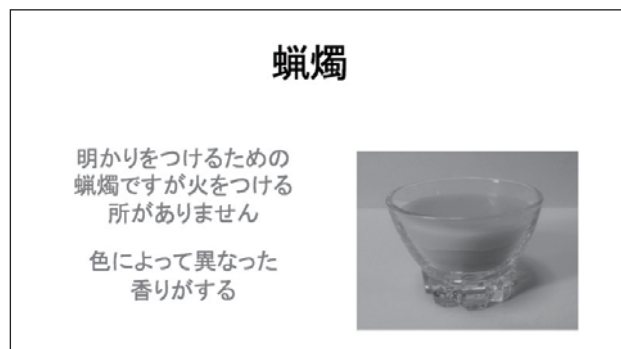


Fig.7 優秀作品（蠟燭）

4 まとめ

本論では「修学形成1」および「修学形成2」におけるエンジニアリング基礎教育の取り組みとして、「修学形成1」では「アイディアコンテスト」を、「修学形成2」では「役に立たないモノづくりコンテスト」を実施した事例について報告した。筆者らは3年次の「修学形成3」において、「知的書評合戦」と呼ばれるビブリオバトルも導入し、1年次から3年次の一貫したエンジニアリング教育およびキャリア教育を構築してきた。ビブリオバトル導入の成果については別途報告したいと考えているが、「修学形成1」「修学形成2」ではエンジニアとしての素養を高めることを目的とし、「修学形成3」では自己アピールを主体として就職活動に向けた取り組みとして検討してきた。これらの取り組みを一貫して体験することで、エンジニアとして就職活動を進めるための力を身に付けることができると共に、「AUT教育」を十分に身に着けた学生を社会に送り出すことができるものと考えている。

付 記

本論文は参考文献^[8,9]を基に、加筆修正および再構成したものである。

参考文献

- [1] 公益社団法人東三河地域研究センター，平成24年度三河地域物流効率化調査，http://www.hrrc.jp/pdf/04/h24/itaku_02.pdf（最終アクセス日：2016年5月4日）
- [2] 杉浦伸明，高橋義則，安田孝志：教育改革への取組，愛知工科大学紀要，第13巻，pp.53-56(2016)
- [3] 大迫尚行，授業評価アンケートに関する一考察－満足度との観点から－，愛知工科大学紀要，第8巻，pp.115-120(2011)
- [4] 大正大学 人間科学科，基礎技法A-2 商品開発発表会 part1，http://www.tais.ac.jp/faculty/department/human_sciences/blog/20150211/23983/（最終アクセス日：2016年5月4日）
- [5] 東京農業大学短期大学部，東京農業大学短期大学部の教育GP，http://www.nodai.ac.jp/gp/kyoiku_jr/summary/plan.html（最終アクセス日：2016年5月4日）
- [6] 小関智弘：中学生に伝えたいものづくりの心，教室の窓 中学校技術・家庭，Vol.5，pp.2-3(2005)
- [7] Kathryn Dill：プレゼンを成功させるための7つの法則，<http://forbesjapan.com/articles/detail/5477>（最終アクセス日：2017年3月17日）
- [8] 荒川俊也，井藤良温：企業内新人教育プログラムを導入した初年次教育の試み，工学教育，Vol.64，No.4，pp.77-82(2016)
- [9] 荒川俊也，井藤良温：「修学形成2」における「役に立たないモノづくりコンテスト」の実践，工学教育 (accepted).

研究ノート

自動走行機能を搭載した SLAM 型案内ロボットの実践的モノづくり教育

大西正敏^{*1}, 藁谷明史^{*2}, 田宮 直^{*1}

(2017年9月30日受理)

A Practical Engineering Education by Autonomous Guiding Robot with SLAM

Masatoshi Onishi^{*1}, Akashi Waraya^{*2} and Naoshi Tamiya^{*1}

(Received September 30, 2017)

Abstract

Recently many kind of robots based on autonomous technology is getting more popular in the world. Especially autonomous robot technology with SLAM (the simultaneous localization and mapping) is important technology for automatic driving vehicle toward the high-level capability of mobile robot exploration. This paper describes the introduction of practical educational approach through engineering design of campus guiding robot using autonomous driving technology with SLAM.

キーワード: SLAM, ROS, 案内ロボット, 自動走行車

Keywords: SLAM, ROS, guiding robot, autonomous vehicle

1. はじめに

近年, 移動走行ロボットにおける様々な要素技術の進歩はめざましい進歩をとげて来ている. その中でも物体を認識しながら自律走行を行うロボットの研究は幅広い分野で注目をされており, その基本技術に自動地図生成により自己位置推定を行う SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 技術⁽¹⁾⁻⁽³⁾が多く用いられるようになった. この技術は, 物体認識センサにより周囲の境界状況の軌跡を連続的に累積することにより地図を生成するもので, 走行ロボットに搭載することにより, 目的地への自律制御走行が可能となった. 現在, 実用化しつつある車の自動運転にもこの技術が使われ, 益々適用が拡大されると考えられる.

一方, 最近のコンピュータ速度の高速化に伴い, 汎用的なコンピュータを用いた小型移動ロボットにおいても容易に実装できる段階にきている. このことから, 学生が使用しているパソコンやマイコンにおいても SLAM 技術を用いた走行ロボットの実現は可能となり, 大学で

の工業教育に適用することにより, 実践的なモノづくり教育につなげられる可能性がある.

本論では, 実践的なモノづくり教育の一環として, SLAM による自動走行技術を著者らが卒業研究で開発してきた案内ロボットに適用した事例をもとに, 実践的工業教育の観点からロボット設計の有用性を検討した結果について報告する.

2. 実践的教育としてのロボット設計

本学における工業教育においては, 実践的モノづくり教育を大きな柱として取り組んでおり, 総合的な工学を学べるロボット技術を用いた教育は極めて有効である. 著者らは, 過去3年間の卒業研究^{(4),(5)}の中で実践的モノづくり教育として案内ロボットを研究してきたが, 学生がモノづくりの設計から実用を目指した製作までを一貫して経験することにより大きな教育効果が得られている.

*1 愛知工科大学工学部電子制御・ロボット工学科 〒4443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-
Department of electronics control and robot engineering, Aichi University of Technology, 50-2, Manori, Nishihazama-Cho, Gamagori, Aichi
443-0047 Japans、

*2 三五株式会社 〒470-0294 愛知県みよし市福田町宮下 1 番地 1 SANGO Co., Ltd.1-1 Miyashita, Fukuta-cho, Miyoshi-shi, Aichi-
ken, Japan 470-0294

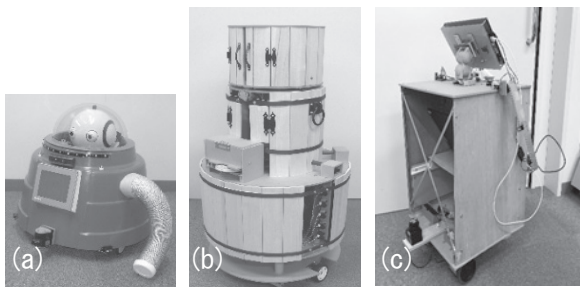


Fig.1 実践的教育で製作してきた案内ロボット

Fig.1 に本研究で設計製作してきた案内ロボットの外観を示す。これらのロボット設計の初期段階においては、学生の創意工夫を十分に取入れられるように、要求条件に適うように各部の構造、機構等のアイデアを基本設計としてスケッチ図を多く描かせ設計対象の明確化を図り、その後 CAD により 詳細設計を行い、工作機械等で製作を行った。また、メカトロニクスをはじめとする電気電子制御系の設計も並行して実施し、講義等での技術知識の習得と連携させながら一貫した教育工程が経験できるようにすることが工業教育として重要であるといえる。さらに、評価試験により、問題点の抽出、改善案の創出を行い、再度設計に反映し改善設計を繰り返す PDCA 型の設計手法を用い、教育的効果高める工夫も重要である。案内ロボットにおける全体の設計手法の流れと PDCA 設計手法の関係を Fig.2 に示す。また、CAD による詳細設計をもとに車輪、構造体、回路基板等の製作時に使用した CAM 装置ならびに 3D プリンタ装置を Fig.3 に示す。

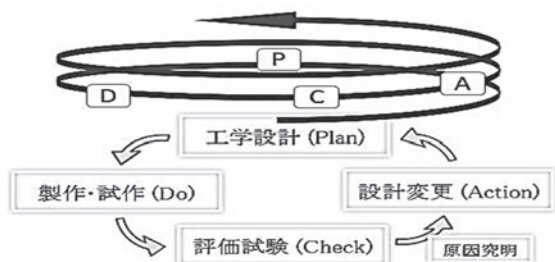


Fig.2 設計手法の流れと PDCA 設計手法の関係



Fig.3 CAM 装置 (左) と 3D プリンタ装置 (右)

著者らは、実社会での工業製品での実践的工業設計に必要とされる技術的要素として、構造設計 (Modeling Creation), 実践的課題へのトレーニング (Practical Training), メカトロニクス技術の習得 (Mechatronics interface) を大きな柱として取り組むことが工学教育として重要と考え進めた。Fig.4 に本検討で行った実践的な工学設計を修得させるための総合的な設計手法の体系を示す。

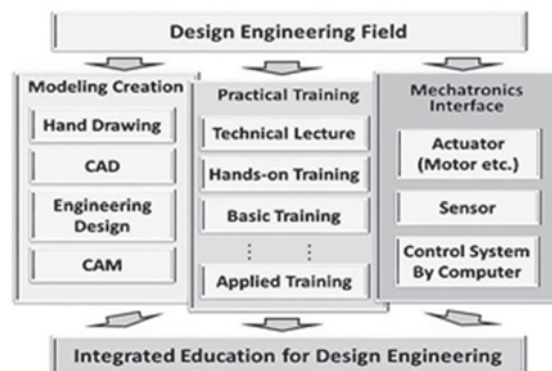


Fig.4 実践的工業教育の体制図

3. 自動走行案内ロボットの実践的設計

本検討に用いた案内ロボットには案内経路の自動地図生成や自己位置推定ならびに自動運転走行を行わせるためのセンサとして、前方物体検知用にレーザーレンジセンサ (LRF) と走行距離検知用のエンコード付モータを搭載したものとし、ROS(Robot Operation System)を用いた SLAM による自動走行のソフトウェアを用いた。SLAM によるナビゲーションソフトウェアとして、MIT でのロボット教育で実績のある「SH-Spur」⁽⁶⁾ をベースに筑波大学にて案内ロボット「山彦」⁽⁷⁾ に適用した「YP-Spur」⁽⁸⁾ を用いた。この SLAM 類は Linux ベースのもので、リアルタイムにロボットが地図生成を行い、障害物回避をしながら目的地あるいは対象物まで自律移動走行の制御が可能である。Fig.5 に案内ロボットでの地図生成から自律走行までの自律走行制御に関わる全体のフローを示す。また、Fig.6 に案内ロボット内の走行制御構成を示す。

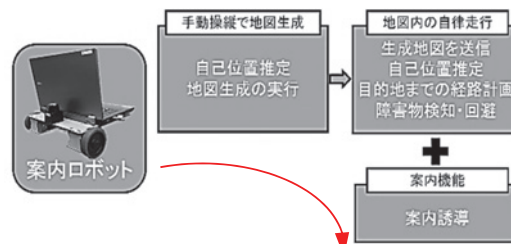


Fig.5 案内ロボットの走行制御に関わるフロー

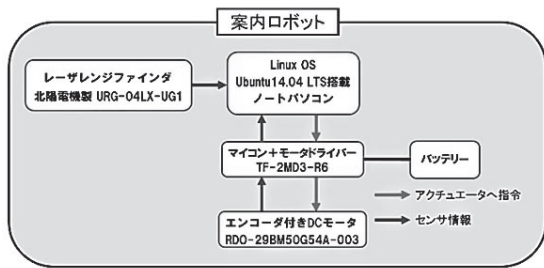


Fig.6 案内ロボットの走行制御構成

4. 自動地図生成と自動走行制御

実用面を考慮し、案内ロボットの移動エリアの地図情報をロボット自ら生成し、その地図情報をもとに自律的に案内するロボットを設計するにあたり、オープンソフトウェアのROSとSLAMパッケージソフトウェアならびにナビゲーション用のYP-SpurをロボットのPCに組み込み、繰り返しの走行試験により最適条件を見出す手法で調整を図った。SLAMパッケージの構成としては、自己位置推定をもとに地図生成を行う構成とし、Fig.7に構成図を示す。また、生成された地図をもとに障害物の回避機能を備えながら目的地への自律走行をさせるナビゲーションパッケージの構成をFig.8に示す。

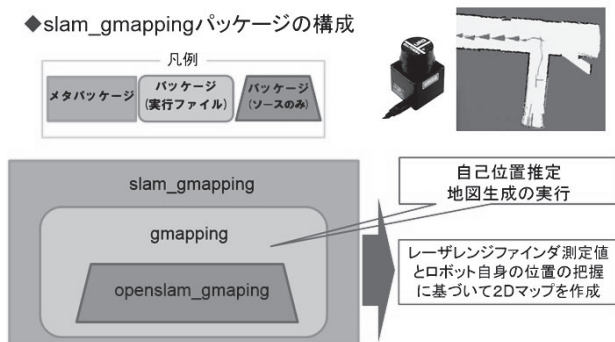


Fig.7 SLAMパッケージの構成図

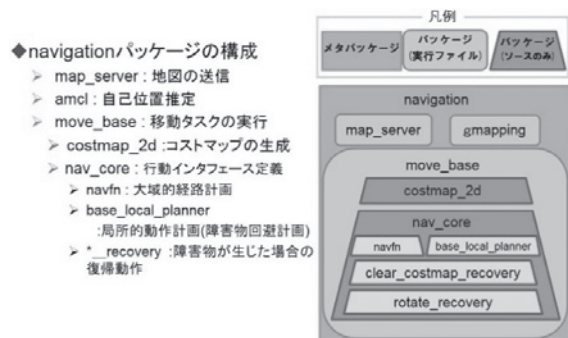


Fig.8 ナビゲーションパッケージの構成図

ナビゲーションパッケージには、距離センサからの障害物や壁の情報を取り込みながら、自己位置推定と生成地図との照合を行うが、距離センサとしてレーザレンジファインダURGを使用した時のプログラムの流れをFig.9に示す。

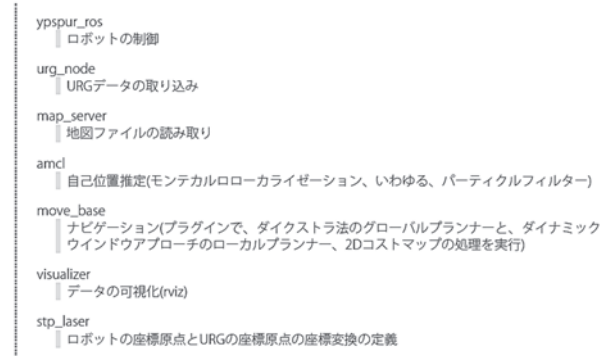


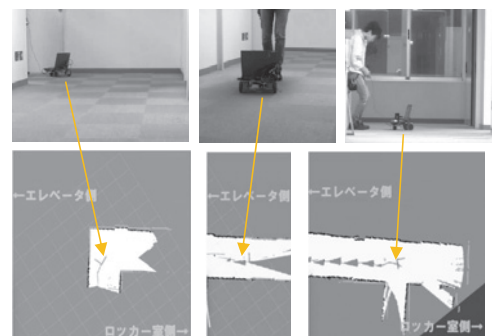
Fig.9 LRFによる自己位置推定の流れ

5. 設計した案内ロボットの検証

実践的教育手法により製作した案内ロボットを検証するため、第一段階として、大学構内の廊下において評価試験を実施し、実用面への問題点の洗い出しを行い、第二段階として、実際の展示館内での評価試験を実施し、実践面での要求仕様を満足できるか試験を実施した。

5.1 大学構内の廊下での評価試験

大学構内の廊下において、エレベータ出口から目的の研究室への案内（往路）を案内ロボットで評価を行った。Fig.10に廊下での走行時での地図生成の様子を示す。エ



(a) 廊下の地図を順次生成していく過程



(b) 廊下全体の生成地図

Fig.10 大学構内・廊下での評価試験（地図生成）

レベータ出口から廊下奥の端までの地図を走行しながら順次生成し、壁やドアの形状まで正確に地図生成ができ、生成された地図情報から所定の目的地を画面上で指定することにより、人や障害物も回避して走行し案内できることを検証できた。

5.2 学外の展示館内での評価試験

大学構内での評価試験をもとに、一般的な展示館での案内を想定した走行評価試験を実施した。評価に使用した展示館は、現在のところ、順路を人により案内している実際の企業の展示館を借用して行った。使用した展示館は、3つの形状が異なったゾーンに分かれており、個々のゾーン間は自動ドアによりつながっているレイアウトになっている。Fig.11に展示館全体のレイアウト図を示す。

ゾーン1では、部屋の中央部に四角い展示物が中央に設置されており、障害物と認識できたが、床材が滑りやすかったことから案内ロボットの車輪の軌跡に誤差が生じることは分かった。Fig.12にゾーン1での生成地図を示す。

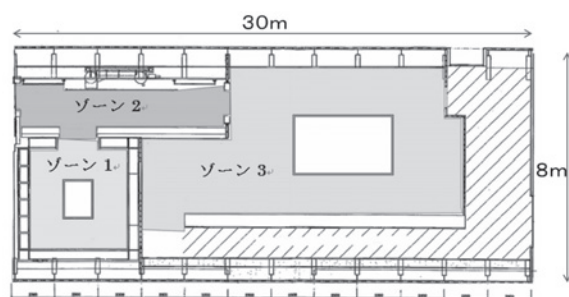


Fig.11 展示館全体のレイアウト

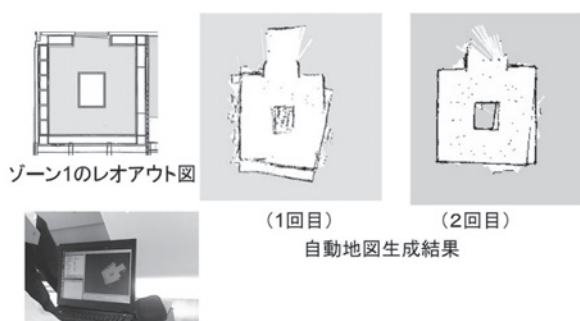


Fig.12 ゾーン1での生成地図結果

ゾーン2では廊下の壁がガラス張りの部分もあったことからガラス面の透過の影響が多少生じた。Fig.13にゾーン2での生成地図を示す。

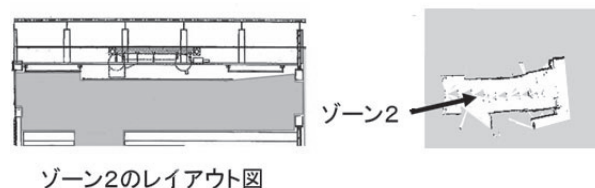


Fig.13 ゾーン2での生成地図結果

ゾーン3は最も広いエリアであり、中央部に四角い展示物が中央に設置してあり、障害物と認識できたが、多少の生成地図にゆがみが生じたが案内ロボットの走行には支障はなかった。Fig.14にゾーン3での生成地図を示す。また、Fig.15にゾーン2とゾーン3での案内ロボットの走行の様子を示す。

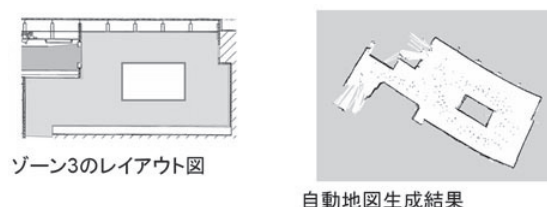


Fig.14 ゾーン3での生成地図結果



Fig.15 ゾーン2（左）とゾーン3（右）での自律走行の様子

6. まとめ

本研究では実践的モノづくり教育を構築する手法として、自律型ロボットの要素技術と工学設計の習得を柱に、PDCAサイクルにより実用化に向けた設計手法を身に付けることにより、実践的な工業教育に反映でき、これらの総合的な設計教育が極めて効果的であることを案内ロボットの設計製作の一例から示した。今後、インダストリー4.0やIoTの動向が進むことから、実践的な工業教育に今回紹介した自律型案内ロボットの設計工学手法が益々重要となってくるものと思われる。Fig.16に示すように、工学設計の総合的な実践教育の確立に向け、ロボットの工学設計をとおした実践教育は、本研究で扱った案内ロボットのように総合的な工学技術を網羅した実践的な設計工学の進め方により指針を示すことができた。

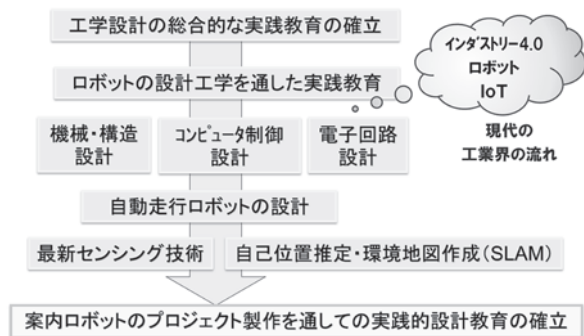


Fig.16 ロボット設計工学を用いた実践的モノづくり教育の確立の流れ

謝 辞

本報告における活動において、展示館での案内ロボットの走行評価試験に際しては、株式会社三五様の展示館（マフラーミュージアム）を使用させて頂きましたことをこの場を借りて感謝の意を表したい。

参考文献

- (1) 原祥亮：ROS を用いた自律走行，日本ロボット学会誌，35(4)，pp.286-290 (2017.05)
- (2) 高島慧也，田尻智紀，山岸敏之：レーザレンジファインダを用いたガイドレスな AGV の開発に関する研究，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017，2P2-C05 (2017)
- (3) 原祥亮：SLAM とは何か，日経ロボティクス (24)，pp.33-35 (2017.07)
- (4) 藁谷明史，田宮直，大西正敏：SLAM を用いた 自律走行案内ロボットの研究，日本設計工学会東海支部平成 27 年度研究発表講演会論文集，pp.42-43 (2017.03)
- (5) 大西正敏，田宮直，河面宅実，小型自律ロボットの製作を通じた実践的設計教育，日本設計工学会平成 26 年度春季研究発表講演会論文集，pp.45-46 (2015.03)
- (6) SH-Spur, <https://github.com/openspur/yp-spur/sh-spur/>, (2017.09)
- (7) 飯田重喜，油田信一：車輪型移動ロボットのための走行制御コマンド系と軌跡制御方式，第 1 回日本ロボット学会ロボットシンポジウム，pp.85-90 (1991)
- (8) YP-Spur, <https://github.com/openspur/yp-spur/blob/master/doc/README.md> (2017.09)

研究ノート

Engineering Design using Autonomous Robots for Student Education (Practical Engineering Education with PDCA)

Naoshi Tamiya * and Masatoshi Onishi *

(Received September 30, 2017)

Abstract

This paper described about a method of structural design using a small autonomous robot for student engineering educations. Engineering education which has R&D on practical evaluation and functional design of small robot produced by education activities and extra-curricular activities in University. We introduced some examples of effective method for engineering education using both the mechanical design and the electrical design. Our Robot designed by students had new architecture with many sensors including GPS electrical compass. As the results, student could achieve practical engineering knowledge and technology effectively through robot designing.

Keywords: Autonomous robot, Engineering design, Engineering education, Student education, CAD, PDCA

1. Introduction

Recently the importance of practical education for industrial engineer is being recognized in Japan and also in worldwide. Especially technical design process with practical skill and technology promote professional technical engineer in University of technology. **Fig.1** shows an outline of the practical education for industrial Engineer. We have been approaching many effective educational programs for students to acquire practical skills and knowledge. Among those, robot designing was the most effective education for engineering design.

This paper describes how engineering design using small autonomous robot^{[1]-[3]} is useful for practical designing abilities and furthermore, develop education process utilizing continuous spiraling up of PDCA.^{[4]-[6]}

2. Designing for Autonomous robot

2.1 Requirement of designing structure

Here, as a structural design method of a robot, we show how basic design structures are imaged satisfying various requirements and utilizing student's existing knowledge and expertise. **Table 1** shows the requirements needed to handle the Small Autonomous Exploration Robots^[3]. The

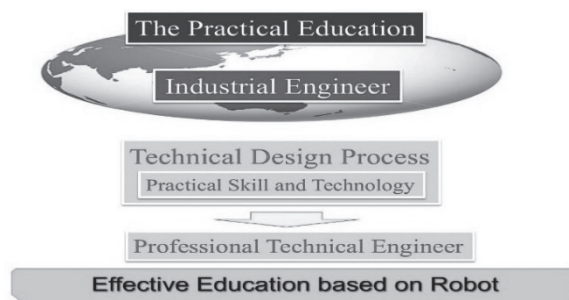


Fig.1 The practical education for industrial Engineer

targeted autonomous robot is assumed to be a small rocket to withstand the impact of a landing, with a weight of less than 1 kg. This requirement has been considered by ARLISS^[4], one of the demonstration test competitions aiming for future Mars exploration. For this reason, considering weight reduction of

Table 1 Requirements of Autonomous robot

Items	Requirement	Items	Requirement
Weight	1050g max	Navigation	GPS, Electric compass
Size	Φ 146mm x 240mm	Wheel drive	DC geared motor
Altitude	5000m max	Power	Rechargeable battery
Environment	Similar landform to Mars surface	Structure	CFRPbody, Sponge wheels

* Department of Electric Control & Robot Engineering, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, Hazamacyo, Gamagori, Aichi 443-0047, JAPAN

the motor drive system and the power supply unit with heavy weight factor and enhancing structural strength of the body were important factors of structural design.

Optimum structural design was made possible with the consideration of weight balance and durability. Prior to starting the concrete structural design, we sketched the entire apparatus to preliminary examine and understand whether it can cover the requirement conditions. After sketching, CAD system is used to design in 3D. By utilizing CAD, detailed designs that are difficult to check in sketch diagrams are inspected in the three-dimensional structures. These include but are not limited to part interference, installation of electric drive circuits and drive units. Furthermore, we repeatedly reviewed the design while considering the balance of the center of gravity of the whole, and reflected these changes to the robot design.

2.2 Designing method

As the first step of engineering design, the most important approach is the basic designing process based on sketch drawing by taking sufficient imaginative and original idea. Several experience of sketch drawings can be formed more better design idea. After basic design was performed by sketches, detail design can be decided by concrete dimensions and 3D image using CAD system. 3D CAD and CAE are useful for the checking of assembled parts and combination balance of weight, structure size, body strength, etc. Following detail design, prototype parts were manufactured using CAM and 3D printer. After assembling prototype, practical design process was produced through extraction of the problem and creation of the improvement from evaluation tests.

Fig.2 shows a basic design flow for prototype robots. Robot body was designed by “monocoque” structure of CFRP and two wheels were made using the urethane sponge for the impact absorber. The material of sponge wheels was selected by means of evaluation of the impact absorber at touchdown using acceleration sensor. **Fig.3** shows the evaluation experiment of the impact absorber of sponge wheel. Several kind of sponges for the robot wheel and we selected a suitable sponge which can be absorbed impact acceleration effectively.

2.3 Designing process using PDCA

PDCA cycle has been popular among engineering education as an effective method to design and is highly

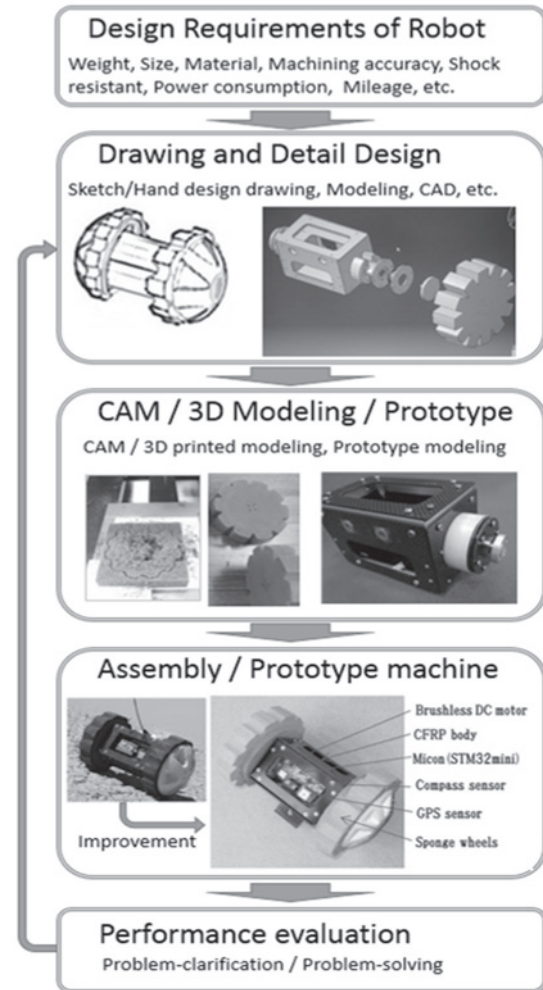


Fig.2 Basic design flow for prototype robots

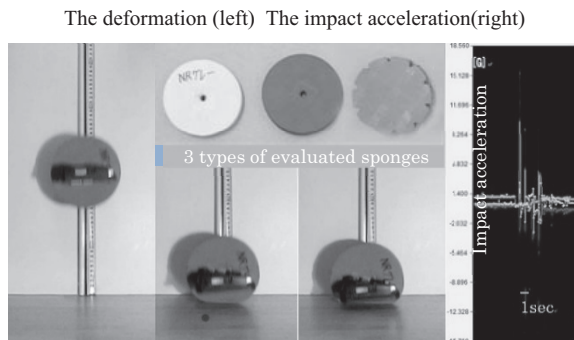


Fig.3 The evaluation experiment of sponge wheels

recommended for educational success. We have used PDCA cycle for development of robot through “Plan” of engineering design, “Do” of making model, “Check” of evaluation and “Action” of redesign

PDCA is performed repeatedly in order to develop more higher perfection and is utilized in this examination, can lead to the spiral-up effect in the design process. At 1st stage of

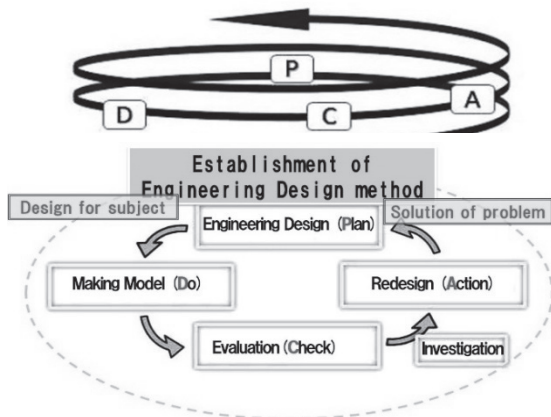


Fig.4 PDCA cycle of design flow

PDCA, P as “plan of engineering design” was produced in the process of structure designing by many creative sketches, D as “do for making model” was produced by making prototype robots, C as “check” was produced in the evaluation of basic performance and A as “action” was produced by redesigning process.

After 2nd stage of PDCA, P as engineering design was produced by CAD mainly and evaluated in more actual condition of requirement. Repeated redesign through the spiral-up of PDCA as mentioned above produced more realized design that can put to practical use steadily. Fig.4 shows PDCA cycle of design flow.

2.4 Total designing including electrical circuit board

In terms of electric circuit, we applied CAD system as well as structural designing. CAM machine produced the circuit board in order to carry out precise substrate processing enabling high-density mounting.

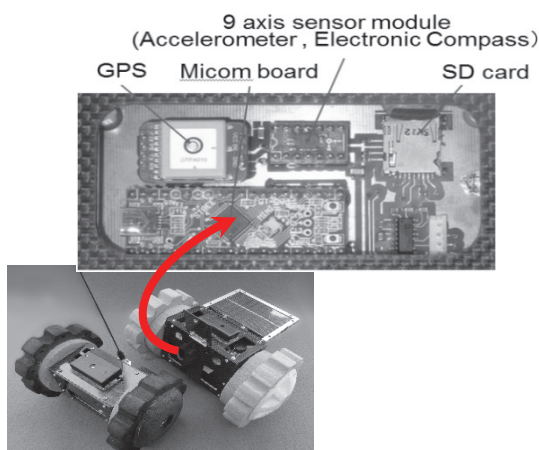


Fig.5 Design of electric circuit board

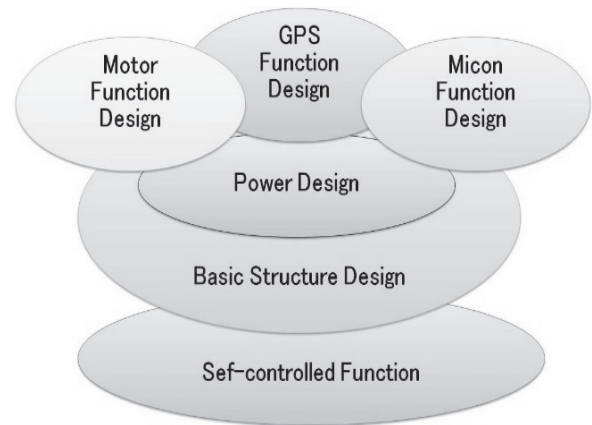


Fig.6 Design of configuration for electrical control

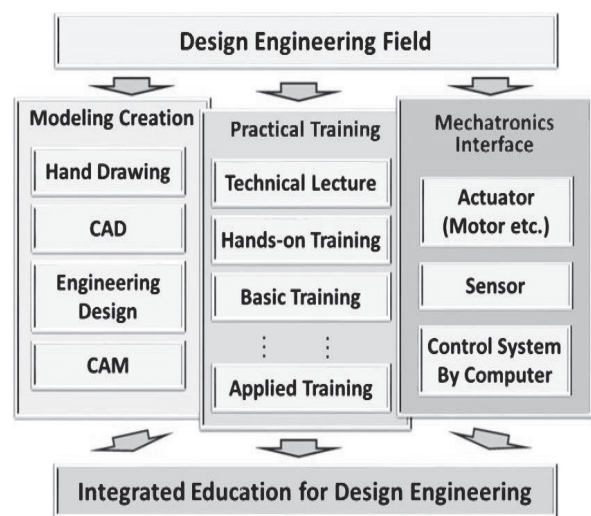


Fig.7 Integrated methodology for design engineering

Fig.6 shows the circuit board section. This equipment is the same as those used in the university classes offering students to use theory into practice and improving effective education.

In regards to the control circuit we have designed the electric and electronic system which program controls the wheel drive motor and various sensors (GPS sensor, gyro sensor, direction sensor, etc.) to make an autonomous robot. This configuration is shown in Fig.5.

By the parallel creating aforementioned mechanical structure and electric and electronic circuit through utilizing PDCA cycle, ultimately leads to forming a practical engineering design. Fig.7 shows this integrated methodology for acquiring practical engineering design which was carried out in this study.

2.5 Structural dynamics analysis by CAE

In conducting an empirical evaluation test of the final designed robot, we have used CAE's structural analysis

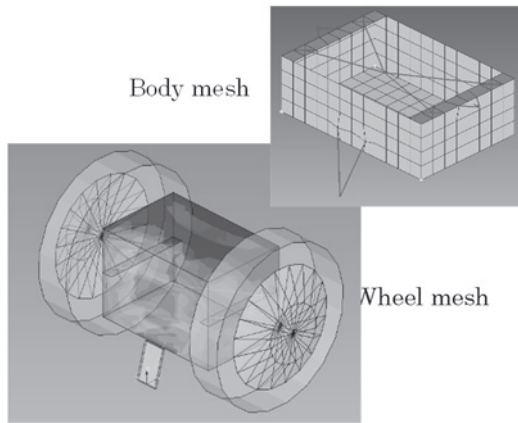


Fig.8 Mesh model for the autonomous robot

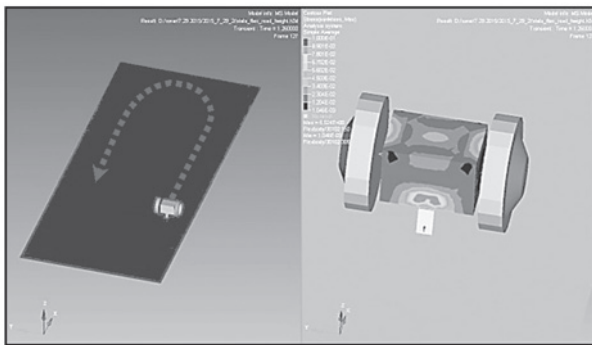


Fig.9 The internal stress distribution at running

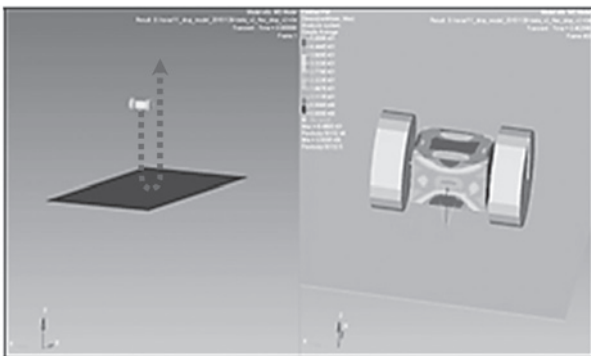


Fig.10 The internal stress distribution at landing

tool to understand whether or not the robot meets the requirements. We have evaluated the impact force received when launching a rocket, the impact when landing from the sky and the impact vibration from road surface during running. This tool is extremely useful for practical industrial education that is linked to CAD design. **Fig.8** shows an example of mesh model for the body of the autonomous robot.

The internal stress during moving of robot is not so easy to be able to analysis by theoretical calculation. We have used CAE's structural analysis tool (Motion solve^[8]). **Fig.9**

shows an example of the internal stress distribution while the autonomous robot runs and **Fig.10** shows an example of the internal stress distribution at the time the autonomous robot lands.

CAE is useful to understand complicated analysis as some internal stress in body structure especially. Student can recognize speedy through this CAE process and can take a feedback to more improved design. CAE is also useful real time body analysis even if robot is running. **Fig.11** and **Fig.12** show simulation analysis of body vibration while robot is running. It is important to decide suitable condition of constraint in CAE process. We considered elastic behavior in wheel and body.

3 Evaluation of design performance

3.1 Practical evaluation in ARLISS competition

In order to evaluate the success of the autonomous robot which was designed and manufactured in this research, evaluation test was carried out at the demonstration competition event of "ARLISS". The term of the convention is to separate a robot from about 4000 m above the ground using a small rocket and free descend by a parachute landing on the ground. The robot is then to autonomously travel to the exploration ground target. The purpose of this convention is to confirm whether autonomous traveling and investigation of the ground target could be carried out. **Fig.13** shows the outline of ARLISS.^[8]

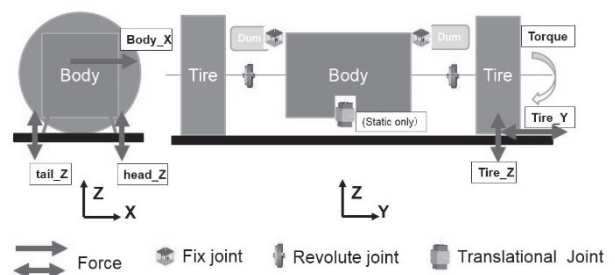


Fig. 11 CAE model of body vibration in running

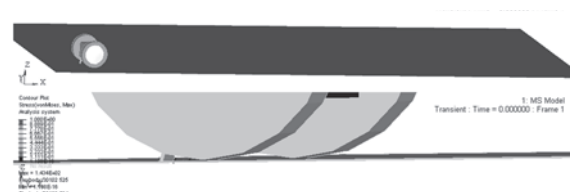


Fig.12 Wheel vibration analysis in running

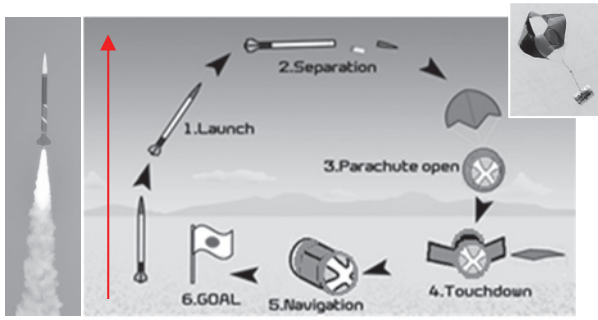


Fig.13 The outline of ARLISS

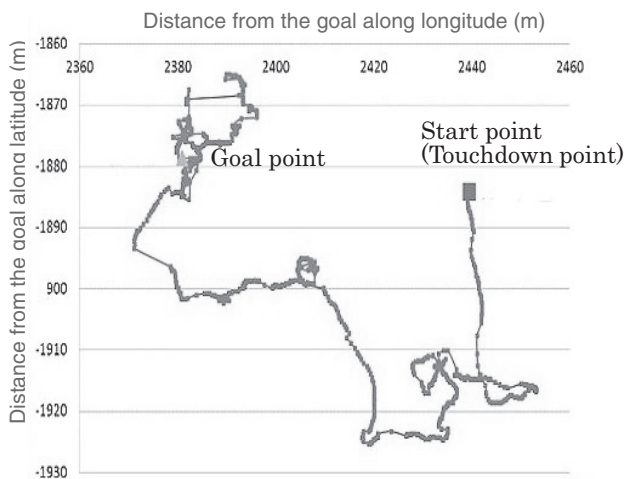


Fig.14 The result of running trace of robot

3.2 Evaluation test result

Evaluation test showed no abnormality in the mechanical structure at the time of landing and running since the launch of the rocket and confirmed the demonstration of the structural analysis result. In addition, Fig.14 shows the running trace chart calculated from the log data taken from the running control data of the microcomputer embedded into the autonomous robot.

Start point in the figure means the touchdown point of robot dropped from a rocket. From the running trace chart onto goal point in the figure, we understood that robot was running away searching own location point and seeking goal point at initial stage. After robot detected own location to the goal point, robot was reaching goal point gradually. From the running trace of robot, we could recognize the direction from the embedded GPS sensor and electronic direction sensor had successfully calculated the direction to the destination target controlling the motors of the left and right wheels, and also we could make sure to be leading autonomously towards

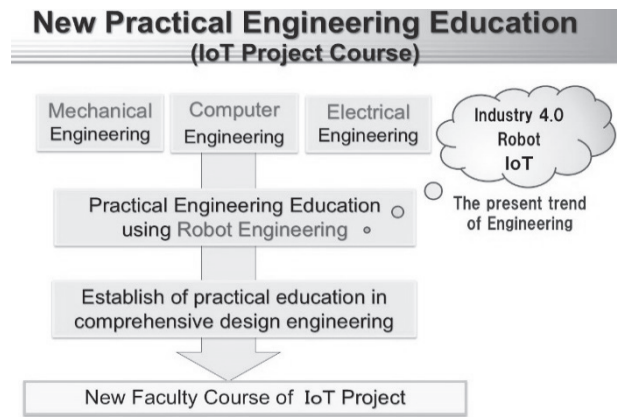


Fig.15 New practical engineering education

the goal point as target point. We were therefore able to confirm that the autonomous running control was successfully achieved.

4. Conclusions

Through the fabrication of a small autonomous robot, we demonstrated the usefulness of comprehensive technology design education method from both aspects of engineering method in structural design and electric circuit design in autonomous control design. Through this study, it is demonstrated that by implementation of PDCA into design is an extremely effective method to cultivate engineering technology education.

We are planning to start new project for student education with implementation of PDCA as mentioned into several engineering designs according to IoT (Internet of Thing) field. Fig.15 shows a diagram of new practical engineering education as IoT project course.

Acknowledgements

We gratefully acknowledge the collaboration and the support from STELA student members in Aichi University of Technology.

We would also like to thank Altair Engineering for the support on the multibody dynamics analysis.

References

- 1) M. Onishi, T. Komo and N. Tamiya, "Engineering Design using A Small Autonomous Robot for Student Education" The 4th International Conference on Design Engineering and Science 2017

- 2) M. Onishi, M. Nishio and N. Tamiya, "Development of Engineering Technology through the Design Education of Small Rover" 60th Conference on Space Science and Technology, 3B08, 2016
- 3) T. Komo, N. Tamiya and M. Onishi, "Practical evaluation and functional design of a small autonomous robot" , The Robotics and Mechatronics Conference of JSME, pp.134-135, 2016
- 4) R. Walker, "ESA Hands-on Space Education Project Activities for University Students: Attracting and Training the Next Generation of Engineers Space ", pp.14-16, 2010
- 5) Y. Saitoh, "The mechatronics education for linking between the robot contest and the next step of the contest" , The Robotics and Mechatronics Conference of JSME 1P2-R09, 2015
- 6) T. Kazama, "Practical Education for Engineering Students and Regional Citizens in Manufacturing and Engineering" , Proceeding of 2009 JSEE annual conference, pp.24-27, 2009
- 7) M. Onishi, "Industrial Engineering Design for Student Education using Autonomous Robots" , 2017 Japan Altair Technology Conference, Motion/MBO session No.3, <http://www.altairatc.com/EventPage.aspx?id=2966> (2017.7)
- 8) ARLISS, <http://www.unisec.jp/history/arliss.html>, (2017.9)

研究ノート

講義・実験融合型授業による実践的技術者教育の取り組み

館山武史*

(2017年9月30日受理)

Practical Engineering Education through Lectures and Experiments

Takeshi Tateyama*

(Received September 30, 2017)

Abstract

Recently, new technologies related to robots, IoT and artificial intelligence have increased in importance. As a result, it is imperative to train talented engineers and experts. The authors propose practical engineering education through lectures and experiments using sensors, actuators, microcomputers and robots. The purpose of this effort is to develop students' practical engineering abilities. We have brought the educational approach to two lectures, "Mechatronics" and "Mechanical design for robots". This paper shows two examples and discusses the results of this effort.

キーワード: メカトロニクス, 技術者教育, 実験実習, センサ, アクチュエータ, コンピュータ, 制御工学

Keywords: Mechatronics, Engineering education, Experiments, Sensors, Actuators, Computers, Control engineering

1. はじめに

近年, ロボットやIoT(Internet of Things)技術が注目され, 産業システムへの適用・実用化が急速に進んでいる. 我が国では, 「ロボットによる新たな産業革命」の実現を目標として平成26年から「ロボット革命実現会議」が開催され, 経済産業省よりそれらの議論内容をまとめた「ロボット新戦略」が発表された[1]. また, 科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業(新技術シーズ創出)の平成28年度の戦略目標として, 「AIPプロジェクト(人工知能/ビッグデータ/IoT/サイバーセキュリティ統合プロジェクト)」が掲げられている[2]. このような国の戦略背景に伴い, 我が国ではロボット, IoT, 人工知能などの工学分野における優秀な技術者の養成が急務となっている. このような背景から, 大学をはじめとした教育機関において, 工学等の知識を産業界の実問題に適切に応用できる, 産業界が求める技術者を養成する教育の必要性が高まってきている.

そこで著者らは, 大学における講義において, 受講学生に座学で学んだ工学的基礎知識をベースとして, 産業界で活躍できる実践的能力を身につけさせることを目

標として, 講義・実験融合型授業の実施に取り組んでいる. 本講では, 近年特に注目度が高まっているIoT技術に関連が深い, センサ, アクチュエータ, コンピュータ, 制御などについて学ぶ「メカトロニクス」と, 移動ロボット, ロボットアーム, 歩行ロボットの設計技術について学ぶ「ロボット機械設計」の2講義に実験実習を導入した例を紹介し, 講義の実施効果などについて考察を行う.

2. 講義「メカトロニクス」への 実験実習導入例

大学や高専で使用されるメカトロニクス関連の教科書は(例えば文献[3][4][5]), 主に機械要素, センサ, アクチュエータ, コンピュータの基礎を学ぶ構成となっている. 愛知工科大学工学部電子制御・ロボット工学科では, 「メカトロニクス」は2013年度の時点では3年次半期15コマの講義であり, センサ, アクチュエータ, コ

* 愛知工大工学部電子制御・ロボット工学科, 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗50-2

* Department of electronic control and robot engineering, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, Nishihama-cho, Gamagori, 443-0047 Japan

コンピュータの仕組みと動作原理を座学で学ぶ構成としていた。しかしながら、座学講義のみでの学習では、メカトロニクス要素を用いて実際にものづくりを行う「実践力」を学生が身につけることは困難であり、また学生の授業アンケート結果から、学生の学習意欲や満足度が低いことが浮き彫りとなった。そこで学生の実践力の向上と意欲喚起を目標として、2014年度から本講義に実験実習を取り入れることとした。また、2015年度から本講義は半期30コマの「メカトロニクス・同演習」となり、さらに実験実習を充実させた。本章では、本講義の内容について解説する。

2.1 講義の構成

本講義では、センサ、アクチュエータ、コンピュータ、制御工学の基礎について、座学と実験実習を通して学ぶ。実験実習では、センサやアクチュエータをマイクロコンピュータに接続して動作確認を行う。そのため、講義の構成は、初回にメカトロニクスの概要を説明した後、(1) コンピュータ、(2) センサ、(3) アクチュエータ、(4) 制御工学、という順番で進めていくこととした。

2.2 コンピュータに関する講義

ここでは、まず座学にてコンピュータの信号(2, 16進数, 補数等), 論理回路, 論理代数, コンピュータの構成とインタフェース等について学ぶ。これらについては学生は講義「マイクロコンピュータ」で学習済みであるため、本講義では復習という位置づけとなる。そして座学終了後、マイクロコンピュータを用いた実験実習により、コンピュータの入出力、デジタル信号とアナログ信号の実際と、プログラム作成による動作確認を体験する。マイコンには、安価であり回路作製およびプログラミングが比較的容易である Arduino Uno を導入した。実験は、LED とタクトスイッチを用いたデジタル入出力 [6], アナログ入力による乾電池電圧測定、クイズ対戦用早押しボタン回路/プログラムの作成、と基本的回路の作製からプログラミングの応用までカバーする内容となっている。

2.3 センサに関する講義

ここでの座学では、センサの分類、信号形式(デジタル/アナログ)について学んだ後、ポテンショメータ、ロータリーエンコーダ、速度センサ、ひずみゲージ、温度センサ(サーミスタ、熱電対等)、光センサ(CdS セル、ホトダイオード、ホトトランジスタ)、マイクロスイッチ、赤外線センサ、PSD センサ、視覚センサ等の原理と仕組みについて学ぶ。その後、前述の Arduino と各

種センサを接続し、シリアル経由で PC のモニタ上にセンサの出力値を表示させる回路およびプログラムを作成する実習を行う。図 1 に CdS セルまたはサーミスタと Arduino を接続した回路図、図 2 に PC のシリアルモニタに表示されたセンサ出力値の例を示す。学生はデータシートを参考に、Arduino に入力されたセンサ出力値を計測値(温度 [°C], 距離 [mm] など)に変換するプログラムを作成する。また、プログラミングの応用問題として、センサ出力値に応じて LED が点灯/消灯する問題なども課している。これらの実験実習により、学生はセンサの仕組みだけではなく、それらを実際に使用する

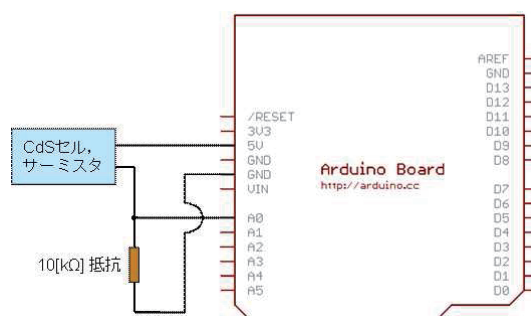


図 1: CdS セル/サーミスタ実験回路の例

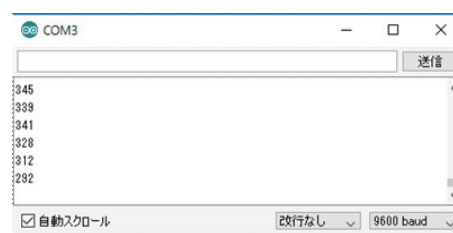


図 2: シリアルモニタに表示されたセンサ出力値の例

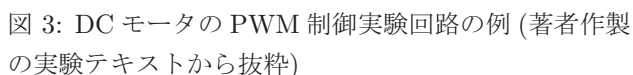
る際はどのような周辺機器が必要で、どのような回路、プログラムを作成する必要があるかを、実践を通して理解することができる。

2.4 アクチュエータに関する講義

アクチュエータには様々な種類が存在するが、本講義では特にソレノイド、DC モータ、AC モータ、ステッピングモータ、サーボモータ、空気圧・油圧シリンダ、そしてアクチュエータ駆動素子について講義を行う。特にモータ関連の座学講義には力を入れ、それらの回転原理と構造、種類、駆動回路などについて、動画の視聴、計算演習、モータの分解などを交えて学習していく。

アクチュエータの実験実習は、まず DC モータ、モータドライバ、そして Arduino を用いた基本的な PWM 制御回路およびプログラムの作成から始める。図 3 に、

ステッピングモータの実験実習では、その動作原理の理解を容易にするために、励磁するコイル(固定子)の順番を学生が自ら選択し、配線を手動で切り替えていく実験を行う。実験は2相励磁のステッピングモータを用い、2つのコイルに接続された4本のジャンパ線のうち1本を電源の+端子、1本を-端子に接続して励磁する。本実験ではマイコンは使用しない。モータを回転さ



せるためには、定められた順番で電圧を加えるジャンパ線
 を正しく選択していく必要があるため、受講学生は座学
 で学んだステップモータの動作原理を自らの目で確認
 することができる。また、上記の手動によるステップ
 モータ回転実験を実施後、Arduino にモータを接続し、
 手動切替で理解したことをもとに、簡易的にステップ
 モータを回転させるプログラムを作成する。これらの実
 験により、受講学生は座学で学んだ動作原理をより深
 く理解できることが期待できる。

本講義と並行して、本講義受講学生は「制御工学」を受講するが、特に数学に苦手意識がある学生にとっては難易度が高いようである。また、座学にて修得した制御工学の知識を用いて、実際に機械・ロボットの制御を実現する技術を身につけるためには、やはり実験実習の経験が必要不可欠となると思われる。

を用いた制御対象のモデリング，ステップ応答，周波数
 応答，そして PID 制御器の設計に焦点を当て、座学に
 て復習を行うとともに、シミュレーションによる実験実
 習によって動作確認を行うことを試みる。

ここでは、図4に示すような熱システムをモデリングの講義および実験の対象とする [7]. ここで、液温変化を $\theta(t)[K]$ 、電熱器から単位時間ごとに槽内に加えられる熱量を $q(t)[W]$ とすると、熱収支は次式で表される.

図 4: モデリング対象となる熱システム

上式をラプラス変換し，加える熱量 $Q(s)$ を入力，液温変化 $\Theta(s)$ を出力として伝達関数を求めると，次式のようになる．

ここで、 $T = C/k$ は時定数、 $K = 1/k$ はゲイン定数である。上式から、図4の熱システムは一次遅れ要素にむだ時間要素をかけあわせた伝達関数で表されることがわかる。また、上式にステップ入力 $1/s$ を掛け合わせ、ラプラス逆変換することにより、下記のステップ応答の式が得られる。

ここまでは、座学にて理論を解説し、ラプラス変換および逆変換は計算演習の課題としている。

— 55 —

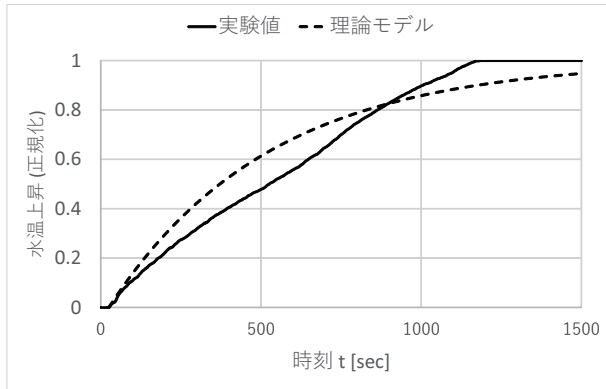


図 5: 熱システムのステップ応答 (実験値と理論モデル)

フを作成し、このグラフを一次遅れ要素×むだ時間要素のステップ応答グラフとみなし、作図によって時定数 $T[\text{sec}]$ 、むだ時間 $L[\text{sec}]$ 、ゲイン定数 K (正規化したため単位なし) を求める。そして、これらのパラメータを式(3)に代入して理論値を求め、図5の点線で表されるようなグラフを作成し、実験値グラフと重ねる。これらの2本のグラフを比較し、完全に一致しない理由を考察し、レポートとして提出する。

2.5.2 PID 制御器の設計とシミュレーション実験

ここでは、前節で求めた熱システムのモデルパラメータ T, K, L を用いて、PID 制御のシミュレーション実験を行う手順を示す。PID 制御器のパラメータとなる比例ゲイン K_p 、積分時間 T_I 、微分時間 T_D は、次に示す Ziegler Nichols 法を用いて求めることとした。

$$K_p = \frac{1.2T}{LK}, T_I = 2L, T_D = 0.5L \quad (4)$$

PID 制御の実験は、オープンソースの数値計算ソフトウェアである Scilab を用いたシミュレーションによって行う。図6に、目標値を1としたシミュレーション結果の一例を示す。また、比例制御のみを行う場合等、各種条件を変更したシミュレーションも行い、それぞれの結果を比較・考察し、レポートにまとめて提出する。

2.6 その他のメカトロニクス関連の実験実習導入例

本授業では、他にも制御工学分野では RC 回路の周波数応答の講義および実験実習、マイコン・通信関連分野では、通信モジュール XBee を用いた PC-マイコン間の無線通信実験なども導入している。また2016年度には、ソフトバンク製ヒューマノイドロボット Pepper の

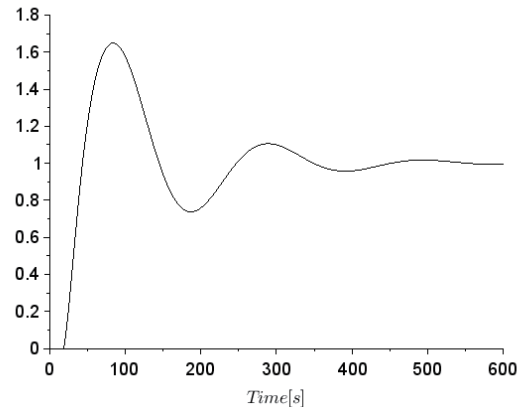


図 6: 熱システムの PID 制御のシミュレーション結果

簡単なプログラミング体験実習を試験的に導入し、学生の好評を得た。

3. 講義「ロボット機械設計」への 実験実習導入例

「ロボット機械設計」は本学科3年生を対象とした半期15コマの講義である。カリキュラムは「車輪型移動ロボット」「ロボットアーム」「歩行ロボット」の三部構成となっており、各種ロボットの種類と特徴、動作原理、動作力学などについて学ぶ。本章では、「2輪独立駆動型移動ロボットの力学」の授業に実験実習を導入した事例を紹介する。

3.1 2輪独立駆動型移動ロボットの力学

左右の駆動輪をそれぞれ独立したモータで駆動する2輪独立駆動型移動ロボットの力学について考える。ロボットの車輪の半径を $R_w[\text{m}]$ 、トレッド(左右車輪間隔)を $T[\text{m}]$ 、左車輪と右車輪の回転角速度をそれぞれ $\omega_l, \omega_r[\text{rad/s}]$ とすると、ロボットの速度 $v[\text{m/s}]$ 、回転速度 $\omega[\text{rad/s}]$ 、旋回半径 $R[\text{m}]$ は次式で表される。

$$v = \frac{R_w}{2}(\omega_r + \omega_l) \quad (5)$$

$$\omega = \frac{R_w}{T}(\omega_r - \omega_l) \quad (6)$$

$$R = \frac{v}{\omega} \quad (7)$$

上記の3式は、座学にて導出手順を示し、学生にそれぞれの式の原理と意味を理解してもらう。

3.2 2輪独立駆動型移動ロボットの動作確認実験

本学科の学生は、1～2年次に Lego Mindstorms 等を用いた車輪型ロボットの作製実習を経験しているが、前

述したような力学的な理論式を用いてロボットの動作設計を行っている学生は、著者が知る限りではほとんど存在しない。本実験では、力学的理論式を用いてロボットの設計を行うことの有効性を確認し、また理論値と実験値の間に誤差が生じてしまう理由を考察する力を身につけてもらうことを目標とする。実験は、下記に示す手順に沿って遂行される。なお、移動ロボットはヴィストン社製ロボット「ビュートローバ」や、Lego Mindstorms で作製した「トレーニングロボット」などを用いている。

(a) ロボットの車輪半径 R_w [m] とトレッド T [m] を測定する

(b) モータの速度指定値を 50 (Lego の場合は -100 ~ 100 の範囲の整数値で指定) として 2 秒間直進させ、走行距離 x [m] を測定する。その測定結果から、ロボットの直線速度 v_{50} [m/s] と車輪の回転角速度 ω_{50} [rad/s] を計算する。

(c) モータの速度指定値を 100 とし、手順 (b) と同様の手順で v_{100} と ω_{100} を計算する

(d) ロボットの左右のモータの角速度 (ω_l, ω_r) として、(ω_{50}, ω_{50}), ($\omega_{50}, -\omega_{50}$), ($\omega_{100}, \omega_{50}$) の 3 組を設定し、理論式 (5)(6)(7) を用いてそれぞれの設定におけるロボットの速度 v [m/s], 回転角速度 ω , 回転半径 R , さらに 3 秒走行後の位置座標 (x [m], y [m]) および向き θ [rad] の理論値を計算する。なお、ロボットのスタート地点の位置座標を原点とし、そのときの向きを 0 [rad] とする

(e) 手順 (d) の 3 組のモータ角速度でそれぞれロボットを 3 秒間走行させ、停止した位置座標および向きを記録する。これらの値を実験値として、手順 (d) で導出した理論値と比較し、誤差が生じた理由等を考察する

また、単位時間ごとのロボットの位置座標と向きをシミュレート可能な、著者が Microsoft Excel を用いて作製した移動ロボットのシミュレータ (図 7) を配布し、ソフトウェアの効果的な実験実習での活用法についても指導している。

上記の手順を踏んで実験を行うことにより、座学で学んだ力学の理論式の活用法を学習し、また理論値と実験値の間に誤差が生じてしまうことを理解し、その理由を考えることにより学生の考察力を向上させることが期待できる。

図 8 に実験実習時の学生の様子を示す。座学での力学理論式の導出時は、数学的な苦手意識があることから理解することが困難な学生がみられたが、本実験は

E	F	G	H	I	J	K
		車輪型移動ロボットシミュレータ Ver1.0				
		車輪半径 R_w [mm]	40			
		トレッド T [mm]	200			
		右車輪角速度 ω_r [rad/s]	20			
		左車輪角速度 ω_l [rad/s]	10			
		Time Step [s]	0.05			
時間 [s]	速度 v [mm/s]	角速度 ω [rad/s]	回転半径 R [mm]	x [mm]	y [mm]	θ [度]
0.00	600.0	2.00	300	0.00	0.00	0.00
0.05	600.0	2.00	300	29.85	3.00	5.73
0.10	600.0	2.00	300	59.25	8.86	11.46
0.15	600.0	2.00	300	87.81	17.82	17.20
0.20	600.0	2.00	300	115.54	29.50	22.93
0.25	600.0	2.00	300	141.87	43.89	28.66
0.30	600.0	2.00	300	166.63	60.83	34.39
0.35	600.0	2.00	300	189.58	80.15	40.13
0.40	600.0	2.00	300	210.48	101.67	45.86
0.45	600.0	2.00	300	228.13	125.17	51.59
0.50	600.0	2.00	300	245.34	150.42	57.32
0.55	600.0	2.00	300	261.94	177.15	63.05

図 7: MS Excel で作製した移動ロボットシミュレータ



図 8: 移動ロボット動作確認実験の様子

多くの学生が熱心に取り組み、理論式の活用法を理解できた様子であった。このことから、本講義に実験実習を導入することは多くの学生の意欲喚起につながり、また座学で学んだ理論を復習する動機付けにも貢献できていると考えられる。

4. 評価と考察

表 1 は、平成 26 年度 (実験実習導入初年度) に、「メカトロニクス」と「ロボット機械設計」の 2 講義の受講学生 101 名を対象として、実験実習の導入に関する学生アンケートを実施した結果である。この結果から、多くの学生は実験実習を楽しみながら行い (74%), 講義で学んだ理論・原理の理解度を深められた (76%) ことがわかる。また、78% の学生が今後も同様の実験実習の講義への導入を希望していることから、本取り組みに対する期待度の高さがうかがえる。また、本学が全科目で実施している授業アンケートでは、2 科目とも座学のみであった平成 25 年度の結果と比較して、実験実習導入初年度である平成 26 年度の満足度が大幅に上昇した (両年度共に著者が担当)。これらの結果から、本取り組みは学生の授業に対する意欲を喚起し、また座学の理解度を向上させる効果が高いといえる。

一方、実験実習の難易度に関するアンケートでは、64% の学生が「適切」であると回答したが、「簡単」が 20%、

参考文献

- [1] ロボット革命実現会議, ロボット新戦略 - ビジョン・戦略・アクションプラン - (2015), 経済産業省ホームページ <http://www.meti.go.jp/press/2014/01/20150123004/20150123004b.pdf> (最終閲覧日 2017 年 11 月 9 日).
- [2] 文部科学省, 「AIP プロジェクト (人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト)」に係る平成 28 年度戦略目標の決定について (2015), 文部科学省ホームページ http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/28/05/1371147.htm (最終閲覧日 2017 年 11 月 9 日).
- [3] 三浦宏文監修, ハンディブックメカトロニクス改訂 2 版 (2005), オーム社.
- [4] 舟橋宏明監修, 基礎シリーズメカトロニクス概論 1[入門編](1999), 実教出版.
- [5] 渋谷恒司, メカトロニクスの基礎 (2016), 森北出版.
- [6] 小林茂, Prototyping Lab「作りながら考える」ための Arduino 実践レシピ (2010), オライリー・ジャパン.
- [7] 館山武史, 熱システムのモデリングと PID 制御, ヒューマンメカトロニクスシステム基礎実験テキスト (2012), pp.27-35, 首都大学東京.

「難しい」が 16%と、意見が分かれる結果となった。これは、特にマイコン関係の学生のスキルが、クラブ活動や趣味等での経験に大きく依存するためであると考え

表 1: 実験実習導入に関する学生アンケート (H26 年度実施, 2 科目合計 101 名対象)

質問項目	はい	どちらでもない	いいえ
実習を楽しめたか	74%	25%	1%
講義の理解度は深まったか	76%	23%	1%
今後も実習の導入を希望するか	78%	20%	2%
質問項目	適切	簡単	難しい
実習の難易度は	64%	20%	16%

られる。よって、今後は学生のスキルレベル別に難易度が異なる課題を作成する等の対応が必要となると思われる。

また、「メカトロニクス」の講義を受講した学生は、後に「プロジェクト実習 4」等でより高度なメカトロニクス機器のマイコン制御実習を行うことになるが、同実習において「メカトロニクス」で使用した実験テキストを復習して活用している学生も多くみられたことから、本取り組みは科目間連携という観点からも他科目で応用できる基礎技術の学習に貢献できていると考えられる。今後は、本取り組みの目標である「実践的技術力の向上」に対する効果をいかにして測定し、結果を講義にフィードバックするかについて考えていきたい。

5. おわりに

本稿では、学生の講義に対する意欲喚起と、より実践的な技術を身につけられる授業の実現を目標とした、講義・実験融合型授業の実施例を紹介し、その取り組みに関する評価と考察を行った。対象とした授業は「メカトロニクス」と「ロボット機械設計」であり、同講義に実験実習を融合することで、学生の意欲喚起と理解力の向上の実現が確認された。今後は、学生アンケートなどの結果をフィードバックし、実験実習の内容や課題の難易度の多様化等を検討し、さらに多くの学生の意欲を喚起し、実践力の向上に貢献できる講義にしていきたい。

研究ノート

大学と地域、行政、NPO との協働に関する考察

加藤高明*

(2017年9月30日受理)

Considerations of Partnerships between University, Region, Government and NPO

Komei Kato*

(Received September 30, 2017)

Abstract

In regional revitalization, it is important to obtain the participation of various entities including universities, region, government and NPOs. This paper describes how my laboratory of the university created partnerships with local government and NPO, and expanded its field of activities. In conclusion, I think that the participation in regional revitalization has educational effect on the university students.

キーワード: 協働, 地域活性化, 社会貢献, 行政, NPO

Keywords: partnerships, regional revitalization, social contribution, government, NPO

1. はじめに

学生が、近隣の住民や地方自治体、NPOなどと共に地域の課題解決やまちおこしに取り組み、その活性化に貢献する動きが盛んとなっている。活動事例は多種多様にわたるが、本稿では学生が地域に関連する各種のデジタルコンテンツを制作し、地域のイベントに出展してその盛り上げを支援するという事例を取り上げる。デジタルコンテンツは若年世代には馴染みやすいものの、一般的にはそれをオリジナルで制作して、地域の活性化に利用するという事は、なかなかイメージしにくい。デジタルコンテンツの制作を、学生の卒業研究テーマとして取り組んできた筆者の研究室が、地域、行政、NPOとの協働関係をどのように作り上げ、その活動範囲を拡大していったのか、また教育効果としてはどんなことが見られたかについて考察する。

2. 大学の地域連携に対する参画意識の高まり

学生という多くの若者が継続的に集まるにぎわいの源

泉であり、また多彩な知識や人材が集積すると認識される大学は、地域社会の構成員としてその課題を共に解決し、活性化や新たな価値創造への積極的な関与が求められている¹⁾。

これまでどちらかと言えば中立的であった大学は、社会の成熟や低経済成長、18歳人口の減少といった社会環境の変化に直面し、生き残りのためにその存在価値を再定義する中で、地域コミュニティの中核的存在としての機能強化を目指すようになってきた。

文部科学省委託調査「平成26年度開かれた大学づくりに関する調査研究」の調査報告²⁾によれば、「学生の地域貢献活動を推進すること」に取り組んでいる大学は平成25年度には80.8%にのぼり、平成23年度との比較で10.5ポイントの上昇となっている。

また「地域連携に関する専門機関・組織がある」との回答が平成25年度は68.4%となり、平成23年度の57.5%から10.9ポイント増加していて、地域に対して組織的に関わろうとする姿勢がうかがわれる。

* 愛知工科大学工学部 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Faculty of Engineering, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, Nishihasama-cho, Gamagori, Aichi 443-0047 Japan

学生の地域貢献活動の目的としては、「地域の多様な人々との交流を通じた学生のコミュニケーション能力を育成するため」87.1%や「学生の課題発見能力、問題解決能力を高めるため」78.7%に示されるように、大学が地域貢献活動に教育効果を期待していることが読み取れる。

活動事例は多種多様であるが、代表的な事例として次のようなものがある³⁾。

- ・地域資源発掘，地域振興プランづくり，地域マップづくり，地域の教科書づくり
- ・地域課題解決に向けた実態調査
- ・地域ブランドづくり，地域商品開発，プロモーション
- ・商店街活性化策検討，アンテナショップ開設
- ・観光ガイド実践，海外観光客向けガイドブックづくり
- ・環境保全活動，まちなかアート実践，子ども地域塾運営，高齢者健康教室運営

など。

また地域および大学双方において、Fig.1に示すようなメリットが期待される。

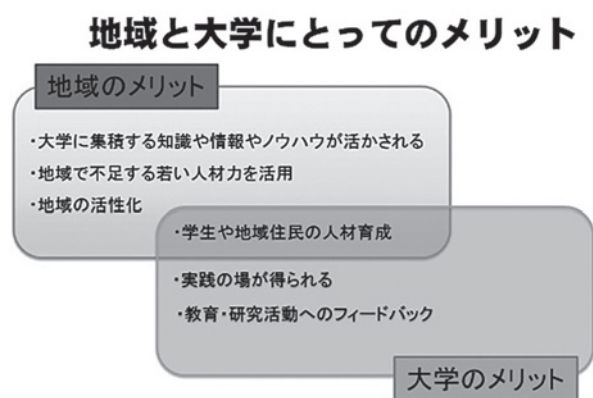


Fig1. 地域と大学にとってのメリット

出所：総務省ホームページ「域学連携」地域づくり活動
(http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_gyousei/c-gyousei/ikigakurenkei.html)

3. 地元商店街活性化への参画の経緯

まずは筆者の研究室が、地元商店街活性化へ参画するようになった経緯について整理する。

本学の立地する愛知県蒲郡市には、JR 東海道線と名古屋鉄道蒲郡線の蒲郡駅を中心に点在する「中央通り発展会」をはじめとした、7つの発展会で形成される蒲郡

商店街がある。店主の高齢化や後継者不足により、店舗数は全盛期の半数ほどに減少しているが、その現状を打破し、かつての賑わいを取り戻すべく「福寿稲荷ごりやく市」が開催されるようになって、平成26年9月に10周年を迎えた。福寿稲荷ごりやく市(以下ごりやく市)は、毎年6回3、4、5、9、10、11月の第4日曜日に、蒲郡駅北の中央通りで開催される。歩行者天国となり、市内・外からの一般公募による出店者と地元商店街からの出店者でカラフルなテントが並ぶほか、落語や大道芸、ちんどん屋、和太鼓演奏、ダンスなど多岐にわたる催しものが用意され、毎回5,000人ほどが訪れる地元では知られたイベントである。

ごりやく市は平成19年9月に第1回目が開催されたが、商店街主体の開催であった。徐々に街づくりNPOや地元の幼稚園、小学校、中学校、高校、ボランティア団体などと連携するようになり、現在は地域全体がごりやく市を支えている。

蒲郡市内唯一の大学である本学は、「蒲郡フリースタイル研究部」などの地元のイベントを応援するボランティアサークルが、商店街からの声かけによって、平成21年9月からごりやく市で子供が楽しめるようなバターゴルフや綿菓子などを出店している。筆者は情報メディア学科に所属し、加藤研究室として4年生の卒業研究を指導しているが、次のような段階を経て、ごりやく市に参画することになった。

【第1段階】

平成20年2月、蒲郡商工会議所、愛知工科大学、蒲郡市を始めとする産学官関係団体等のネットワークが形成され、連携による新技術・新ビジネスの研究開発等の推進を図り、地元産業の振興及び地域の活性化並びに地域の課題の解決を図るための場として、がまごおり産学官ネットワーク会議が設立された。県内企業の各種取組みを紹介する講演会や交流会などの開催を通じて、大学と地域、行政との交流が盛んになり始めた。

【第2段階】

がまごおり産学官ネットワーク会議主催の、企業支援家による中小企業や個人商店の売り上げアップに関する講演会で、ソーシャルメディアの有効活用が紹介された。しかし実際にはどうすればソーシャルメディアが使えるようになるのか、また操作はどのようにすればよいのかといった要望が多数寄せられ、筆者のところにパソコン実習によるソーシャルメディアの使い方講座開催の依頼があった。「企業、個人事業主のためのソーシャルメデ

ィアで情報発信！」というパソン実習講座を、平成 26 年 2 月に筆者が中心となり開催して好評を得たことから、蒲郡市役所担当者との間で、大学の保有する情報技術や知識を地域の活性化に活用できないか、という気運が高まった。

【第 3 段階】

平成 26 年 9 月のごりやく市が 10 周年の節目を迎えるにあたり、目玉としてこれまでにない新しいイベントが何かできないかとの依頼があり、加藤研究室から商店街の魅力を新しい方法で伝え盛り上げようと、「商店街散策スマートフォンゲーム」と「ごりやく市紹介プロジェクトマッピング」の出展を提案した。プロジェクトマッピング上映のための空き店舗の提供や昼間の上映ということから暗幕の用意など、商店街や市役所から全面的な協力を得られ、ごりやく市のチラシや蒲郡市ホームページへの掲載もあり、100 人を超える観覧者があった。

【第 4 段階】

商店街からの継続的出展の要請を受け、平成 26 年 11 月のごりやく市では、9 月出展の内容を高度化したプロジェクトマッピング第 2 弾を上映した。これらをきっかけに、街づくり活動に関わる NPO や蒲郡市役所企画広報課などからも、商店街以外の地域イベントへの出展要請が相次ぐようになった。

【第 5 段階】

地元の冬まつりや廃線危機にあるローカル鉄道を応援するイベント、名古屋市内商店街夏祭りなどに、テーマに合わせたプロジェクトマッピングを制作し、継続的に提供した。またカラーバリアフリーの提唱活動を行う NPO 法人からの依頼により、色覚障がいに対する正しい知識を伝える「色覚体験イベント」にも出展するなど、活動分野や範囲を広げることとなった。

4 協働の成功要因と教育的効果

4.1 協働の成功要因

これまでの出展内容をまとめたのが Fig.2 である⁴⁾。継続してプロジェクトマッピングを中心とするデジタルコンテンツ制作・出展による地域・社会貢献の機会が得られているのは、特に地元蒲郡商店街ごりやく市での取り組みで好評価と成果を感じることができたからと考えられる。有名テーマパークなどがプロジェクトマッピング

マッピングをイベントに導入して認知度も高まる中、低コストで地域に密着したテーマや内容で商店街のイベントで見られるということで、ひと味違った試みとして話題性も充分であった⁶⁾。加藤研究室がごりやく市に参画する以前から、愛知工科大学のボランティアサークルがパターゴルフなどのゲームや綿菓子を出店して、すでに商店街と大学のコラボレーションの下地ができていたことに加え、プロジェクトマッピングやスマートフォンゲームといったタイムリーなテーマが、より新たな協働を受け入れやすくし、促進していったと言える。ごりやく市をマンネリ化させないよう、新しい試みの取り組みには積極的な姿勢があり、市役所の担当者も大学祭における研究室公開に訪れ、地域活性化へのヒントを収集することもある。そのため、これまでにないデジタルコンテンツというものが、どのように商店街イベントに活かされるのか、興味を持って受け入れが歓迎されたのであろう。新しいことを取り組み、みんなで盛り上げようという姿勢は、商店街振興会 小田理事長の話からも確認できる。

「過去に行政が主体で商店街イベントを実施したこともあったが、商店街としては誰かがやってくれるだろうと思ってしまい、うまくいかなかった。また商店街だけでイベントをやったこともあったが、マンネリ化しやすく、みんな疲れ切ってしまった。いろいろとアイデアを練り直し、市民団体や NPO のみなさんの意見を取り込みながら、みんなで盛り上げようという方向性になることで、活気を取り戻すことができた。」(2015 年 11 月 22 日蒲郡商店街振興組合 小田裕己理事長へのインタビュー)

10 年以上続くごりやく市は、中心となって活動を引っ張るのは商店街の役員であるが、市役所の担当者やまちづくり NPO などの協働アクターとは、緩やかなつながりの中でも良好な信頼関係が確立されている。ごりやく市の開催月には毎週月曜日夜 8 時から定例会議が行われ、ごりやく市に関する内容の確認はもとより、世間話や雑談も含めた格好の相互コミュニケーションの場となっている。信頼性と関係性が重要とされる地域協働において、特に伝わりやすい関係性の構築には、「自由に楽しく話し合える場」が必要不可欠である。

4.2 教育的効果

本ケースでは協働アクターとして大学が参画しているが、その活動主体は学生である。ここでは教育機関である大学側から見た教育的効果についてみる。

実施日	出展イベント	出展内容	主な協働 アクター
平成 26 年 9 月 28 日	蒲郡商店街 「第 62 回ごりやく市」	・プロジェクションマッピング 「ごりやく市の紹介」 ・スマートフォンゲーム 「商店街探索クイズゲーム」	商店街 まちづくり NPO 市役所
平成 26 年 11 月 23 日	蒲郡商店街 「第 64 回ごりやく市」	・プロジェクションマッピング 「こんきちの大冒険」	商店街 まちづくり NPO 市役所
平成 26 年 11 月 29 日	蒲郡市冬まつり	・プロジェクションマッピング 「願いの木」	冬まつり実行委員会 まちづくり NPO 市役所 商工会議所
平成 27 年 2 月 21 日	蒲郡市生命の海科学館 ワークショップ	・プロジェクションマッピング 「にしがま線を大応援！」	生命の海科学館 市役所
平成 27 年 4 月 26 日	蒲郡商店街 「第 66 回ごりやく市」	・プロジェクションマッピング 「赤い電車を応援！」	商店街 まちづくり NPO 市役所
平成 27 年 11 月 22 日	蒲郡商店街 「第 70 回ごりやく市」	・プロジェクションマッピング 「ごりやく市 70 回の軌跡」	商店街 まちづくり NPO 市役所
平成 28 年 3 月 5,6 日	大阪東成区役所 「色覚体験イベント」	・説明アニメーション 「色が見える仕組み」 ・プロジェクションマッピング 「色覚障がい疑似体験」 ・ワークショップ環境 「色が見える違いを体験」	大阪東成区役所 カラーバリアフリー 推進共同体 ⁵⁾
平成 28 年 8 月 9 日	笠寺観音商店街 「納涼夏祭り」	・プロジェクションマッピング 「笠寺を、もっと楽しもう」	商店街 まちづくりの会
平成 29 年 8 月 8,9 日	笠寺観音商店街 「納涼夏祭り」	・ビデオマッピング 「笠寺の夏祭り」	商店街 まちづくりの会

Fig.2 これまでの出展内容のまとめ

5. まとめ

学生は、地元出身者でなければなかなか知る機会のない商店街や地域のことを、まずは知る必要があった。実際に目で見て感じて、商店街の人たちと触れ合いながら地域の魅力を理解することで、愛着が醸成されていったが、その良さをどのようにデジタルコンテンツとして表現し、PRするかを考えなければならなかった。当日の見学者をイメージしながら演出や運営方法を検討する必要もあり、企画力を身に付けられた。試作段階のプロジェクトマップやスマートフォンゲームは、商店街役員や市役所担当者に対してデモを行ったり、新聞社からの取材もあり、実践的なプレゼンテーション力も身に付けることができた。

特に新聞記事への掲載は、モチベーション向上への大きなきっかけとなり、「地元の人たちと時間をかけて相談しながら新しいものを作り出したのは新鮮な体験だった」、「就職活動における自己PRが自信を持つてできるようになった」、「商店街の皆さんの情熱にも触れることができ、社会に出ていくうえで勉強になった」と、制作した学生たちは感想を述べている。

また当日は、来場者層に見合った方法で説明を行ったり、盛り上げ方を工夫したことで、状況への柔軟な適応能力の向上も感じられた。

そして商店街、市役所、まちづくりNPOとの関わりから地域コミュニティの構造を知り、また価値の共有を通して自分たちも地域の一員であることの自覚を持てるようにもなった。

学生が伸び伸びと自分たちの発想で活動ができたのは、商店街側から学生の活動についてノルマ的な要求がされることはなく、学生のやりたいという思いに応えるスタンスがあったからこそである。小田理事長の次の言葉からも、受け入れ側の寛容さを感じ取ることができる。

「ごりやく市での活動が、社会に出てから役立つ人とのつながりや、思い出などの何かプラスになればいいと思っています」（2015年11月22日蒲郡商店街振興組合小田裕己理事長へのインタビュー）

「工科大の学生さんは、活動的で一所懸命やってくれて助かっています。これからも継続的な協力をお願いしたいですね」（2015年11月22日蒲郡市役所観光商工課水野竜一氏へのインタビュー）という感想などからも、教室で学んだ学問的な知識・技能を、地域社会の諸課題を解決するために組織された社会的活動に生かすことを通して、市民的責任や社会的役割を感じ取るサービラーニングが、自然な形で実践されたことが確認できた。

国土交通省都市・地域整備局「地域の雇用創出のための知の拠点再生推進方策検討調査⁷⁾」には、地域活性化推進上の4つの視点が示されている。まとめとして、この視点から今回の取り組みを検証してみる。

視点1：大学との連携には、地域課題解決に熱意を持って活動する民の力（地域住民、NPO等の市民活動組織、地場企業諸団体）が必要。

商店街をはじめとする地域の人々の、盛り上げたいという強い思いや熱意、やる気が主体となり、大学を巻き込んでいる。大学にコーディネーターや専門的知見からのアプローチを期待しているわけではなく、その活動主体はあくまで商店街である。

視点2：地域と大学の仲介をする自治体の相談窓口・仲介機能の存在が重要。

仲介役の蒲郡市役所観光商工課は、これまでも商店街「ごりやく市」を積極的にサポートしていて、今回も商店街と大学の仲介や相談窓口としても十分な機能を果たしている。

視点3：要望・ニーズが大学の理念と共有できる機会がある

ごりやく市の開催される月は、毎週月曜日にごりやく市会議が開かれる。和気あいあいとした雰囲気があり、お互いの意思疎通を図る良い機会となっている。

視点4：地域側には、地域活性化に向けた試行取り組みに対応できる能力・体制が求められる。また、試行的取り組みを実践するための行政の支援措置が必要である。

商店街だけでなく、市民団体、まちづくりNPOが良い形で協力しあい、新しい取り組みに対応しようとする姿勢・体制がある。それに対して市役所も前向きに取り組むといった姿勢が確立されている。

以上のように、各視点はどれも達成されている。これらに加え、協働アクターがお互いを強制しない緩やかな関係の中にも、自発的に相互協力しようという雰囲気があり、無理することなく新しいものを取り込んでいこうという姿勢は、大学、地域、行政、NPOとの協働を成功させるポイントとして不可欠である。ただし学生自身が、初期の段階から協働アクターに積極的に関与するのは困難であると考えられるため、教員や大学の地域連携セ

ンターなどが窓口や橋渡しとなり、きっかけづくりをすることは必要である。そして大学生は通常4年間で卒業してしまうため、大学、特に学生というアクターは、変化しながら新たなつながりをその都度即興的に形成していく、という特徴があることを承知しておく必要がある。

地域連携活動への参加が学生の意識に与える影響を分析し、受入れ側の地域関係者の意識や協働アクターへの影響等を明らかにすることで、より効果的な大学・地域連携の方法や事業を創出することが可能となる。大学の社会に対する能動的な関わり方や社会形成に対する役割の果たし方について、更なる検討を続けていきたい。

《注》

- 1) 2006年12月の教育基本法の改正により、大学の教育や研究の成果を広く社会へ提供することで社会の発展に寄与することが、大学の新たな役割として規定された。これにより、大学が従来よりも能動的に社会と関わり、社会形成に対する役割を果たすことが強く求められるようになった。
- 2) 調査の実施概要は次の通り。

	実施概要
対象者	全国の大学・短期大学 1,122件
調査方法	郵送配布・郵送回収
回収率	95.7% (1,074/11,22) 大学：95.2% (740/777) 短大：96.8% (334/345)

- 3) 具体的な事例の紹介は、総務省ホームページ「域学連携」地域づくり活動を参照。
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_gyousei/c-gyousei/ikigakurenkei.html
- 4) 制作したプロジェクトマップを はじめとするデジタルコンテンツの詳細は、参考文献[2]を参照。
- 5) 本共同体は、NPO法人True Colors,NPO法人ライフスキル研究所、認定NPO法人大阪NPOセンターで構成される。
- 6) 次の4つの新聞紙面に、記事が掲載された。
・東愛知新聞 2014年9月13日1面

『PR映像スクリーンに投影 蒲郡ごりやく市を「こんきち」案内 愛知工科大学が制作』

・読売新聞 2014年9月16日朝刊名古屋版

『蒲郡「ごりやく市」をPR 愛知工科大学が映像制作』

・朝日新聞 2014年9月17日朝刊三河版

『映像作品で商店街応援 蒲郡、地元の愛知工科大学が魅力PR』

・中日新聞 2014年9月17日朝刊東三河版

『蒲郡のホコ天「ごりやく市」工科大学が目玉動画』

- 7) URLは次のとおり。 http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/souhatsu/h18seika/11chiiki/11_kokudo_07honpen3.pdf

謝 辞

本章を作成するにあたり、ご多忙中にも関わらず、蒲郡商店街振興組合理事長の小田裕己氏、蒲郡市役所観光商工課の水野竜一氏には、2015年11月22日に、インタビューにご協力いただいた。この場を借りて感謝の意を表したい。また出展場所の提供や事前のプロジェクションマッピングのデモンストレーションに参加いただいた、ごりやく市実行委員会役員の方々にも、併せて感謝の意を表したい。

参考文献

- [1] 加藤高明、伊藤亮佑：『商店街活性化へのデジタルコンテンツの活用』、愛知工科大学紀要第12巻、研究ノート、pp.59-63、(2015.3)
- [2] 加藤高明：『デジタルコンテンツを活用した地域活性化・社会貢献』、愛知工科大学紀要第14巻、報告、pp.63-68、(2017.3)
- [3] 小林英嗣 / 地域・大学連携まちづくり研究会：『地域と大学の共創まちづくり』、学芸出版社、(2008)
- [4] 佐々木利廣、加藤高明、東俊之、澤田好宏：『組織間コラボレーション』、ナカニシヤ出版、(2009)
- [5] 友成真一：『「現場」でつながる！地域と大学』、東洋経済新報社、(2004)

研究ノート

Excel データから XML 文書への半自動変換

吉田 茂*, 杉山将平*

(2017年9月30日受理)

A Semi-Automatic Conversion into XML Document from Excel Data

Shigeru Yoshida*, Shouhei Sugiyama*

(Received September 30, 2017)

Abstract

This paper describes development of a semi-automatic conversion tool which converts Excel data into XML documents using HTML form. In recent years, in order to make administration transparent to the people, government and local governments are being released various data to the public using internet as "open data". Although the formats of the recently published data are many in Excel, it is desirable that it is also data such as XML and JSON when considering the use of a large amount of data to cooperate between documents. Then, we considered converting these open data to XML format and processing the data as XML documents. Conventionally, tools for converting to XML have the tools built in Excel and the tools for CUI (Character User Interface) already. We made it possible to create XML documents with Excel tabular format in two direction, that is, in the one that takes records by scanning in the horizontal direction that is usually done, and the two that takes records by scanning in the vertical direction. In this semi-automatic conversion, data after conversion for one record is prepared, and it is changed from Excel's CSV (Comma Separated Values) format to XML format via Tab Separated Values. In the experimental result after the implementation, some examples were tried and could be converted well.

キーワード: データ変換, コンマ区切り, タブ区切り, レコードの走査方向

Keywords: Data conversion, Comma Separated Values, Tab Separated Values, Scanning direction of record

1. はじめに

近年, 政府や地方自治体から, 行政の透明化を図るため, 様々なデータがインターネットで公開されており, これらは「オープンデータ」と呼ばれている. **Fig.1** に示すように, 総務省がオープンデータのカタログページを作っており^[1], データの2次利用を促進するため, 「e-stat」というサイトから API (Application Programming Interface) も公開している^[2]. 現在, 提供しているデータは Excel が多い. 文部科学省の例を **Fig.2** に示す. 文書間連携を含む大量データの2次利用を考えたとき, データ形式は XML か JSON の方が望ましい. XML は国際標準の電子文書形式であり, XML 文書に変換すれば, 種々の言語でサポートしている API ソフトウェアから, 多くの人が利用できる. そこで, Excel データを XML

に変換して利用することを考える.

Excel データの XML への変換ツールとしては, Microsoft 社の Excel 内蔵のツールや, フリーソフトの CUI (Character User Interface) ツールが既にある. しかし, これらのツールでは, 次の点が考慮されていない. Excel 内蔵ツールは, GUI (Graphical User Interface) で, データ項目とタグとの対応を取るようになっている. 項目数が多い場合は操作が, やや面倒になる. また, 同種の変換を繰り返す場合, いちいち GUI 操作を繰り返す必要がある. フリーソフトの CUI ツールは, タブ区切り (CSV) ファイルから XML 文書へ変換するようになっている. Excel の CSV ファイルに変換することはできるが, 項目の削除や, 順番の変更を意識して作られていな

* 愛知工科大学工学部情報メディア学科, 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Department of Media Informatics, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, amagori 443-0047, Japan



Fig.1 総務省のオープンデータ推進のページとカタログページ

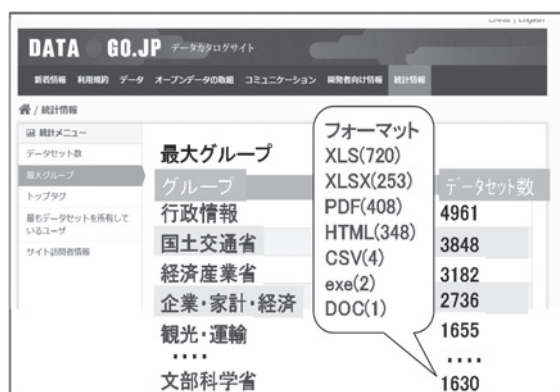


Fig.2 各省庁のオープンデータの登録

い。それに、Excel の表形式に対して、レコード走査が縦方向と横方向に取られる可能性があるが、これらのツールは横方向だけを対象にしている。

筆者らは、先の研究で、XML 文書を表形式に限定することによって、CSV ファイルと連携させ、XML 文書を容易に扱えるソフトウェア・ライブラリを報告している^{[2][3]}。このライブラリを以下、「CSV 連携 XML ライブラリ」と呼ぶ。この CSV 連携 XML ライブラリでは、CSV ファイルからの XML 文書への変換も作成している。

しかし、これは、項目中にコンマ、改行を含む、Excel から変換した CSV ファイルには対応していない。そこで、Excel から XML 文書への変換も、ライブラリの拡張として作成することにした。今まで作った部分に継ぎ足す形で、Excel の CSV ファイルから一旦、タブ区切り (TSV) ファイルを経由して、XML 文書に変換することにした。本稿は、筆者らが検討したソフトウェア^[5]を、手直して機能アップしたものであり、HTML フォームにより変換が簡単に行えるようにした。XML 文書として、ここでは要素のみを作ることを対象にし、属性は対象にしないものとする。

以下では、第 2 章で従来技術について触れ、第 3 章で CSV 連携 XML ライブラリからの拡張として Excel からの変換の設計方針を検討し、第 4 章で実装結果、第 5 章で評価を行い、第 6 章で考察し、まとめとする。

2. 従来技術について

従来技術として、ここでは Microsoft 社の Excel 内蔵 XML 変換ツールと、フリーソフトの CUI ツールを取り上げ、参考にする。

(1) Excel 内蔵の XML 変換ツール^[6]

変換後の XML の構造を表す、Fig.3 に示すように、スキーマを作成しておき、スキーマを Excel に読み込ませて、XML 文書の階層をツリー状に表示させる。そして、Excel の表形式項目を、ツリー表示のタグにドラッグ & ドロップして対応づけ、XML 文書として出力している。

この操作は GUI なので、操作の見通しが良い。しかし、項目数が多い場合、例えば 50 個以上となるようなときに、操作が面倒になる。また、GUI 操作の常として、同種の変換を何度も行うとき、あるいは、間違いが生じたとき、同じ操作を何度も繰り返さなければならないことが手間になる。

Excel はマクロで、XML を扱うことができるが、標準の GUI 操作以外の機能を追加しようとすれば、いろいろと複雑な工夫が必要となる。

(2) フリーソフトの CUI ツール CSVXML101^[7]

元々は CSV ファイルを XML に変換する CUI のツールである。Fig.4 に示すように、ヘッダー、タグ、データ項目を別々のファイルで作って変換する。従っ

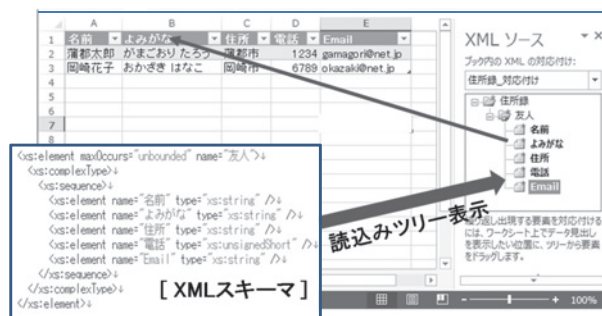


Fig.3 Excel からの XML 文書の変換

```
<?xml version=" 1.0" encoding=" Shift_JIS" ?>
```

(a) ヘッダーファイル

```
#total_tag, 住所録  
#record_tag, 個人  
#tag, 名前  
#tag, よみがな  
#tag, 住所  
#tag, 電話  
#tag, Email  
#tag, 続柄
```

(b) タグファイル

```
愛知太郎, がまごおり たらう, 蒲郡市, 1234, gamagori@net.jp, 友人  
愛知花子, おかざき はなこ, 豊橋市, 6789, toyohashi@net.jp, 知人  
....
```

(c) 項目テータ

Fig.4 XML 変換ツールのデータ例

て、Excel の CSV データの項目順番を変更して XML 文書を作ったり、項目の削除には対応していない。この CSVXML101 は、Excel のダブルクォートのエスケープ規則には従っている。すなわち、Excel では、項目中のコンマ、改行は CSV ファイルに直したときに、ダブルクォートで囲んでエスケープする。ただし、レコード内の開始タグ、終了ごとのインデントは取っていない。

Excel の表形式から XML 文書を作る場合、Fig.5 に示すように、横方向と縦方向にレコードを取ることができる。上記 (1)、(2) のツールとも、横方向のみであり、縦方向には対応していない。横方向のレコードで XML 文書を作成した場合、これを縦方向のレコードに直すならば、一旦、全データをメモリに格納して、別なツールによって変換する必要がある。

3. Excel の CSV データからの XML 変換の検討

ここでの変換プログラムは、これまでの CSV 連携 XML ライブラリと同様に、Perl で作成し、CUI で動かし、この上に HTML フォームを載せることにする。また、CSV 連携ライブラリの拡張となるように、Excel の CSV 形式から XML 文書への変換するようにし、次のような課題に対して、解決する方策を考えた。ここで、Excel は Microsoft Office Professional 2016 版を用いた、

名前	ふりがな	住所	電話
山田	やまだ	三重県	0123
田中	たなか	岐阜県	4567
愛知	あいち	愛知県	8901

(a) 横方向のフォーマット

月日	1 月 1 日	1 月 2 日	1 月 3 日
天気	晴れ	曇り	雨
気温	12°	10°	11°
湿度	30%	40%	50%

(b) 縦方向のフォーマット

Fig.5 2 種類のレコード走査方向

(1) 課題

- 今までの変換ソフトは、自作の CSV ファイルから XML に変換するものであり、今回の変換は、外部の CSV 要素から、内容を置く位置を指定することが必要になる。
- Excel の CSV 形式は、コンマ、改行をダブルクォートで囲んでエスケープする。Excel では、タブ区切りでも出力できるが、こうした場合も CSV 形式と同様にダブルクォートのエスケープが入る。
- 変換の操作は HTML フォームから行い、最小のパラメータの設定で変換が行えるようにする。

(2) プログラムの設計方針

上記の課題に対して次のように設計方針を決めた。

- (a) 従来の変換プログラム (csv2xml.pl) を後処理とし、諸々の処理を前処理とする。
- (b) 変換フォーマットを 1 レコード分作れば、全レコードを変換できるようにする。これは、作成する 1 レコード分を参照して、項目の順番、必要な項目を選べる「変換操作表」を作ることに対応する。従って、「変換操作表」に間違いがあったときは、変換を修正できるようにしておく必要がある。
- (c) ダブルクォート内にコンマ、改行を含められるようにし、ダブルクォートのエスケープに対応する^[8]。CSV 形式だと、コンマ、改行が終端記号なので、エスケープする必要が出てくる。そこで、これを、一旦、タブ区切り形式に変換して、エスケープを解消する。
- (d) Windows の ActiveX を使って、Perl プログラムを HTML フォームの JavaScript から呼び出す^[9]。このため、Perl の各プログラムはコマンドライン引数でパラメータを与えて実行できるようにしておく。

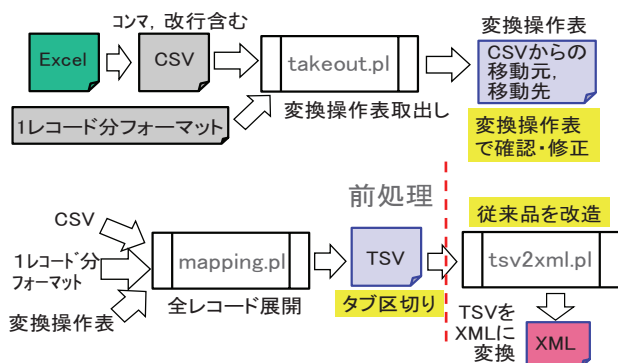


Fig.6 Excel から XML への変換の流れ
赤字で書いた 3 つのプログラムを作成する。
(注) CSV : Comma Separated Values,
TSV : Tab Separated Values

従って、従来の変換プログラム csv2xml.pl は、コンマ区切りファイルを対象にするため、これはタブ区切りファイルを扱うように修正し、(b)(c)の後処理とした。

4. 実 装

(1) 各変換の Perl プログラム

Excel から XML への変換の全体の流れを Fig.6 に示す。次の 3 つのプログラムを Perl で作る。

- ①変換操作表を取り出すプログラム takeout.pl,
- ②変換操作表に従って、全レコードをタブ区切り (TSV) で展開するプログラム mapping.pl,
- ③全レコードの TSV ファイルを XML に変換するプログラム tsv2xml.pl

Fig.7 に、各プログラムで行う操作を描く。Excel の表形式は項目中にコンマ、改行を含む。これを CSV 形式に直した後、テキストエディタで見ると、ダブルクォートを挟んで、コンマと改行がエスケープされている。項目順番の変更、項目削除の可能性については、1 レコード分フォーマットに反映させる。これから、該当箇所を探して、移動元と移動先を記した「変換操作表」を作る。変換が正しいかを、変換操作表で確認し、修正する。あとは、変換操作表を用いて、全レコードをタブ区切り形式 (TSV) に変換する。その後、全レコードの TSV データを XML 文書に変換する。このように、従来の csv2xml.pl を tsv2xml.pl に改造する。このフォーマットは、項目名と項目内容を同一のファルに書く形式であり、項目内容を複数行に分けて書くことと、長い項目内容は 1 行に書けるようにしている^[3]。

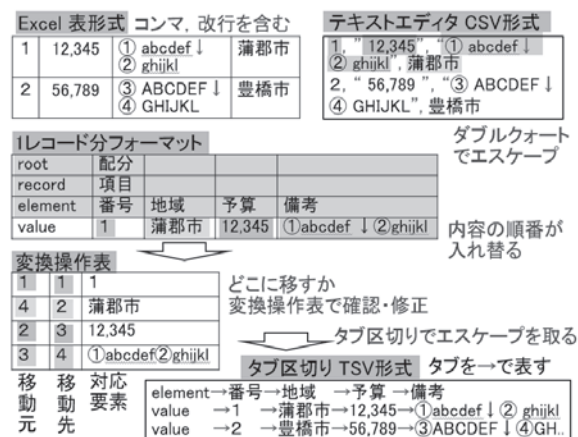


Fig.7 各プログラムでの操作

(2) HTML フォームの実装

上記で作ったプログラムを HTML フォームから操作できるようにする。HTML フォームは、ファイル書き込みを行うため、Windows の HTA (HTML Applications) として作った^[8]。その上で、JavaScript で動かし、Javascript から ActiveX のシェルを呼び出して、Perl プログラムを実行する^[10]。

横方向と縦方向のレコード走査については次のようにした。Excel の CSV データを、Perl プログラムで読取ったとき、データ全体を 2 次元配列に格納している。

レコード走査を、横方向に取るか、縦方向に取るかは、2 次元配列に格納するとき、列方向に入れるか、行方向に入れるかの選択になる。プログラムの構造は変わらない。プログラムが複雑になることを避けるため、takeout.pl と mapping.pl を横方向走査と縦方向走査の 2 通りのバージョンを用意し、HTML フォームも横方向走査版と縦方向走査版の 2 つを作った。

HTML フォームの外観を Fig.8 に示す。HTML フォーマット上で、次の 5 種類のデータを表示できるようにした。

- (a) Excel の CSV データ
- (b) 予め用意する 1 レコードのフォーマット
- (c) 変換操作表
- (d) 全レコードタブ区切りファイル
- (e) 生成される XML 文書

HTML フォームに設定するパラメータは、Excel から作った CSV 形式で項目の始まる列 / 行の番号だけとした。レコード走査が横方向の場合は列番号を用い、レコード走査が縦方向の場合は行番号を用いる。

5. 評価

(1) 評価用データ

評価用データにより、ダブルクォートのエスケープ内のコンマと改行が保持されることを確かめる。これとともに、レコード走査が横方向と縦方向が変換できることを確かめるため、2種類のデータで調べた。

(2) 変換前に用意する1レコード分フォーマット

予め用意しておく1レコード分のCSVデータのExcel表示をFig.11 (a1), Fig.12 (a2)に示す。このデータはCSV連携XMLライブラリをベースにしており、項目名と項目内容が1ファイルに書けるので、見通しがよい。

(イ) 研究室蔵書目録のExcelデータでは、変換操作表によって、項目順番の入れ替え、削除ができることを確かめるため、「分類」の項目を前に出し、「関連」と「ISBN」の項目を外した。

(3) 変換操作表

ExcelからのCSVデータと、1レコード分フォーマットを対比して、どの項目が変換後、どこに置かれるかを識別する。Fig.11 (b1), Fig.12 (b2)は、(イ)と(ロ)の変換操作表である。

Fig.11 (b1)はレコード走査が横方向であるので、変換元の項目内容の位置をA列が行、B列が列が示し、変換先位置をC列が行、D列が列を示している。E列以降は参考までに、どんな項目内容かを示している。従って、最初の項目内容は、0行から数えて3行目から始まることを示している。

Fig.12 (b2)はレコード走査が縦方向であるので、変換元の項目内容の位置はA列が列、B列が行を示し、変換先位置はC列が行、D列が列を示している。E列以降は参考までに、どんな項目内容かを示している。従って、最初の項目内容は、0列から数えて12列目から始まることを示している。Fig.8の例では、(ロ)データの変換用フォームのStart positionは、12と指定している。

項目内容がダブっている場合や、項目内容が書いてない場合は、変換操作表の対応する場所は空欄になる。このため、別途、その項目内容がどこに置かれるかを、修正で指定する必要がある。

(4) 全レコードのTSV(タブ区切り)データ

1レコード分CSVデータと変換操作表を用いて、ExcelのCSVデータを、中間ファイルであるTSVデータに直す。TSVデータをFig.11 (c1)とFig.12 (c2)に示す。この変換は機械的なので、変換操作表が、きちんとできていれば、この操作は大体、うまく行く。

(5) 変換されたXML文書

TSVファイルを変換して、最終結果として、得られるXML文書をFig.11 (d1)とFig.12 (d2)に示す。Fig.11(d1)では項目内の改行を
に変換して出力するようにした。これはXMLにおける実体参照であり、テキストエディタでは表示されるが、Webブラウザでは表示されない。Fig.12(d2)では項目内容で数値の3桁ごとの区切り記号のコンマが、再現されている。これにより、レコード走査が横方向でも縦方向でも、きちんと変換できることが確かめられた。

(6) 変換したXML文書の応用

総務省の都道府県別人口各年(2010～2014年)から作ったXML文書を用いて、CSV連携XMLライブラリにより、コマンドプロンプトでデータ処理を行った。Fig.13に示すように、人口の最大増加率と最小増加率の県を求めた。これをFig.13に示す。このようにExcelをXML文書に変換すれば、CUIでデータ処理が容易に行える。この程度の処理ならば、Excel関数を用いても行えるが、Excelシート内に埋め込むのではなく、データと

Fig.8 変換用 HTML フォーム

Table 1. 評価用 Excel データ

データ名	レコード走査	データの仕様
(イ) 研究室蔵書目録 (自作)	横方向 Fig.9	Excel データ 11.6KB 項目数 8 個 / レコード 10 レコード
(ロ) 都道府県別人口各年 (総務省 ^{[11])})	縦方向 Fig.10	Excel データ 100KB 項目数 48 個 / レコード 5 レコード (5 年分)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	評価用データ 研究室蔵書							
2								
3	題名	副題	著者	分類	関連	発行所	発行年月	ISBN
4	XML and Javascriptシステム 開発	Webアプリケーションによる	高羽 実	書籍	XML	秀和システム	2001年7月	4-7980-01310-7
5	実例で学ぶXML		Beneit Marchal /鷺谷好輝訳	書籍	XML	インプレス	2000年7月	4-8443-1381-9
6	画像情報符号化	映像情報メディア基幹 技術シリーズ 映像情報メディア学会	貴家仁志/吉田俊	書籍	画像圧縮	コロナ社	2008年4月	978-4-339-01267-5
7	MP3もMPEG-4もよく分かる 音声and画像処理の常識	デジタル・デザイン, テクノロジー N0.6 2010 SUMMER	多数	雑誌	画像圧縮	CQ出版社	2010年8月	
8	圧縮アルゴリズム	符号化の原理とC言語 による実装	昌達K'z	書籍	圧縮一般	ソフトバンク パブリッシング	2003年11月	4-7973-2552-6
9	アルゴリズムとデータ構造	第2版 プログラミング の宝箱	紀平拓男/春日伸	書籍	圧縮一般	ソフトバンク クリエイティブ	2012年11月	978-4-7973-6328-9
10	C言語による最新アルゴリズム 事典		奥村晴彦	書籍	辞典	技術評論社	2009年6月	4-87408-414-1
11								

Fig.9 (イ) 研究室蔵書目録のデータ

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
4									第5表 都 道 府 県, 男 女 別				
5									Table 5. Population by Sex for Prefectures				
6													
7													
8													
9													
10								総 人 口	男 女 計				
11								Total population	Both sexes				
12								都 道 府 県					
13								平成22年	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	
14													
15								Prefectures	2010	2011	2012	2013	2014
16													
17								*					
18													
19								全 国 Japan	128,057	127,799	127,515	127,298	127,083
20								01 北 海 道 Hokkaido	5,508	5,486	5,460	5,431	5,400
21								02 青 森 県 Aomori-ken	1,373	1,363	1,350	1,335	1,321
22								03 岩 手 県 Iwate-ken	1,330	1,314	1,303	1,295	1,284
23								04 宮 城 県 Miyagi-ken	2,348	2,327	2,325	2,328	2,328
24								05 秋 田 県 Akita-ken	1,086	1,075	1,063	1,050	1,037

Fig.10 (ロ) 都道府県別人口のデータ

	A	B	C	D
1	root	研究室蔵書		
2	record	蔵書		
3	element1	分類		
4	element2	題名	副題	
5	element3	著者	発行所	発行年月
6	value1	書籍		
7	value2	XML and Javascriptシステム	Webアプリケーションによる	
8	value3	開発	実用的データ処理と応用	
9	value4	高羽 実	秀和システム	2001年7月

(a1) 1レコード分 CSV データ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	3	3	0	1	書籍				
2	3	0	1	1	XML and Javascriptシステム開発				
3	3	1	1	2	Webアプリケーションによる実用的データ処理と応用				
4	3	2	2	1	高羽 実				
5	3	5	2	2	秀和システム				
6	3	6	2	3	2001年7月				

(b1) 変換操作表

1	root→	研究室蔵書→	→	→	→	→	→	↓
2	record→	蔵書→	→	→	→	→	→	↓
3	element1→	分類→	→	→	→	→	→	↓
4	element2→	題名→	副題→	→	→	→	→	↓
5	element3→	著者→	発行所→	発行年月→	→	→	→	↓
6	text→	*****↓						
7	value1→	書籍↓						
8	value2→	XML and Javascriptシステム↓						
9	開発→	Webアプリケーションによる↓						
10	実用的データ処理と応用↓							
11	value3→	高羽実↓	秀和システム→	2001年7月↓				
12	text→	*****↓						
13	value1→	書籍↓						
14	value2→	実例で学ぶXML↓						
15	value3→	Beneit Marchal↓						
16	/鷗谷好輝訳→	インプレス→	2000年7月↓					
17	text→	*****↓						
18	value1→	書籍↓						
19	value2→	画像情報符号化→映像情報メディア基幹↓						
20	技術シリーズ↓							
21	映像情報メディア学会↓							
22	value3→	貴家仁志/吉田俊之/鈴木輝彦/広明敏彦→	コロナ社→	2008年4月↓				

(c1) TSV データ (→はタブを示す)

1	<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2	<研究室蔵書>
3	<text>*****</text>
4	<蔵書>
5	<分類>書籍</分類>
6	<題名>XML and Javascriptシステム</題名>
7	<副題>Webアプリケーションによる</副題>
8	<著者>高羽実</著者>
9	<発行所>秀和システム</発行所>
10	<発行年月>2001年7月</発行年月>
11	</蔵書>
12	<text>*****</text>
13	<蔵書>
14	<分類>書籍</分類>
15	<題名>実例で学ぶXML</題名>
16	<副題></副題>
17	<著者>Beneit Marchal</著者>
18	<発行所>インプレス</発行所>
19	<発行年月>2000年7月</発行年月>
20	</蔵書>
21	<text>*****</text>
22	<蔵書>
23	<分類>書籍</分類>
24	<題名>画像情報符号化</題名>
25	<副題>映像情報メディア基幹</副題>
26	<著者>貴家仁志/吉田俊之/鈴木輝彦/広明敏彦</著者>

(d1) XML 文書

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	root	都道府県別総人口							
2	record	男女計							
3	element1	年	全国						
4	element2	北海道	青森県	岩手県	宮城県	秋田県	山形県	福島県	
5	element3	茨城県	栃木県	群馬県	埼玉県	千葉県	東京都	神奈川県	
6	element4	新潟県	富山県	石川県	福井県	山梨県	長野県		
7	element5	岐阜県	静岡県	愛知県	三重県	滋賀県			
8	element6	京都府	大阪府	兵庫県	奈良県	和歌山県			
9	element7	鳥取県	島根県	岡山県	広島県	山口県			
10	element8	徳島県	香川県	愛媛県	高知県				
11	element9	福岡県	佐賀県	長崎県	熊本県	大分県	宮崎県	鹿児島県	沖縄県
12	value1	平成22年	128,057						
13	value2	5,506	1,373	1,330	2,348	1,086	1,169	2,029	
14	value3	2,970	2,008	2,008	7,195	6,216	13,159	9,048	
15	value4	2,374	1,093	1,170	806	863	2,152		
16	value5	2,081	3,765	7,411	1,855	1,411			
17	value6	2,636	8,865	5,588	1,401	1,002			
18	value7	589	717	1,945	2,861	1,451			
19	value8	785	996	1,431	764				
20	value9	5,072	850	1,427	1,817	1,197	1,135	1,706	1,393

(a2) 1レコード分 CSV データ

	A	B	C	D	E	F
1	12	12	0	1	平成22年	
2	12	18	0	2	128	57
3	12	19	1	1	5	506
4	12	20	1	2	1	373
5	12	21	1	3	1	330
6	12	22	1	4	2	348
7	12	23	1	5	1	86
8	12	24	1	6	1	169
9	12	25	1	7	2	29
10	12	26	2	1	2	970
11	12	27	2	2	2	8

(b2) 変換操作表

1	root→	都道府県別総人口→	→	→	→	→	→	→
2	record→	男女計→	→	→	→	→	→	↓
3	element1→	年→	全国→	→	→	→	→	↓
4	element2→	北海道→	青森県→	岩手県→	宮城県→	秋田県→	山形県→	福島県→
5	element3→	茨城県→	栃木県→	群馬県→	埼玉県→	千葉県→	東京都→	神奈川県→
6	element4→	新潟県→	富山県→	石川県→	福井県→	山梨県→	長野県→	→
7	element5→	岐阜県→	静岡県→	愛知県→	三重県→	滋賀県→	→	→
8	element6→	京都府→	大阪府→	兵庫県→	奈良県→	和歌山県→	→	→
9	element7→	鳥取県→	島根県→	岡山県→	広島県→	山口県→	→	→
10	element8→	徳島県→	香川県→	愛媛県→	高知県→	→	→	→
11	element9→	福岡県→	佐賀県→	長崎県→	熊本県→	大分県→	宮崎県→	鹿児島県→
12	text→	*****↓						
13	value1→	平成22年→	128,057↓					
14	value2→	5,506↓	1,373↓	1,330↓	2,348↓	1,086↓	1,169↓	2,029↓
15	value3→	2,970↓	2,008↓	2,008↓	7,195↓	6,216↓	13,159↓	9,048↓
16	value4→	2,374↓	1,093↓	1,170↓	806↓	863↓	2,152↓	
17	value5→	2,081↓	3,765↓	7,411↓	1,855↓	1,411↓		
18	value6→	2,636↓	8,865↓	5,588↓	1,401↓	1,002↓		
19	value7→	589↓	717↓	1,945↓	2,861↓	1,451↓		
20	value8→	785↓	996↓	1,431↓	764↓			
21	value9→	5,072↓	850↓	1,427↓	1,817↓	1,197↓	1,135↓	1,706↓
22	text→	*****↓						
23	value1→	平成23年→	127,799↓					
24	value2→	5,486↓	1,363↓	1,314↓	2,327↓	1,075↓	1,161↓	1,990↓

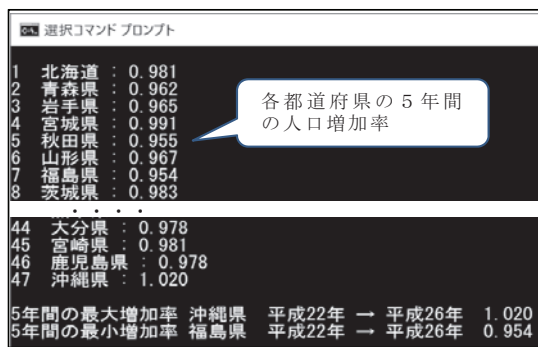
(c2) TSV データ (→はタブを示す)

1	<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2	<都道府県別総人口>
3	<text>*****</text>
4	<男女計>
5	<年>平成22年</年>
6	<全国>128,057</全国>
7	<北海道>5,506</北海道>
8	<青森県>1,373</青森県>
9	<岩手県>1,330</岩手県>
10	<宮城県>2,348</宮城県>
11	<秋田県>1,086</秋田県>
12	<山形県>1,169</山形県>
13	<福島県>2,029</福島県>
14	<茨城県>2,970</茨城県>
15	<栃木県>2,008</栃木県>
16	<群馬県>2,008</群馬県>
17	<埼玉県>7,195</埼玉県>
18	<千葉県>6,216</千葉県>
19	<東京都>13,159</東京都>
20	<神奈川県>9,048</神奈川県>
21	<新潟県>2,374</新潟県>
22	<富山県>1,093</富山県>
23	<石川県>1,170</石川県>
24	<福井県>806</福井県>
25	<山梨県>863</山梨県>
26	<長野県>2,152</長野県>
27	<岐阜県>2,081</岐阜県>
28	<静岡県>3,765</静岡県>
29	<愛知県>7,411</愛知県>
30	<三重県>1,855</三重県>
31	<滋賀県>1,411</滋賀県>
32	<京都府>2,636</京都府>
33	<大阪府>8,865</大阪府>
34	<兵庫県>5,588</兵庫県>
35	<奈良県>1,401</奈良県>
36	<和歌山県>1,002</和歌山県>
37	<鳥取県>589</鳥取県>
38	<島根県>717</島根県>
39	<岡山県>1,945</岡山県>
40	<広島県>2,861</広島県>
41	<山口県>1,451</山口県>
42	<徳島県>785</徳島県>
43	<香川県>996</香川県>
44	<愛媛県>1,431</愛媛県>
45	<高知県>764</高知県>
46	<福岡県>5,072</福岡県>
47	<佐賀県>850</佐賀県>
48	<長崎県>1,388</長崎県>
49	<熊本県>1,794</熊本県>
50	<大分県>1,171</大分県>
51	<宮崎県>1,114</宮崎県>
52	<鹿児島県>1,668</鹿児島県>
53	<沖縄県>1,421</沖縄県>
54	</男女計>
55	</都道府県別総人口>

(d2) XML 文書

Fig.11 (イ) 合同企業説明会の各データ

Fig.12 (ロ) 都道府県別人口の各データ



番号	都道府県	増加率
1	北海道	0.981
2	青森県	0.962
3	岩手県	0.965
4	宮城県	0.991
5	秋田県	0.955
6	山形県	0.967
7	福島県	0.954
8	茨城県	0.983
...		
44	大分県	0.978
45	宮崎県	0.981
46	鹿児島県	0.978
47	沖縄県	1.020

5年間の最大増加率	沖縄県	平成22年 → 平成26年	1.020
5年間の最小増加率	福島県	平成22年 → 平成26年	0.954

Fig.13 都道府県別人口の5年間の増加率を計算して、最大と最小の県を抽出

プログラムを独立させて、計算が行える。また、大量の文書をデータ処理するような場合は、XML 文書でのデータ処理の方が使い易いと考える。

6. 考 察

・CUI プログラムとして変換結果を確かめ、HTML フォームに組み込んだこのツールで作成された XML 文書を CSV 連携 XML ライブラリを用いて、応用でも使えることを確かめた。当初の設計方針通りに作れ、まずまず結果が得られたと考える。

今後、次のような工夫があると良いと思われる。

・予め用意する 1 レコード CSV データは、最初の 1 レコード目の項目内容を選んでいるが、これは項目内容がダブる場合とか、項目内容がない場合もある。そのときは、変換操作表を作った後で、修正が必要になる。これは項目内容ダブらない適当なレコードを与え、そこから変換操作表を作るよう方が良い。

・1 レコードのデータを用意するのは、項目名の順番変更、取捨選択を考えたためだが、削除する項目がない場合、項目名も取り込んで、もっと簡単に作れてもいい。これは今後、改善点として考える。

7. まとめ

Excel ファイルから XML 文書に変換するツールを作成した。HTML フォームから変換の操作ができるようにし、Excel の表形式について横方向と縦方向のレコード走査で、XML 文書が作れるようにした。今後、オープンデータが増えるに従って、この種のツールは必須になるものとする。このツールは CUI なので、一枚一枚の Excel データの変換に使う。一種類で大量の枚数の Excel データを変換したい場合は、コマンドプロンプト (DOS 窓) でバッチファイルを書いて対応することができる。Excel から CSV ファイルへの変換のバッチファイルは既にあるので^[12]、Perl プログラムのバッチファイルを書けばよい。なお、本ソフトウェアは愛知工科大学、Web サイトより公開している^[13]。

参考文献

- [1] 総務省のカタログページ <http://www.data.go.jp/>
- [2] 政府統計の窓口 (e-Stat)-API 機能 <http://www.e-stat.go.jp/api/>
- [3] 吉田 茂：CSV ファイルと連携して簡単に XML データ処理を行うライブラリ・ソフトウェアの検討，pp.57-66，愛知工科大学紀要 第 8 巻 (2010.3)。
- [4] 吉田 茂，安東伸明：CSV ファイルと連携して簡単に XML データ処理を行うライブラリ・ソフトウェアの検討 - 長い項目内容を持つ CSV ファイルの XML 文書への変換 -，pp.21-30，愛知工科大学紀要 第 9 巻 (2011.3)。
- [5] 杉山将平：Excel データから XML 文書への半自動変換，平成 28 年度愛知工科大学卒業論文 (2017.3)
- [6] Excel (CSV) から XML への変換 (エクスポート) 方法，<http://www.saka-en.com/offie/excel-export-to-xml/>。
- [7] Vector: S.Kasuya さん ダウンロード <http://www.vector.co.jp/vpack/browse/person/an025641.html>。
- [8] Perl ライブラリ無し縛り - 引用符内改行ありの CSV パース，<http://qiita.com/zetamatta/items/75b9113405b77f157faf>。
- [9] HTA によるスクリプトアプリケーション，<http://www.sm.rim.or.jp/~shishido/hta.html>。
- [10] WSH JScript を使いこなそう 〜 アプリケーション操作 〜，http://3rd.geocities.jp/kaito_extra/Source/.ApplicationCtrl.html。
- [11] 総務省，都道府県，男女別人口及び人口性比 - 総人口，日本人口 (平成 26 年 10 月 1 日現在) <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001132435>
- [12] くんととの備忘録：xls を csv に変換する BAT (xls2csv.bat) と csv を xls に変換する BAT (csv2xls.bat)，<http://www.kunst1080.net/entry/2013/03/31/165215>
- [13] 本ソフトウェアの公開 愛知工科大学 吉田研究室のデモページ <http://www-in.aut.ac.jp/~yoshida-lab/>。

IEC の概要と IEC SC48D の取り組みについて

杉浦伸明*

(2017年9月30日受理)

Overview of IEC Organization and IEC SC48D Activity

Nobuaki Sugiura*

(Received September 30, 2017)

Abstract

This article explains the outline of IEC, one of the international standardization organizations for the electrical and electronic area, and its activities. The author has been acting as a member of sub-committee (SC) 48D of Technical committee (TC) 48. So, this article mentions the activity of 48D and the merit of standardization.

Keywords: IEC, international standardization, TC48, SC48D

1. はじめに¹⁾

世界には196か国(日本政府が承認している国)が存在する。各国には産業があり、工業製品を製造して輸出入を行い、モノの流通が促進され、世界の国々が経済発展を続けている。このような中で、工業製品を設計製造するにあたり、各国が独自の仕様条件で勝手に機構構造物等の設計製作を進めていては、工業製品相互の接続や製品の相互互換性が維持できなくなってしまう。そのような点から、全世界の国々が共通条件で工業製品を設計、製造、使用できる、あるいは、相互に接続できるように機構構造や相互接続に関するインターフェース条件を決めている。この世界共通条件などを議論し、規格化を図っているのが国際標準化機関である。

この国際標準化機関として、一国一票の投票権を有して議論する形で運用されているのは、ITU (International Telecommunication Union: 国際電気通信連合)、IEC (International Electrotechnical Commission: 国際電気標準会議)、ISO (International Organization for Standardization: 国際標準化機構)である。本論文では、著者が関わっているIECについて、組織構成や標準化規格作成プロセス

の概要、及びSC48Dの標準化活動と産業との関係などについて示す。

2. IECについて^{1), 2)}

IECの法的地位は準政府機構であり、スイス民法60条等に従った社団法人で、本部はスイス・ジュネーブにある。

IECは、電気・電子技術及び関連技術に関する国際規格を開発し、発行するとともに、同分野における適合性評価に関する国際制度を管理、運営する国際機関である。

IECはIEC規格の活用を促進するため、国際標準化機関のISO (International Organization for Standardization)をはじめITU (International Telecommunication Union: 国際電気通信連合)、UNECE (United Nations Economic Commission for Europe: 国連欧州経済委員会)等の国際機関と密接な関係を持ちながら活動をしている。

IECはISOと1976年に協定を結び、IECは電気・電子技術分野、ISOはその他の工業技術分野を活動範囲と

* 愛知工科大学 工学部 情報メディア学科, 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
Department of Media Informatics, Aichi University of Technology, 50-2 Manori, Nishihasama-cho, Gamagori 443-0047

することになった。情報技術については、IEC と ISO でそれぞれ国際標準化活動をしていたが、1987 年 11 月に ISO/IEC JTC1 (Joint Technical Committee 1) を設立した。また、IEC と ISO は 1989 年に ISO/IEC 専門業務用指針を発行し、標準化手続きのルールを共通化した。

電気・電子分野において IEC の TC(Technical Committee: 専門委員会)や SC(Sub Committee: 分科委員会)が担当していない分野の国際標準化を促進するために、国際的に活動している標準化団体と個別に協定を結び、当該標準化団体の規格にダブルロゴを付した規格として発行できることを 2001 年に決定した。これに基づき 2002 年に IEEE (Institute Electrical and Electronics Engineers: 米国電気電子学会) と協定を結び、規格発行にあたり IEEE との協同となれば、IEC 規格に IEEE ロゴが付されることになった。

IEC は WTO (World Trade Organization: 世界貿易機関) など幾つかの政府機関とも協調関係を持っている。このため、輸出入における製品の条件に IEC との整合性を要求することもある。

IEC は地域機関、例えば、CENELEC (European Committee for Electrical Standardization: 欧州電気標準調整会議)、CANENA (Council for Harmonization of Electrical Standards of the Nations of the America: 米州電気技術標準調整会議)、ETSI (European Telecommunications Standards Institute: 欧州電気通信標準会議) 等の標準化機関と協力している。

2.1 歴史^{1),3)}

IEC の創設は 1906 年 6 月 26 日～27 日のロンドン会議で、アメリカ、イギリス、イタリア、オーストリア、オランダ、カナダ、スペイン、ドイツ、日本、ハンガリー、フランス、ベルギーの 13 カ国の代表によって電気技術産業に役に立つ国際規格を制定する規約を制定した事に始まる。

2.2 組織構成^{1),4)}

IEC は会員である NC(National Committee)、及び管理・執行・諮問機関並びに役員で構成される。NC は自国の電気関係(製造業者、使用者、政府官庁、学会、工業会等)を代表していることが要求される。UN (United Nations: 国際連合) が公式に認めている国であり、各国内の 1 機関だけが会員資格を認められ、NC として IEC 総会の承認を得て、IEC へ加盟して会員になる。日本は、日本工業標準調査会 (JISC) が日本国の標準機関として承認され加盟している。会員は正会員 (2017 年 3

月時点で 60 カ国) と準会員 (同 23 カ国) に分けられる。日本は正会員であり、年次分担金を支払っている。

運営組織は Fig.1 に示すように、総会 (IEC の最高意思決定機関) 評議会 (CB: Council Board)、執行委員会 (ExCo: Executive Committee)、運営諮問委員会 (MAC: Management Advisory Committee)、標準管理評議会 (SMB: Standardization Management Board)、適合性評価評議会 (CAB: Conformity Assessment Board)、市場戦略評議会 (MSB: Market Strategy Board) からなる。



Fig.1 IEC 組織図

<http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:63:0##ref=menu>

専門委員会となる技術委員会 (TC: Technical Committee) は現在 103 あり、TC 配下にある分科委員会 (SC: Sub Committee) は 78、テクニカルエリア (TA: Technical Area) は 14、作業グループ (WG: Working Group) は 546 ある。

IEC の役員は、会長、会長代理 (前会長又は次期会長)、副会長、財務監事及び事務総長である。会長は任期 3 年の 1 期である。会長職に就いた日本人は 3 名で、1977 年からの高木氏 (第 22 代)、2002 年からの高柳氏 (第 30 代)、2014 年からの野村氏 (第 34 代) である。副会長を務めた日本人は東迎氏で 1994 年から 4 年間務めた。

中央事務局 (CO: Central Office) はスイス・ジュネーブにおかれている。また、IEC 活動の世界全体への働きかけ等のために以下に示す 4 つの IEC 地域センターが置かれ、それぞれのセンターの主な役割等を以下に示す。

(1) IEC-APRC: シンガポール

アジア太平洋地域における IEC の認知度向上やアジア太平洋地域のニーズに沿った技術ワークショップ等の実施、テクニカルオフィサとして TC/SC の業務支

援をする。

(2) IEC-ReCNA：ウースター

北アメリカ地域センターで、テクニカルオフィサとして TC/SC の幹事国業務支援をする。

(3) IEC-LARC：サンパウロ

南アメリカ地域における IEC の認知度向上、IEC への参加促進などを行う。

(4) IEC-AFRC：ナイロビ

アフリカ地域における IEC の認知度向上、IEC への参加促進などを行う。

2.3 財政^{1), 5)}

IEC の財政を見ると、2017 年予算収入は 23,050,000 スイスフラン (CHF) (1 フランは約 114 円) で、その構成内訳は、会員の分担金 (46%)、ロイヤリティ (35%)、刊行物 (11%)、その他 (8%) である。

分担金は、自国の国民総生産、人口及び電力消費量を勘案して決める。日本は中国、フランス、ドイツ、イギリス、アメリカと同じ 892,200 スイスフランとして 8.25% の最高分担金を納めている。

2.4 国際議長・国際幹事

2017 年 4 月現在、103 の TC、78 の分科委員会において、日本人が国際議長を務めているのは 12 で、その内訳は TC で 6、SC で 6 である。国際幹事は 15 で、その内訳は TC で 10、SC で 5 である。国際議長の任期は 6 年で 3 年の更新が認められている。国際幹事には任期はない。著者は SC48D の国際議長を 2010 年から務めている。

2.5 日本における IEC 対応組織

IEC の加盟にあたり、日本は JISC (日本工業標準調査会) を全工業部門にわたる標準化機関として設立し、JISC を日本の NC として加盟した。事務局は、経済産業

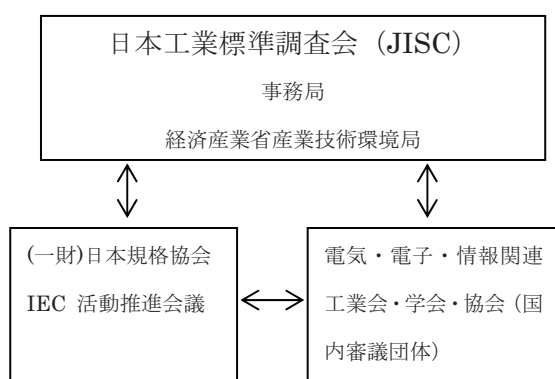


Fig.2 IEC 国内対応組織

省産業技術環境局である。工業分野の規格審議を行うため、JISC は国内の学会や工業会等に TC/SC の機能依頼をしている。その機能受け入れの学会や工業会の技術委員会等の団体が、対応する IEC TC/SC の規格審議を行っている。IEC 国内対応組織の概要を Fig.2 に示す。

2.6 国際規格の提案から発行までの流れ⁶⁾

国際規格開発の作業はプロジェクトとして番号付けされ、7つの開発段階の流れで具体的な作業が進められる。各段階で関連文書が作成される。各段階での対応文書を Table.1 に示す。

IEC 国際規格開発の手順の概要は次のようになっている。

Table.1 プロジェクトの段階と関連文書

プロジェクト段階	関連文書	
	名称	略語
予備段階	予備業務項目	PWI
提案段階	新業務項目提案	NP
作成段階	作成原案	WD
委員会段階	委員会原案	CD
照会段階	投票用委員会原案	CDV
承認段階	最終国際規格案	FDIS
発行段階	国際規格	IS

(1) 提案段階

提案された NP に対して担当する TC または SC の P メンバーによる投票が行われる。承認には、P メンバーの 2/3 以上が賛成し、賛成した P メンバーの 5 以上がプロジェクトに参加することが必要である。NP 承認が規格作成の起点となる。

ここで、P メンバーとは TC や SC に参加することを表明した NC で、TC/SC 内のすべての事案への投票義務を負い、業務に積極的に参加するとともに国際会議に出席しないといけない。これに対して、O メンバーは、文書の配布を受け、コメントの提出と会議出席への権利を持つ。という違いがある。

(2) 作成段階

担当する TC 又は SC の P メンバーが指名するエキスパートが WD を作成する。WD の承認は投票 P メンバーの 2/3 以上の承認が必要である。規格起点から 1 年以内が目安となっている。

(3) 委員会段階

TC 又は SC の P メンバー及び O メンバーの NC によ

って CD の議論が行われる。承認は P メンバーの 2/3 以上の承認が必要である。規格起点から 2 年以内が目安となっている。

(4) 照会段階

委員会段階を通過した規格案は、CO（中央事務局）から全ての NC に CDV が回付され、投票にかけられる。各 NC は賛成、反対、棄権のいずれかを明記する。賛成投票においても、編集上の専門的な意見を提出できることになっている。照会段階の承認には P メンバーの 2/3 以上の賛成と、反対が投票総数の 1/4 以下であることが必要である。規格起点から 33 カ月が目安となっている。この段階の承認が起点から 5 年で達しない場合は、予備段階に差し戻しとなる。

(5) 承認段階と発行段階

承認段階では全ての NC に FDIS が回付され、投票される。投票結果で承認されたら IS として発行される。起点から IS までの期間は 36 カ月とされている。

これまでの規格発行の大きな流れをまとめて Fig.3 に示す。

2.6 日本工業規格（JIS: Japanese Industrial Standards）との関係

1995 年に通商産業省より JIS と IEC などの国際規格とを整合させる指針が出された。これを受けて、JIS は IEC などの規格の翻訳を基本とするが、国内事情で整合しない部分とか、特例で条件を入れるなどといった場合も考慮する形で規格の同等性を次のように表示することになった。

(1) Identical (IDT)

国際規格を全体として国家規格に採用している。最低限の編集上の差異以外は全て一致している。

(2) Modified (MOD)

国際規格を修正して国家規格に採用している。国際規格との技術的内容及び規格の構成の変更が必要最低限で、技術的差異が明確に識別され、かつ、説明されている。

(3) Not equivalent (NEQ)

国家規格は技術的内容及び構成において国際規格と同等でない。

日本規格協会の Web サイト情報によれば 2016 年 3 月時点で JIS の発行数は 10,542 である⁷⁾。



Fig.3 規格作成の流れ

3. TC48 及び SC48D

3.1 歴史

TC48 は、1954 年に電子部品の関係委員会として発足した TC40 の小委員会を起源とする、「電子装置の電子機構部品 (Electromechanical components for electronic equipment)」の技術委員会として、1961 年に発足し、初会合が 1961 年 6 月、Interlaken で開催された。その際 4 つの SC 設立が決まった。

SC48A：電子管のソケットと付帯部品（1977 年 10 月解散）

SC48B：コネクター

SC48C：スイッチ

SC48D：電子装置の機構構造（1975 年発足）

1992 年に、SC48D の検討領域を反映する視点から、TC48 の委員会名称を「電子装置の機構構造と電子機構部品 (Electromechanical components and mechanical structures for electronic equipment)」と変更した。また、1992 年には領域の重複などを避けることから SC48C を TC48 より外し SC23J(装置用スイッチ)と融合した。

TC48 の委員会名称は対応する領域の拡大という事で 2013 年に Electrical connectors and mechanical structures for electrical and electronic equipment と改称された。

SC48D は Bodahl-Johnsen 氏が 1975 年に議長として就任し発足した。機構構造としてインチ系ベースの規格 (IEC 60297 シリーズ) 先行の中で、氏の下でメートル系ベースの規格 (IEC 60917 シリーズ) が 1988 年 Modular order 規格として発行された。以降、メートル系をベースに屋外系用装置用構造規格 IEC 61587 シリーズ、屋内系装置用筐体の試験規格 IEC 61587 シリーズが規格化された。さらに、機械的構造及びインターフェースから、電子装置用筐体の機械的強度や環境試験規格、電子装置

用筐体の冷却性能試験規格の検討へと SC48D として担う分野を広げていった。2001 年 9 月に Bodahl-Jonsen 氏の退任の後任として Wallers 氏が SC48D 議長に就任し、2010 年 10 月に著者が SC48D 議長に就任して、現在に至っている。現在 SC48D は 3 つの WG を有し、さらに新規に規格メンテナンスに向けたチームが 2017 年の国際会議にて発足した。

SC48D の P メンバーの NC は 10, O メンバーの NC は 17 である。国際幹事はドイツ NC が担っている。P メンバーと O メンバーの業務範囲は次のとおりである。

P メンバー: T/C 内での投票のために提出される事案, CDV の照会及び FDIS に対する投票の義務を負い、会議への出席等業務に積極的に参加する。

O メンバー: オブザーバとして会議出席の権利を有し、委員会文書の配布を受け意見を提出する。

なお、P メンバーとして参加した NC が継続してその活動が不活発である、連続して 2 回の TC/SC 会議への参加を怠る、投票に付された案件に投票を複数回怠るといった場合、改善通告を IEC 事務総長が NC に対し行う。通告を受けても十分な対応を NC が取らないと自動的に P メンバーから O メンバーに変更される。

日本国内の TC48 及び SC48D の委員会は電子通信学会内の機構部品専門委員会及び実装小委員会が当初対応していた。しかし、学会が電子通信学会、電子情報通信学会と変遷する中で、標準化活動の所管としての受け入れ議論が起こり、平成 11 年に日本電子機械工業会 (EIAJ: 平成 12 年に日本電子工業振興協会と合併し、現在は電子情報技術産業協会 (JEITA)) が TC48 関係の所管団体となった。SC48D の国内委員長は陣野氏、金子氏、小職、犀川氏がこれまで担っており、現在、登録された 27 名の国内委員で年に 4 回会合を持ち議論をしている。

3.2 規格化の分野及び関係規格

SC48D が現在規格審議を行っている技術分野及び関係する規格文書をまとめて Table 2 に示す。

SC48D には 3 つのワーキンググループ (WG) があり、WG2 は IEC 60917 を基本とする筐体の機構構造等の機能拡張、及び IEC 60297 と IEC 60917 を基本とする屋内の電子装置用筐体の環境及び機構構造強度などの試験方法、WG4 は IEC 60297 を基本とした筐体構造等の機能拡張、WG5 は筐体内冷却性能評価、を技術分野としている。これ以外に以前は WG3 があり、屋外装置用筐体の機構構造や試験方法であった。現在は、WG3 はなく、

Table 2 SC48D が規格化に取り組む技術分野と関係規格 (2017 年 8 月末時点)

Project Reference	Title	WG
IEC 61969-1 ED3	Mechanical structures for electronic equipment - Outdoor enclosures - Part 1: Design guidelines	MT 1
IEC 61969-3 ED3	Mechanical structures for electronic equipment - Outdoor enclosures - Part 3: Environmental requirements, tests and safety aspects	MT 1
IEC 60917-1 ED2	Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices - Part 1: Generic standard	WG 2
IEC 60297-3-110 ED1	Mechanical structures for electrical and electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) Series - Part 110: residential racks and cabinets for smart houses	WG 4
IEC 62610-2 ED1	Mechanical structures for electrical and electronic equipment - Thermal management for cabinets in accordance with IEC 60297 and IEC 60917 series - Part 2: Method for the determination of forced air cooling structure	WG 5
IEC 62966-1 ED1	Mechanical structures for electrical and electronic equipment - Aisle containment for IT cabinets - Part 1: Dimensions and mechanical requirements	WG 5
IEC 62966-2 ED1	IEC 62966-2/Ed.1.0: Mechanical structures for electronic equipment - Aisle containment for IT cabinets - Part 2: qualification of air flow, air separation and air conditioning requirements	WG 5

メンテナンスチームが WG3 の規格の見直しを進めている。

国際規格として発行されている規格の数は、WG2: 15, WG3: 3, WG4: 10, WG5: 7 である。発行されている規格群をまとめて付録に示す。

3.4 SC48D 規格と産業との関係

SC48D での規格化の作業分野は、IEC 60297 及び IEC 60917 を基本とする電子装置用筐体に関する構造や試験方法に関する。これらの筐体は、屋内及び屋外向けの電子装置の設計や運用において、使用されるものである。装置の実装階層としては、Fig.4 に示すような 4 階層モデルが適用されており⁶⁾、その基本概念は、Fig.5 に示すような 0.5mm モジュールを基本に部品・配線板、コネクタ、サブラック、キャビネット、部屋までが格子上にあるという概念に基づいている⁸⁾。

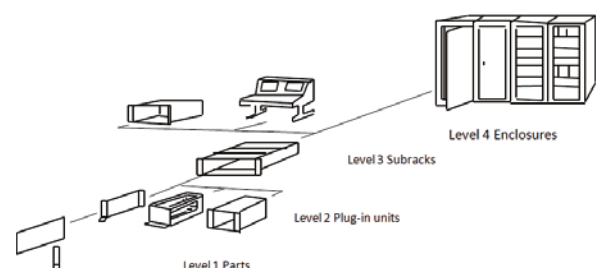


Fig.4 電子装置実装構成の 4 階層モデル

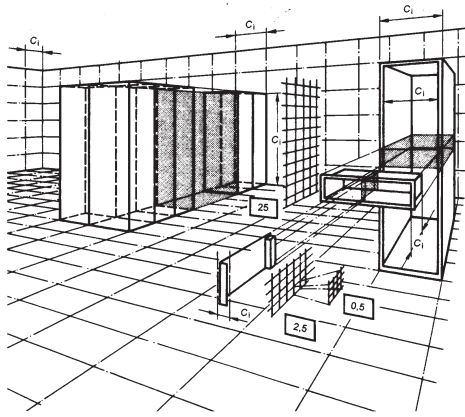


Fig.5 0.5mm 格子を基本とするモジュール構成の概念

規格化された筐体は、同一設計思想、同一の試験条件に基づく品質の保証が図られており、システム設計において、構造面での共通化が図られ、調達は全世界から行えることになる。このため、装置の信号処理等の機能設計での高度化が図られるという利点を有することになる。電子装置用筐体の標準化がもたらす利点を Fig.6 に示す^{9),10)}。

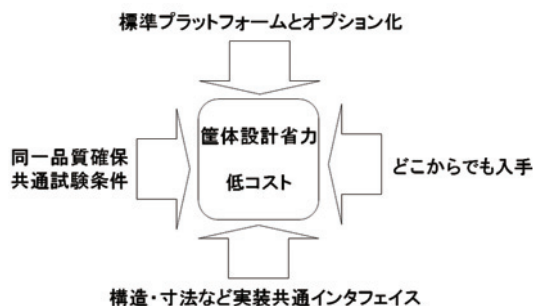


Fig.6 電子装置用筐体標準化の利点

4. まとめ

IEC(国際電気標準会議)の概要を示すとともに、著者が関わっている TC48/SC48D の標準化活動や技術分野、ならびに標準化の意義について示した。グローバル化の進展に伴い、製品開発における開発期間の短縮化やコスト低減が求められている。開発期間や物品調達の短縮に向け、標準化された製品活用の重要性が増している。今後、ますます、日本として世界の電気分野の標準化をリードすることが必要となってくる。

国際標準活動は、日本だけでなく、世界のための活動である。広い視野を持ち、世界の国々からの委員と意思疎通を図り、交渉し、まとめていく事になる。戦略的思考を持ち論理的に議論していくために、技術に関する知

見を持ち、外国人と対等に話し合いまとめていくことが必要となる。

参考文献

- 1 IEC の事業概要 2017 年度版, 一般財団法人 日本規格協会 IEC 活動推進会議発行, 2017 年 5 月 <http://www.iecapi.jp/business/index.htm>
- 2 International Electrotechnical Commission <http://www.iec.ch/>
- 3 IEC web サイト About IEC <http://www.iec.ch/about/history/>
- 4 IEC Web サイト About IEC/Who we are/Management structure <http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:63:0##ref=menu>
- 5 IEC Web サイト About IEC/Who we are/Organization and funding <http://www.iec.ch/about/profile/funding.htm>
- 6 IEC 規格制定の手順 <https://www.jisc.go.jp/international/iec-prcs.html>
- 7 JIS 発行数 <https://www.jsa.or.jp/guide/panfu.html>
- 8 IEC 60917: Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices
- 9 杉浦伸明: 電子装置用ラックの標準化と今後の進展, JEITA Review, 4[10], 32-36, (2003.10).
- 10 杉浦伸明: 電子装置用ラック選定における標準化の意義, CIAJ Journal, 40[10], 17-21(2003.10).

付録 IEC TC 48/SC48D が発行した国際規格群

WG2

2	IEC 60917-1:1998+AMD 1:2000 CSV	Edition 1.1	2009-11-25	Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices - Part 1: Generic standard
2	IEC 60917-1:1998	Edition 1.0	1998-09-17	Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices - Part 1: Generic standard
2	IEC 60917-1:1998/AMD 1:2000	Edition 1.0	2000-05-11	Amendment 1 - Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices - Part 1: Generic standard
2	IEC 60917-2:1992	Edition 1.0	1992-07-31	Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices - Part 2: Sectional specification - Interface co-ordination dimensions for the 25 mm equipment practice
2	IEC 60917-2:1:1993	Edition 1.0	1993-10-29	Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices - Part 2: Sectional specification - Interface co-ordination dimensions for the 25 mm equipment practice - Section 1: Detail specification - Dimensions for cabinets and racks
2	IEC 60917-2:2:1994	Edition 1.0	1994-04-25	Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices - Part 2: Sectional specification - Interface co-ordination dimensions for the 25 mm equipment practice - Section 2: Detail specification - Dimensions for subracks, chassis, backplanes, front panels and plug-in units
2	IEC 60917-2:3:2006	Edition 1.0	2006-05-09	Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices - Part 2-3: Sectional specification - Interface co-ordination dimensions for the 25 mm equipment practice - Extended detail specification - Dimensions for subracks,
2	IEC 60917-2:4:2010	Edition 1.0	2010-03-16	Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices - Part 2-4: Sectional specification - Interface co-ordination dimensions for the 25 mm equipment practice - Adaptation dimensions for subracks or chassis applicable in cabinets or racks in accordance with IEC 60297-3-100 (19 in)
2	IEC 60917-2:5:2012	Edition 1.0	2012-07-24	Modular order for the development of mechanical structures for electronic equipment practices - Part 2-5: Sectional specification - Interface co-ordination dimensions for the 25 mm equipment practice - Cabinet interface dimensions for miscellaneous equipment
2	IEC 61587-1:2016	Edition 4.0	2016-12-07	Mechanical structures for electronic equipment - Tests for IEC 60917 and IEC 60297 series - Part 1: Environmental requirements, test set-up and safety aspects for cabinets, racks, subracks and chassis under indoor condition use and transportation
2	IEC 61587-2:2011	Edition 2.0	2011-08-25	Mechanical structures for electronic equipment - Tests for IEC 60917 and 60297 - Part 2: Seismic tests for cabinets and racks
2	IEC 61587-3:2013	Edition 2.0	2013-02-06	Mechanical structures for electronic equipment - Tests for IEC 60917 and IEC 60297 - Part 3: Electromagnetic shielding performance tests for cabinets and subracks
2	IEC 61587-4:2012	Edition 1.0	2012-08-13	Mechanical structures for electronic equipment - Tests for IEC 60917 and IEC 60297 series - Part 4: Combination of performance levels for modular cabinets
2	IEC 61587-5:2013	Edition 1.0	2013-12-10	Mechanical structures for electronic equipment - Tests for IEC 60917 and IEC 60297 - Part 5: Seismic tests for chassis, subracks and plug-in units
2	IEC 61587-6:2017	Edition 1.0	2017-05-19	Mechanical structures for electrical and electronic equipment - Tests for IEC 60917 and IEC 60297 series - Part 6: Security aspects for indoor cabinets

WG3

3	IEC 61969-1:2011	Edition 2.0	2011-11-17	Mechanical structures for electronic equipment - Outdoor enclosures - Part 1: Design guidelines
3	IEC 61969-2:2011	Edition 2.0	2011-11-17	Mechanical structures for electronic equipment - Outdoor enclosures - Part 2: Coordination dimensions
3	IEC 61969-3:2011	Edition 2.0	2011-11-17	Mechanical structures for electronic equipment - Outdoor enclosures - Part 3: Environmental requirements, tests and safety aspects

WG4

4	IEC 60297-3-100:2008	Edition 1.0	2008-11-26	Mechanical structures for electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series - Part 3-100: Basic dimensions of front panels, subracks, chassis, racks and cabinets
4	IEC 60297-3-101:2004	Edition 1.0	2004-08-17	Mechanical structures for electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series - Part 3-101: Subracks and associated plug-in units
4	IEC 60297-3-102:2004	Edition 1.0	2004-08-17	Mechanical structures for electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series - Part 3-102: Injector/extractor handle
4	IEC 60297-3-103:2004	Edition 1.0	2004-08-17	Mechanical structures for electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series - Part 3-103: Keying and alignment pin
4	IEC 60297-3-104:2006	Edition 1.0	2006-05-09	Mechanical structures for electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series - Part 3-104: Connector dependent interface dimensions of subracks and plug-in units
4	IEC 60297-3-105:2008	Edition 1.0	2008-11-26	Mechanical structures for electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series - Part 3-105: Dimensions and design aspects for 1U high chassis
4	IEC 60297-3-106:2010	Edition 1.0	2010-03-16	Mechanical structures for electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series - Part 3-106: Adaptation dimensions for subracks and chassis applicable with metric cabinets or racks in accordance with IEC 60917-2-1
4	IEC 60297-3-107:2012	Edition 1.0	2012-01-10	Mechanical structures for electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series - Part 3-107: Dimensions of subracks and plug-in units, small form factor
4	IEC 60297-3-108:2014	Edition 1.0	2014-09-09	Mechanical structures for electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series - Part 3-108: Dimensions of R-type subracks and plug-in units
4	IEC 60297-3-109:2015	Edition 1.0	2015-11-23	Mechanical structures for electrical and electronic equipment - Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series - Part 3-109: Dimensions of chassis for embedded computing devices

WG5

WG5

5	IEC 62194:2005	Edition 1.0	2005-08-12	Method of evaluating the thermal performance of enclosures
5	IEC TS 62454:2007	Edition 1.0	2007-10-10	Mechanical structures for electronic equipment - Design guide: Interface dimensions and provisions for water cooling of electronic equipment within cabinets of the IEC 60297 and IEC 60917 series
5	IEC TS 62610-1:2009	Edition 1.0	2009-09-16	Mechanical structures for electronic equipment - Thermal management for cabinets in accordance with IEC 60297 and IEC 60917 series - Part 1: Design guide: Interface dimension and provision for thermoelectrical cooling systems (Peltier effect)
5	IEC TS 62610-2:2011	Edition 1.0	2011-07-26	Mechanical structures for electronic equipment - Thermal management for cabinets in accordance with IEC 60297 and IEC 60917 series - Part 2: Design guide: Method for determination of forced air-cooling structure
5	IEC TS 62610-3:2009	Edition 1.0	2009-12-14	Mechanical structures for electronic equipment - Thermal management for cabinets in accordance with IEC 60297 and IEC 60917 series - Part 3: Design guide: Evaluation method for thermoelectrical cooling systems (Peltier effect)
5	IEC 62610-4:2013	Edition 1.0	2013-08-15	Mechanical structures for electronic equipment - Thermal management for cabinets in accordance with IEC 60297 and IEC 60917 series - Part 4: Cooling performance tests for water supplied heat exchangers in electronic cabinets
5	IEC 62610-5:2016	Edition 1.0	2016-04-20	Mechanical structures for electrical and electronic equipment - Thermal management for cabinets in accordance with IEC 60297 and IEC 60917 series - Part 5: Cooling performance evaluation for indoor cabinets

1. 著 書

石原裕二:「自動車の空力技術」, 流体技術部門委員会編, 1.3 節, 6.1 節, 6.5 節, 6.6 節, 公益財団法人自動車技術会 発行, (2017.9.8).

荒川俊也: 生体情報センシング技術とヘルスケア、健康管理への最新応用 第 1 章「生体情報の計測ノウハウとデータ解析、評価のポイント ～心拍、脈波、血圧、脳波、呼吸、発汗～」, 株式会社技術情報協会, pp.3-16 (2017).

荒川俊也: 生体データ活用の最前線 ～スマートセンシングによる生体情報計測とその応用～ 第 7 章 第 1 節「ドライバーモニタリングのニーズとドライバー状態検出・推定手法」, サイエンス&テクノロジー株式会社, pp.405-426 (2017).

大西正敏, 平野重雄: JIS にもとづく標準製図法, 第 14 版全訂版, オーム社 (2017.11).

磯貝正弘: ロボット制御学ハンドブック, 第 22 章マイクロナノロボット 22.2 マイクロロボットの駆動原理とモデリング 22.2.1 電磁駆動型マイクロロボット, pp.713-714 (2017.12).

宇野新太郎他: 車載センシング技術の開発と ADAS, 自

動運転システムへの応用 第 9 章 第 1 節「近距離無線を用いた交差点安全支援技術の開発」, 株式会社技術情報協会 (2017.5)

中島守, 吉田昌央, 小野秀文, 高田富男, 平野博敏, 川村貴裕: 安全のこころえ (平成 29 年度版) 学校法人電波学園 愛知工科大学自動車短期大学 (2017.3) .

中島守, 河合末利, 森勝行, 永田英雄, 服部幸廣, 高田浩充: 新編 工学基礎 (平成 29 年度版) 学校法人電波学園 愛知工科大学自動車短期大学 (2017.3) .

中島守, 掛布知仁, 高田浩充, 森勝行, 吉田昌央: 基礎数学 (平成 29 年度版) 学校法人電波学園 愛知工科大学自動車短期大学 (2017.3) .

中島守, 川合宏之, 鈴木貴晃: 自動車 車検・整備ハンドブック (改訂第 4 版), 精文館 (2017.4).

高田富男: ガイドブック法学 第 2 章「国家と法律の基礎知識①—統治機構」, 嵯峨野書院, pp.11-32 (2017.6).

坂本龍雄, 田中豊穂, 安井謙他: テキスト健康科学改訂第 2 版, 竹内康浩・田中豊穂監修, 南江堂 (2017.2.1)

2. 論文 / 国際会議

椎名保顕: 三角管上に置かれた氷の接触融解、愛知工科大学紀要第 14 巻, pp19-24 (2017.3).

荒川俊也: ドライバモニタリングシステムの技術動向と展望, 愛知工科大学紀要, 第 14 巻, pp.55-61 (2017.3).

荒川俊也, 杉森順子: アート作品を用いたデザイン思考型モノづくり教育の実践, 日本設計工学会誌, 採録決定 (早期公開中).

Manabu Ohmichi, Naotake Noda, Naofumi Sumi: Plane heat conduction problems in functionally graded orthotropic materials, Journal of Thermal Stresses, Vol.40, No.66, pp.747-764, (2017.6).

荒川俊也, 井藤良温: 「修学形成 2」における「役に立たないモノづくりコンテスト」の実践, 工学教育, Vol.65, No.5, pp.98-103 (2017).

Toshiya Arakawa: Validity of detection of driver's surprised state based on systolic blood pressure, Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers, Vol.5, No.3, pp.136-140 (2017).

荒川俊也: 「意欲」「人間性」「能力」をバランス良く養うための数学系科目の授業設計と実践, 工学教育, Vol.65, No.3, pp.42-48 (2017).

荒川俊也: シバヤギの発情予測手法の提案と評価, 日本機械学会論文集 Vol.83, No.848, p.16-00447 (2017).

Tsutomu Kusuha, Tatsuya Shinkai, Kazuki Yoshida, Mitsunobu Kajitani: Development on Internal EGR Feedback Control Based on Ion Current, SAE Technical Paper 2017-01-0793 (2017).

Toshiya Arakawa: Modeling of the Feeling of Visibility Reduction by the Right-A Pillar of a Japanese Vehicle and Evaluation of Visibility using the K-means Method, ICIC Express Letters, Vol.11, No.3, pp.657-664 (2017).

荒川俊也, 遠藤なつ美, 加賀翔太郎, 田中知己: シバヤギの発情行動推定と発情検出システムの開発, 研究集会「最適化: モデリングとアルゴリズム 29」統計数理研究所共同研究レポート, 387, pp.180-188 (2017).

荒川俊也: 高校生向け PBL 型教育を通じた自動車工学

と予防安全技術への関心向上策, 工学教育, Vol.65, No.1, pp.94-99 (2017).

Toshiya Arakawa: Driver Attention Based on Eye-movement and Time-series Analysis - Concept of Driver State Detection Devices, American Journal of Mechanical Engineering, Vol.5, No.1, pp.18-23 (2017).

Shiu Mochiyama, Ryo Takahashi and Takashi Hikihara: Trajectory Control of Manipulator Fed by Power Packets, International Journal of Circuit Theory and Applications, vol. 45, pp. 832-842 (2017.6).

Ryo Takahashi, Shun-ichi Azuma, Mikio Hasegawa, Hiroyasu Ando and Takashi Hikihara: Power Processing for Advanced Power Distribution and Control, IEICE Transactions on Communications, vol. E100-B, no. 6, pp.941-947 (2017.6).

Shiu Mochiyama, Ryo Takahashi and Takashi Hikihara: Close-loop Angle Control of Stepper Motor Fed by Power Packets, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol. 100-A, no. 7, pp. 1571-1574 (2017.7).

Michal Gloger, Goro Obinata, Eiichi Genda, Jan Babjak, Yanling Pei: Active Lower Limb Orthosis with One Degree of Freedom for People with Paraplegia, 2017 IEEE-RAS-EMBS International Conference on Rehabilitation Robotics (2017.8).

M. Onishi, T. Komo and N. Tamiya: Engineering Design using A Small Autonomous Robot for Student Education, The 4th International Conference on Design Engineering and Science, 151 (2017.9).

Shiu Mochiyama, Ryo Takahashi and Takashi Hikihara: A Study on close-loop control of manipulator by power packet density modulation, Proc. IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC 2017), pp. 512-525, Australia (2017.10).

磯貝正弘, 飯島徹: 足の振動特性を利用した電磁式マイクロ移動ロボットの機構と制御に関する研究 (旋回走行のための予備実験), 計測自動制御学会教育工学論文集, Vol.40, pp.50-52 (2017.12).

磯貝正弘, 飯島徹: 足の振動特性を利用した電磁式マイクロ移動ロボットの機構と制御に関する研究 (擬似的な旋回走行の基礎実験), 計測自動制御学会教育工学論文集, Vol.40, pp.53-55 (2017.12).

Masahiro Isogai: Wireless Remote Control for a Vibration-Driven Electromagnet-Type Moving Microrobot (Fabrication of Third Prototype Microrobot and Experimental Results for Straight Running and Turning), Proceedings of the 28th International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS), pp.218-223 (2017.12).

T. Itamiya, T. Iwai, T. Kaneko: Use of eXtensible Virtual Word Description Language (XVL) File to Embed Simply and Userfriendly Three-Dimensional Medical Data for PowerPoint

Presentation, The Journal of Craniofacial Surgery Volume 28, Number 1, pp.298-299 (2017.1).

吉田 茂: データ圧縮における Python プログラムの性能について, 愛知工科大学紀要 第 14 巻, pp.41-46 (2017.3).

加藤高明: デジタルコンテンツを活用した地域活性化・社会貢献, 愛知工科大学紀要 第 14 巻, pp.63-68 (2017.3).

李津, 實廣貴敏, 武田一哉: 単一マイクロホン入力音声から音響モデルを用いた発話者との距離推定, 愛知工科大学紀要, 第 14 巻, pp. 1-7 (2017.3).

杉森順子: 創作したオブジェへのプロジェクションマッピング《私の左眼は何を見ている》を事例として一, 愛知工科大学紀要, 第 14 巻, pp9-17(2017.3).

杉森順子: プロジェクションマッピングを活用した映像デザイン手法の提案, 愛知県立芸術大学大学院美術研究科美術専攻博士論文 (2017.3).

T. Itamiya, T. Iwai, T. Kaneko: The Holographic Human for surgical navigation using Microsoft Hololens, Proceedings of Laval Virtual ReVolution 2017, "TransHumanism++", open access journal, published by EPiC Series in Computing Article No. 3 (2017.3).

Shunsuke Fujioka, Takao Uchiyama, Kazuyoshi Tagawa, Koichi Hirota, Takuya Nojima, Katsuhito Akahane, Makoto Sato: Object Manipulation by Hand with Force Feedback, Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol.432, pp.261-266 (2017.7).

Ryo Kuriki, Kazuyoshi Tagawa, Hiromi T. Tanaka: A Fast Update Approach of a Stiffness Matrix for a Multi-Rate Finite Element Deformation Simulation, Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol.432, pp.257-260 (2017.7).

S. Mizutani, T. Nakagawa: Extended Overtime Policies for a Cumulative Damage Mode I, The 10th International Conference on Mathematical Methods in Reliability (MMR 2017), Grenoble, France (2017.7).

D. Mitsuno, K. Ueda, T. I. tamiya, T. Nuri, Y. Otsuki: Intraoperative Evaluation of Body Surface Improvement by an Augmented Reality System That a Clinician Can Modify, Plastic and Reconstructive Surgery Global Open, Vol 5, Issue 8, pp.1-8 (2017.8).

尾林史章, 小塚一宏: 視線計測による“歩きスマホ”時の視覚特性と歩行への影響, 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J100-A, No.9, pp.338-345 (2017.9)

Shintaro Uno: A Study on assistance for safe driving at a crossing with no traffic lights using 920MHz, ITS World Congress2017, AP-T0813 (2017.11).

S. Mizutani, S. Nakamura, T. Nakagawa: Modified Replacement Overtime Policy for Shock and Damage Model, The 17th Asia Pacific Industrial Engineering and Manage-

ment Systems Conference (APIEMS 2016), Taipei, Taiwan (2016.12).

鈴木宏和, 中島守, 永田英雄, 岩瀬正幸, 甲村一貴, 小野秀文: 公道走行用ソーラーカーの開発, 愛知工科大学紀要, 第 14 巻, pp.25-30 (2017.3).

Kohei Nakashima, Hiroshi Yamada, Kai Ishiko, Masao Yoshida: Cooling Characteristics of Air -Cooled Cylinder with Fins Slits, The 4th International Conference on Design Engineering and Science, ICDES 2017 (2017.9).

Masao Yoshida, Kohei Nakashima, and Kai Ishiko: Influence of Installation Angle on Cooling Characteristics of Cylinder with Fins in an Air-Cooled Motorcycle Engine, 設計工学, Vol.52, No.11, pp.673-682 (2017.11).

Akiko Eguchi, Masatoshi Sugiura: The acquisition process of canonical word order and adverb-fronting in young Japanese EFL learners. In M. Hirakawa, J. Matthews, K. Otaki, N. Snape & M. Umeda (Eds), Proceedings of PacSLRF2016, pp.47-52 (2017.3).

Akiko Eguchi: Acquisition of English plural -s by Japanese-speaking children: A cross-sectional study. The 19th Annual International Conference of Japanese Society for Language Sciences (JSLS), Handbook, pp.40-43 (2017.7).

Akiko Eguchi, Masatoshi Sugiura: L2 processing demand and learners' cognitive capacity: An exploratory study using a keystroke logging system. The 19th Annual International Conference of Japanese Society for Language Sciences (JSLS), Handbook, pp.170-171. (2017.7).

3. 特 許

中戸克彦、宇野新太郎: 交差点車両衝突防止装置、特許第 6204288 号, 発行日 2017 年 9 月 8 日

4. 解説・総説

荒川俊也: ドライブ状態モニタリング技術の最新研究動向と自動運転時代への課題, 車載テクノロジー, 2017 年 4 月号, pp.1-4 (2017).

斎藤卓也: 書評「スマホで動かす Arduino - Android と BLE で電子工作」, 計測自動制御学会 計測と制御 1, Vol.56, pp.53 (2017.1).

斎藤卓也: 基調講演「愛知工科大学が今年度立ち上げた IoT モノづくりコースの取組について」, 幸田町 IoT 推進ラボ選定記念講演会 (2017.10).

杉森順子: 【招待講演】プロジェクトマップの魅力と社会での最新産業応用事例, 主催: 愛知県庁建設部桂友会, 愛知県女性総合センター (2017.3.23).

杉森順子: 野依良治アカデミーサロン第 26 回 モデレー

ター, 名古屋大学高等研究院 (2017.5.26).

杉森順子: 【招待講演】プロジェクトマップの舞台裏, 名古屋大学科学普及市民サークル KagaQ (2017.8.3).

小塚一宏: 「歩行中・自転車運転中・クルマ運転中の“ながらスマホ”時の視線計測と危険性の考察, 技術情報協会 セミナー: 視線計測技術とその応用事例 (2017.10)

杉森順子: 食べて・遊べるデジタルアート展「SWEETS by NAKED」の視察, 芸術科学学会誌 DiVA, 43 号 pp24 - 25 (2017.12.30 発行).

板宮朋基: バーチャル・リアリティを活用した災害想定没入体験によるレジリエンス教育. 内閣官房 国土強靱化 民間の取組事例 353 (2017.5) .

5. 口頭発表

石谷直人 椎名保顕: 水平菱形管上に置かれた氷の融解実験, 日本機械学会東海学生会第 48 回学生員卒業研究発表講演会, 講演前刷集, No.323, pp.75-76 (2017.3).

堀田晃祥, 村上 新: 粘性流体を封入した円筒型ダイナミックダンパの研究, 日本機械学会東海学生会第 48 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, No.733, pp. 193-

194 (2017.3).

榊原稜介, 林寛幸, 山本照美: 圧入円環のある無限板の引張りによる応力集中 (全域接触の場合), 日本機械学会東海学生会第 48 回学生員卒業研究発表講演会, 講演前刷集, No.211, pp.33-34 (2017.3).

白藤伸弥, 梶谷満信 : 内部 EGR による燃焼変動の要因解析, 日本機械学会東海学生会, 第 48 回学生員卒業研究発表講演会, NO.231, pp.52-53 (2017.3).

山崎俊弥, 大森教平, 婦木日向, 荒川俊也 : 歩行時の絶え間ない振動と音声が「歩きにくさ」に及ぼす影響, 日本デザイン学会第 3 支部 H28 年度研究発表会 (2017.03.18).

眞鍋泰一, 荒川俊也 : デザインを重視した簡易的な義足開発手法の検討, 日本デザイン学会第 3 支部 H28 年度研究発表会 (2017.03.18).

荒川俊也 : 生体データを活用したドライバ状態検出・推定システムの現状—パーティクルフィルタの適用に向けて, パーティクルフィルタ研究会 2017 年 3 月度研究会 (2017.3.22).

林寛幸, 山本照美, 朱甲男 : 圧入弾性円環を含む無限板の単軸引張りによる応力変化 (すきま領域のない場合), 日本設計工学会 2017 年度春季大会研究発表講演会, 講演論文集, pp.131-132 (2017.5).

荒川俊也, 加賀翔太郎, 大西正敏 : パーティクルフィルタを用いた鼻部トラッキングおよび皮膚温度計測によるストレス評価, パーティクルフィルタ研究会 2017 年 7 月度研究会 (2017.7.21).

安井健人, 瀧谷悠, 稲垣彰一郎, 杉森順子, 荒川俊也 : IoT とアートの融合—非接触センサを用いた可動式ミニチュアモニュメントの開発—, 三河中央「人・モノ・地域づくり」コンソーシアムモノづくり実践研究発表会 (2017.8.29).

荒川俊也 : 機械学習によるシバヤギの発情行動推定手法, 第 33 回ファジィシステムシンポジウム (2017.9.14).

荒川俊也, 榊原規彰, 近藤針次 : 超音波ドップラー方式による車載かつ連続計測可能な血圧計の開発, 産業応用工学会全国大会 2017 (2017.9.22).

大道 学 : 直交異方性傾斜機能材料の非定常熱伝導, 日本伝熱学会東海支部主催 第 28 回東海伝熱セミナー, 蒲郡荘, (2017.9).

荒川俊也, 日比亮輔, 藤城孝彰 : 自動運転システムの破綻時におけるドライバ状態の考察, 自動車技術会 2017 年秋季大会学術講演会 (2017.10.13).

山本照美, 林寛幸, 朱甲男 : 圧入球形介在物を含む無限体の一軸対称引張圧縮による応力分布, 日本材料学会第 15 回機械, 構造物の強度設計・安全性評価に関するシンポジウム, pp.33-36 (2017.10).

加賀翔太郎, 荒川俊也, 大西正敏 : 鼻部皮膚温度測定によるストレス検知システムの研究開発, 計測自動制御学会中部支部オープンラボ・若手研究発表会 (2017.11.30).

荒川俊也 : 生体情報の観点による自動運転システム破綻時の Human Factors の考察, 第 5 回愛知工科大学 ITS シ

ンポジウム (2017.12.1).

瀧谷悠, 荒川俊也 : 楽曲の音色推定における機械学習の適用, 日本知能情報ファジィ学会関西支部 学生研究発表会 (2017.12.9).

杉本淳, 井川博, 荒川俊也, 土谷隆 : 地方自治体の長期的公共インフラ管理政策立案と OR 的手法の活用についての考察—愛知県の橋梁管理を例として—, 都市の OR ワークショップ 2017 (2017.12.10).

福本優治, 山口瞬, 広中孝英, 永野佳孝, 金光拓也, 宮地茂 : 脳血管内治療用遠隔操作ロボットの操作デザインの検討と開発, 日本デザイン学会第 3 支部平成 28 年度研究発表会, pp.35-36 (2017.3).

富岡俊哉, 永野佳孝, 七條広樹, 藤本英雄 : 触るデザインのための軟質用硬度チャートと硬軟覚提示器の開発, 日本デザイン学会第 3 支部平成 28 年度研究発表会, pp.37-38 (2017.3).

名和靖彦 : 電子回路演習の取り組み, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 16a-P1-28 (2017.3).

奥津 泰志, 高橋 亮, 引原 隆士 : 交流電力ルータによるチョッピング動作に関する実験的検討, 平成 29 年 電気学会全国大会, p.105 (第 4 分冊) (2017.3).

片山 慎治, 高橋 亮, 引原 隆士 : 無線フィードバックによる電力パケットミキサの出力電力調整に関する実験的検討, 2017 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. S-51(基礎・境界 /NOLTA 講演論文集) (2017.3).

吉田 直充, 高橋 亮, 引原 隆士 : 電力パケットルータの双方向化に向けたモジュール回路に関する一検討, 2017 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. 248(通信講演論文集) (2017.3).

持山 志宇, 高橋 亮, 引原 隆士 : 高周波電力パケットによるモータ駆動のための回路構成, 2017 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. 35(基礎・境界 /NOLTA 講演論文集) (2017.3).

大西正敏, 藁谷明史, 田宮直 : SLAM 型案内ロボットの設計を通じた実践的教育の一考, 平成 29 年度日本設計工学会春季大会, pp.58-60 (2017.5).

館山武史 : 場面遷移ネットを用いた離散・連続混合システムのモデリング, パーティクルフィルタ研究会 (5/19 @ 愛知工科大学) (2017.5).

斎藤卓也, 秋山実穂, 前田 一朗, 宮里一慶, 山川啓介, 田宮直 : 小型自律移動ロボットの設計と ARLISS による実証評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 in 福島 2017, 2P2-A12 (2017.5).

片山 慎治, 高橋 亮, 引原 隆士 : 電力パケット伝送系への無線フィードバックの導入に関する実験的検討, 第 61 回システム制御情報学会講演論文集 (2017.5).

持山 志宇, 高橋 亮, 引原 隆士: 電力パケット給電によるモータ駆動へのフィードバック制御の適用, 第 61 回システム制御情報学会講演論文集 (2017.5).

舘山武史: 実社会システムの高度な AI 化を目指した機械学習技術の応用に関する研究, 電気学会研究会資料, Vol. ST-17-001 ~ 012, pp.11-16 (2017.6).

M. Onishi: Industrial Engineering Design for Student Education using Autonomous Robots, 2017 Japan Altair Technology Conference, Motion/MB0 session, No.3 (2017.7).

吉田 直充, 高橋 亮, 引原 隆士: 電力パケットの双方向伝送のためのルータに関する検討, Technical Report of IEICE, vol. 117, no. 157, EE2017-21, pp. 71--74 (2017.7).

永野佳孝, 西堀正洋, 泉孝嗣: 脳血管内手術用三次元画像ナビゲーションにおける非接触インターフェイス実装の試み, 第 17 回日本 VR 医学会学術大会, PP2-4, (2017.8).

斎藤卓也, 秋山実穂: 惑星探査ローバの ARLISS2016 における動作ログの分析, 情報処理学会 組込みシステムシンポジウム 2017, pp.112-113 (2017.8).

斎藤卓也, 秋山実穂: 惑星探査ローバにおける XBee の GPS 測位精度影響の研究, 情報処理学会 組込みシステムシンポジウム 2017, pp.114-115 (2017.8).

奥津 泰志, 高橋 亮, 引原 隆士: 交流電力ルータにおける 2 入力間の繰返し回線交換による電力変換に関する実験的一検討, 平成 29 年電気学会産業応用部門大会 (JIASC2017) 講演論文集, I-191--I-192 (2017.8).

舘山武史: 場面遷移ネットと隠れマルコフモデルを用いた不確定要素を含むサービスシステムのモデリング手法, 平成 29 年電気学会電子・情報・システム部門大会, CD-ROM (2017.9).

Miho Akiyama and Takuya Saito: Technical Introduction about Team SuperNOVA, ARLISS 2017 Technical Exchange Meeting, Nevada USA (2017.9.10).

Miho Akiyama and Takuya Saito: Result Report about Team SuperNOVA, ARLISS 2017 Breakfast Meeting, Nevada USA (2017.9.15).

横山智之, 林航輝, 川田剛大, マイケル グロガー, 大日方五郎, 裴 艶玲, 元田 英一: 下肢麻痺者のための単一モータアシスト装具: oneDHALO, 第 35 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2017) (2017.9).

永野佳孝, 西堀正洋, 泉孝嗣: 脳血管内手術用三次元画像ナビゲーションにおける非接触インターフェイスの高精度化, 日本コンピュータ外科学会誌 (第 26 回日本コンピュータ外科学会大会特集号), Vol.19, No.4, pp.281-282 (2017.10).

広中孝英, 永野佳孝, 宮地茂, 川口礼雄, 松尾直樹: 脳血管内治療用遠隔操作ロボットの開発 (第 2 報), 日本コンピュータ外科学会誌 (第 26 回日本コンピュータ外科

学会大会特集号), Vol.19, No.4, pp.310 (2017.10).

秋山実穂, 斎藤卓也: Team SuperNOVA ARLISS 2017 結果報告, 第 18 回 AUT 祭 2017 米国 ARLISS 2017 報告会 (2017.10.7).

片山 慎治, 高橋 亮, 引原 隆士: 無線フィードバックを適用した電力パケット伝送系の分散制御シミュレーションモデル, Technical Report of IEICE, vol. 117, no. 240, EE2017-31, pp. 1--6 (2017.10).

永野佳孝: 脳血管内治療における支援機器開発の取り組み, 第 27 回日本シミュレーション外科学会, Vol.25, No.1, pp.33 (2017.11).

川口礼雄, 宮地茂, 永野佳孝, 広中孝英, 松尾直樹, 高安正和: 血管内治療をロボットにやらせる一脳血管内治療遠隔操作ロボットの開発, 第 33 回 NPO 法人日本脳神経血管内治療学会学術総会, 2-P35-5 (2017.11).

舘山武史: 学習状況および環境の変化に適応可能な組織論に基づくマルチエージェント強化学習システム, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2017 (SSI2017), CD-ROM (2017.11).

高橋 亮: 電力パケット化装置開発, 平成 29 年度 京都地域スーパークラスタープログラム 第 2 回 回路・システム研究開発グループ研究会, 京都リサーチパーク (2017.11).

清水新悟, 昆恵介, 鎌田翔一郎, 裴艶玲, 大日方五郎: 正常アーチ足との機械的特性比較に基づく低アーチ足の衝撃吸収機能の補償, 第 25 回バイオメカニズム・シンポジウム, (2017).

尾林史章, 宮澤俊一, 松井竜太, 小塚一宏: 自動車運転中の“ながらスマホ”の影響と危険性の実験検証, 電子情報通信学会 信学技報 IEICE Technical Report ITS2016-81, pp.25-30 (2017.3)

水谷聡志, 中川覃夫: 累積損傷量を考慮したオーバタイム取替方策の拡張, 日本 OR 学会 2017 年度春季研究発表会アブストラクト集 (2017.3).

杉森順子, 東條仁, 富岡俊哉, 永野佳孝: デザインとモノづくりの教育を連携したエンタテインメントシステムの実施報告, 日本デザイン学会第 3 支部平成 28 年度研究発表会概要集, pp27-28 (2017.3).

瀧谷悠, 稲垣彰一郎, 安井健人, 杉森順子, 荒川俊也: 非接触センサーを用いた可動式ミニチュアモニュメントの開発, 日本デザイン社会第 3 支部, 平成 28 年度研究発表会概要集, pp29-30 (2017.3).

T.Itamiya, T.Iwai, T.Kaneko: The Mixed Reality Surgical Navigation using Holographic Computing, VRIC '17: the 2017 Virtual Reality International Conference (2017.3).

安井健人, 稲垣彰一郎, 瀧谷悠, 杉森順子, 荒川俊也: IoT モノづくりとアート作品「しなやかな次元」との融

合, パーティクルフィルタ研究会 2017 年 5 月度研究会, 愛知工科大学 (2017.5.19).

宇野新太郎: 920MHz を用いた交差点安全支援に関する検討、電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-15-3 (2017.9).

竹内聡希, 宇野新太郎: 920MHz を用いた交差点安全支援システムの検討、第 15 回 ITS シンポジウム 2A-01 (2017.12).

杉森順子, 永野佳孝: リアルタイム形状補正を用いた新しいプロジェクションマッピングコンテンツの検討、第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集、1A4-03 (2017.9).

藤本樹, 杉森順子: 日本国内におけるプロジェクションマッピング作品事例調査、第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集、1A3-03 (2017.9.27).

鈴木謙太郎, 原田慎一郎, 大坪和樹, 今井克典, 佐藤邦男, 板宮朋基: 触覚と視覚を連動させたローラー巻き込み事故疑似体験装置の開発、第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集、pp. 1E1-05 (2017.9) .

板宮朋基, 片山義英, 池田直廉, 川端信司, 梶本宜永, 黒岩敏彦: 外部センサ不要な複合現実デバイスを用いた脳神経外科手術支援・教育システムの開発と精度検証、第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集、pp. 1E2-03 (2017.9) .

田川和義, 田中弘美, 小森 優, 来見良誠, 森川茂廣: 遠隔指導・多様な術野での訓練を可能とする低侵襲 VR 手術シミュレータの研究開発、電気学会 知覚情報研究会 (2017.9) .

井垣友貴, 田川和義, 田中弘美: 指紋を有する指の記録・再生型 Stick-Slip シミュレーション、第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2017.9).

山内博貴, 田川和義, 広田光一, 田中弘美: Pom-Pom モデルに基づく和菓子粒子ベース変形シミュレーション、第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2017.9).

谷 典子, 田川和義, 田中弘美: 二分木探索と隣接探索を用いた柔軟物の接触計算の高速化、第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2017.9).

板宮朋基: スマートグラスを用いた複合現実感の手術ナビゲーションへの応用、第 62 回日本口腔外科学会総会・学術大会、日本口腔外科学会雑誌、Vol.63, pp.60 (2017.10) .

板宮朋基, 吉村達之: 3D 奥行きセンサを搭載したスマートフォンを用いた AR 災害疑似体験アプリの開発と防災

教育における活用、日本災害情報学会第 19 回学会大会、pp.122-123 (2017.10) .

板宮朋基: AR 拡張現実から MR 複合現実へ: 最新の技術動向と臨床応用の可能性、第 27 回日本シミュレーション外科学会、日本シミュレーション外科学会会誌、Vol.25, No.1, pp.34, (2017.11) .

板宮朋基: 複合現実 (Mixed Reality) 技術の口腔外科への応用、第 3 回日本顎顔面再建先進デジタルテクノロジー学会総会・学術大会、pp.27 (2017.11) .

尾林史章, 小塚一宏: ロードバイク運転時の運転者の視線特性と市街地走行時の危険性の考察、第 15 回 ITS シンポジウム 2017, No.3-A-08 (2017.12)

竹内聡希, 宇野新太郎: 920MHz を用いた交差点安全支援システムの検討、第 15 回 ITS シンポジウム 2A-01 (2017.12).

板宮朋基: Mixed Reality(複合現実)/Virtual Reality(人工現実) の防災教育・医学教育への応用、教育システム情報学会東海支部 12 月講演会 (2017.12) .

山田展資, 中島公平, 石河開, 吉田昌央: 切欠きフィン付き空冷シリンダの冷却特性、日本設計工学会 東海支部平成 28 年度研究発表講演会講演論文集、pp.5-8 (2017.3).

加藤寛, 中島守, 吉田昌央, 長谷川康和, 鶴飼達也: オートマティックトランスミッション実習授業でのタブレット端末の利用とその効果、全国自動車短期大学協会 自動車整備技術に関する研究報告誌 第 46 号, pp.31-34 (2017.12) .

平野博敏, 湊史仁, 高田浩充, 高田富男: ヘッドライト・シミュレーターの製作について、全国自動車短期大学協会 自動車整備技術に関する研究報告誌 第 46 号, pp.5-8 (2017.12) .

江口朗子: 第二言語のリスニング能力と音韻的作動記憶との関連性—課題・実験デザイン立案から、データ収集・分析、論文執筆に至るまで— (2016 年度 LET 学会賞受賞記念招待講演). 外国語教育メディア学会第 89 回春季中部支部研究大会 (2017.5).

江口朗子, 田村祐: タスク性の高いコミュニケーション活動の導入による発話の流暢さの発達—英語が苦手な大学生を対象とした実践報告—. 第 47 回中部地区英語教育学会長野大会 (2017.6).

江口朗子, 田村祐: 基礎英語の授業におけるタスク性の高いコミュニケーション活動の導入—学習者の情意的側面の分析からの示唆—. 第 57 回外国語教育メディア学会全国研究大会発表予稿集, pp.64-65. (2017.8).

6. その他

荒川俊也：実務で使える統計解析手法と使い分けのポイント, 株式会社テックデザイン主催講習会 (2017.3.21).

梶谷満信：D C モータ制御設計の基礎と実践ポイント, (株) 日本テクノセンター 技術セミナー, (2017.4) .

荒川俊也：運転時におけるドライバの視認性評価技術, 株式会社産業科学システムズ主催講習会「安全走行のためのドライバ視認性評価と自動車ライティング技術」(2017.4.14).

荒川俊也：ドライバ状態検出技術の現状と自動運転技術との関わり, 株式会社日本テクノセンター主催講習会「ドライバ状態検知技術の基礎と生体モニタリング・画像センシングの活用事例」(2017.4.21).

荒川俊也：眼球・瞳孔運動による自動車ドライバの状態検知技術, 株式会社技術情報協会主催講習会「ドライバ視線・視覚特性とその評価、車載 HMI への応用」(2017.5.12).

荒川俊也：自動運転時代に向けたドライバ状態検出・推定・制御技術と安全運転支援技術, 株式会社 R&D 支援センター主催講習会 (2017.5.22).

荒川俊也：自動車人間工学を例とした測定・解析のポイントと計測データの活用方法, 株式会社情報機構講習会 (2017.5.26).

荒川俊也：主成分分析と因子分析の基本と実践的解析テクニック, 株式会社テックデザイン主催講習会 (2017.7.3) .

荒川俊也：実録！「統計」騙しのテクニック, ラーニングフェスタ 2017 (2017 年 8 月 24 日) .

荒川俊也：AI・機械学習の基本と製造業での応用および導入の手引, 株式会社テックデザイン主催講習会 (2017.8.22) .

荒川俊也：自動車人間工学における統計解析の基礎, 自動車技術会主催講習会「自動車開発における人間工学の理論と実践—ドライバの特性を考えた車づくり—」(2017.9.12).

荒川俊也：研究開発・技術開発で役立つ統計的”検定”手法のポイント, 株式会社テックデザイン主催講習会 (2017.11.21) .

荒川俊也：夢の自動運転車～どこまで生活を豊かにするか？～, 県立鶴城丘高等学校模擬授業 (2017.11.22).

荒川俊也：産業導入のための AI・機械学習超入門, 株式会社 TH 企画セミナーセンター技術セミナー講師 (2017.11.24).

荒川俊也：機械学習のための推定・分類手法と最適

な活用事例, 株式会社日本テクノセンター主催講習会 (2017.12.12).

荒川俊也：各種センシング技術によるドライバー状態検出・推定の基礎・原理とその車載システム応用, サイエンス&テクノロジー株式会社主催講習会 (2017.12.13).

秋山実穂, 斎藤卓也：Team SuperNOVA (Genuino 101 Version), 種子島ロケットコンテスト CanSat 部門 Come-back コンペ出場, リタイア, 鹿児島県南種子町 (2017.3.2-4).

秋山実穂, 斎藤卓也：SuperNOVA 機体技術紹介, 能代宇宙イベント技術交流会 (2017.8).

秋山実穂, 斎藤卓也：Team SuperNOVA (Raspberry Pi Zero Version), 能代宇宙イベント UNISEC 缶サット競技出場, 準優勝, 秋田県能代市 (2017.8.17-22) .

Miho Akiyama and Takuya Saito：Team SuperNOVA (Raspberry Pi Zero and 3 Version), ARLISS 2017 Comeback Competition, 3rd Place, Nevada USA (2017.9.10-15).

杉森順子：プロジェクションマッピング作品, 作品ドキュメント 5 作品, プロジェクション展示 2 作品, 平成 28 年度博士作品展覧会, 愛知県立芸術大学芸術資料館 (2017.3).

小塚一宏, 尾林史章：「交通安全教室：“ながらスマホ”の危険性に関する講演と視線計測体験, 名古屋市立桜台高校 (2017.5)

板宮朋基：災害時に的確な避難を実現する啓発手法～VR/AR の活用～, 平成 29 年度防災・減災セミナー, 西尾市防災カレッジ (2017.7) .

加藤高明, 河井彩織：ビデオマッピング「笠寺の夏祭り」, 名古屋市南区笠寺観音商店街納涼夏祭り (2017.8.8-9)

杉森順子：プロジェクションマッピングの魅力と製作の舞台裏—東京駅からディズニールランドまで—, 高大連携講座ラーニングフェスタ 2017, 東三河・浜松地区高大連携協議会, 豊橋創造大学 (2017.8.24).

小塚一宏：“歩きスマホ”の危険性～クルマ・自転車運転中も含めて, 連合愛知 安全衛生研修会での講演 (2017.9)

小塚一宏：自転車運転中の“ながらスマホ”時の視線計測と危険性の考察～歩行時・クルマ運転中も含めて～, (株) 中電オートリースにおける交通安全教育での講演 (2017.10)

杉森順子：「出かける」乾久子報告会トークゲスト, 浜松市鴨江アートセンター (2017.10.8).

加藤高明, 河井彩織, 安倍タイキ：. 幸田町立南部中学校文化祭前夜祭, プロジェクションマッピング支援

(2017.10.27).

小塚一宏：“ながらスマホ”の危険性～クルマ／自転車運転中・歩行中，電波学園 部課長研修会での講演 (2017.11)

杉森順子：文化庁メディア芸術祭愛知展 企画，キュレーター (2017.11).

板宮朋基：福祉法人参加型訓練～災害想定を「わがこと」に～拡張現実 AR を活用した避難訓練，豊橋市第 13 回防災フェア (2017.12).

板宮朋基

- VR 津波体験ドライビングシミュレーター (以下 VR)
- AR 災害疑似体験アプリ Disaster Scope (以下 AR)
- ：高知県立山田高校 (香美市) AR (2017.1.31)
- ：震災対策技術展 (パシフィコ横浜) VR/AR (2017.2.2~3)
- ：東京都三鷹市立第七小学校 AR (2017.2.28)
- ：NTT 合同防災訓練 (弥富市) VR/AR (2017.3.3)
- ：京都市消防局右京消防署 AR (2017.5.18)
- ：TOKYO まちフェスタ (三鷹市) AR (2017.5.27)
- ：山ノ内町防火管理協議会通常総会 (長野県) AR (2017.6.23)
- ：全トヨタ労連 楽しい社会科まつり (豊田市) AR (2017.7.2)
- ：西尾市立白浜小学校 AR (2017.7.7)
- ：西尾市役所防災カレッジ AR (2017.7.15)
- ：豊川防災フェスタ (豊川市) AR (2017.7.16)
- ：京都市消防活動総合センター AR (2017.7.20)
- ：東三河地域防災協議会研究発表会 (蒲郡市) AR (2017.7.21)
- ：港防災センター (名古屋市) VR/AR (2017.7.23)
- ：浜名湖ミナトリング 2017 (湖西市) AR (2017.7.29)
- ：蒲郡まつり命を守る防災展 (2017.7.30)
- ：アジアクリエイティブ株式会社 (豊川市) AR (2017.8.1~3)
- ：浜松工業技術支援センターフェア (浜松市) AR (2017.8.4)
- ：トヨタ労働組合会館 BOSAI ラボ (豊田市) VR/AR (2017.8.5)

- ：体感型防災アトラクション (イーグレ姫路) AR (2017.8.6)
- ：名古屋市天白区くらしの防災セミナー (天白消防署) AR (2017.8.26)
- ：岐阜県建設業協会 工事現場見学会 (桑名市) AR (2017.8.29)
- ：東京都墨田区防災フェア (墨田区役所) AR (2017.9.10)
- ：茨城県土浦市立真鍋小学校 AR (2017.9.11)
- ：防災科学技術研究所本所 (つくば市) AR (2017.9.12)
- ：愛知県幸田町立南部中学校 AR (2017.9.13)
- ：サモア独立国 Lotopue Primary School, Satitoe Primary School, Ulutogia Primary School, Vailoa Primary School AR (2017.9.13~15)
- ：東京都墨田区総合防災訓練 (錦糸公園) AR (2017.9.24)
- ：静岡県掛川市立千浜小学校 AR (2017.10.13)
- ：蒲郡市立三谷東保育園 AR (2017.10.19)
- ：愛知県立蒲郡高校 AR (2017.10.20)
- ：日本災害情報学会第 19 回学会大会 (宇治市) AR (2017.10.22)
- ：田原市民まつり (田原文化会館) AR (2017.10.22)
- ：内閣府・愛知県地震・津波防災訓練 (武豊町) AR (2017.11.5)
- ：関西オフィス防災 EXPO (インテックス大阪) AR (2017.11.7~9)
- ：西尾市吉良町小山田町内会防災訓練 AR (2017.11.12)
- ：千葉県立矢切特別支援学校 (松戸市) AR (2017.11.15)
- ：愛知県立蒲郡東高校 AR (2017.11.15)
- ：あいち ITS ワールド 2017 (ポートメッセなごや) VR/AR (2017.11.23~26)
- ：防災・減災メッセ (サンライズ淡路：南あわじ市) AR (2017.11.26)
- ：蒲郡市市民総ぐるみ防災訓練 (西浦小学校) AR (2017.11.26)
- ：防災推進国民大会 2017 (仙台市) AR (2017.11.26~27)
- ：第 13 回豊橋市防災フェア (ライフポートとよはし) AR (2017.12.9)
- ：蒲郡市東松原町内会防災訓練 AR (2017.12.10)

愛知工科大学紀要規程

- 第1条 愛知工科大学および愛知工科大学自動車短期大学（以下本学という。）における学術研究の進歩と発展に貢献し、その成果を内外に公表することを目的として紀要を発行する。
- 第2条 紀要の名称は、「愛知工科大学紀要」とする。
- 第3条 愛知工科大学紀要の編集、発行等についてはこの規程の定めるところによる。
- 第4条 愛知工科大学紀要は、原則として、毎年3月に発行するものとする。
- 第5条 愛知工科大学紀要に投稿できる者は、本学専任教員、職員、その他本学教授会で認められた者とする。
- 第6条 投稿者は、別に定める愛知工科大学紀要投稿細則に従い愛知工科大学紀要編集委員会（以下編集委員会という。）に原稿を提出するものとする。
- 第7条 編集委員会は、投稿原稿を審査し、その採否を決定する。
2. 研究論文等については、前項の審査をするに当たり、学内外の学識経験者に査読を依頼するものとする。
- 第8条 愛知工科大学紀要の発行部数と送付先については、編集委員会が決定する。
- 第9条 この規程の改廃は、編集委員会の議を経て、本学教授会が行う。

附 則 この規程は、平成15年4月1日から施行する。

附 則 この規程は、平成19年4月1日から施行する。

愛知工科大学紀要投稿細則

- I. 愛知工科大学紀要の体裁，A4版，左開きとし，原則として横2段組みとする。
- II. 投稿原稿
 1. 投稿原稿は原則として未発表の論文・研究ノート・報告・翻訳・書評・資料・随筆等とする。ただし、既に発表したものでも、その旨明記し、また未発表の事項を含む場合は審査の対象となり得る。
 2. 原稿の長さの上限は原則として刷上がり10頁以内とする。
 3. 研究論文の投稿は1人につき1編を原則とする。ただし、共同研究者として主研究者以外に名前を連ねることは、その限りではない。
- III. 投稿原稿の体裁
 1. 原稿は日本語または英語を原則とする。
 2. 数字はアラビア数字を用い、数量の単位は原則として国際単位系による。
 3. 図、表は、コンピュータでプリントアウトするかトレースしたもの、また、写真はそのまま掲載できるようにしたものを用いる。これらの図、表、写真には必要に応じて縮尺または縦、横の寸法を入れるものとする。
 4. 原稿に図、表、写真を入れる位置を指定し、明示する。
 5. 日本語原稿の場合は英語表題と英語氏名をつけるものとする。
 6. 引用文献等は原則として最後に一括し、順に番号をつけて列記する。本文中では引用箇所を1)、2)等の上つき番号を記入する。引用文献の表記は原則として、編著者名、書名（または雑誌名、巻数）、発行年、発行所、ページの順とする。
 7. 論文には英語のアブストラクトおよび日本語と英語でキーワードをつけるものとする。
 8. 執筆に関する詳細は紀要委員会の指示によるものとする。
- IV. 投稿原稿の受付
 1. 投稿原稿は、紀要編集委員会に提出すること。
 2. 投稿原稿の締切日は、編集委員会が決めるものとする。
 3. 投稿原稿受理年月日は編集委員会が投稿原稿を受けた日とする。

Engineering Design using Autonomous Robots for Student Education (Practical Engineering Education with PDCA)	Naoshi Tamiya and Masatoshi Onishi	47
Practical Engineering Education through Lectures and Experiments	Takeshi Tateyama	53
Considerations of Partnerships between University, Region, Government and NPO	Komei Kato	59
A Semi-Automatic Conversion into XML document from Excel Data	Shigeru Yoshida and Shouhei Sugiyama	65
General remarks		
Overview of IEC Organization and IEC SC48D Activity	Nobuaki Sugiura	73

List of Publications during 2017.1 - 2017.12

愛知工科大学紀要 第15巻 平成30年3月25日

編集委員会

委員長 吉田 茂
 委員 椎名保顕 舘山武史
 服部幸廣

(五十音順)

発行者

学校法人 電波学園 愛知工科大学
 愛知工科大学自動車短期大学
 〒443-0047
 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
 TEL : 0533-68-1135
 FAX : 0533-68-0352
 URL : <http://www.aut.ac.jp/>

印刷 / 株式会社長尾印刷 / 〒438-0086 磐田市見付 1198 / TEL 0538-32-4702

BULLETIN
OF
AICHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Vol.15, 2017

CONTENTS

Papers

- Heat Transfer Augmentation by Natural Convection in Anisotropic Horizontal Porous Layers
..... Yasuaki Shiina 1
- Analysis of Two-Dimensional Steady Thermal Stresses in Functionally Graded Orthotropic
Materials by the Stress Function Method
..... Manabu Ohmichi 9
- Analysis of Log Data in ARLISS 2016 of a Planetary Exploration Rover
..... Takuya Saito and Miho Akiyama 19
- Recognition of Motions Given to a Stuffed Toy Using a Smartphone Acceleration Sensor
..... Takatoshi Jitsuhiro, Toshiki Ito and Tomohiro Hayase 27

Note

- Practice of Basic Engineering Education in “Study Build-up 1” and “Study Build-up 2”
..... Toshiya Arakawa and Yoshiharu Ito 33
- A Practical Engineering Education by Autonomous Guiding Robot with SLAM
..... Masatoshi Onishi, Akashi Waraya and Naoshi Tamiya 41

(continued)

*Published by
Aichi University of Technology
50-2 Manori Nishihasama-cho Gamagori
Aichi 443-0047, JAPAN*