

# 研 究 紀 要

第 51 号

平成 27 年度

奈良工業高等専門学校

# 目 次

3D Computer Graphicsにおける経年変化表現 .....	平 俊男 .....	1
課外活動を活用した学生への社会貢献の意識づけ .....	福岡 寛・児玉 謙司・谷口 幸典・榎 真一・廣 和樹・矢尾 匡永 .....	7
各種Au基二元合金の回転水中紡糸性 .....	島岡 三義 .....	12
学生による超小型人工衛星プロジェクトのための衛星データ配信・共有システムの開発Ⅲ .....	浅井 文男 .....	18
中高生向けビジュアルプログラミング講座 .....	松村 寿枝・内田 眞司・西野 貴之・松尾 賢一 .....	21
二次元リボン結び目のもろて型Ⅳ .....	安田 智之 .....	26
関白秀次失脚自刃事件と木食応其上人 .....	勢田 勝郭 .....	30
論文抄録 .....		40
情報工学科 情報処理実習室の利用状況報告(平成25年度、平成26年度) .....	西野 貴之 .....	43

# 3D Computer Graphics における 経年変化表現

平 俊男

## Aging/Weathering with 3D Computer Graphics

Toshio HIRA

The 3D computer-generated images have been more photorealistic through the remarkable development within both of hardware and software in decade. As a result, it could be said that the 3D computer graphics has become a conventional way to make the product images in the conceptual design review and the advertisement for consumers. These virtual images always depict the brand-new products just shipped out, since these are rendered as the smooth and clean objects. On the other hand, real products in service have often dirty appearances with aging. Thus the aging and weathering effect, such as rust and/or dust, on the surfaces of the product should be taken into account to generate more realistic image.

In this paper, we proposed the two models to simulate the process for generating dirt accumulated pattern on wet planar surface and to spatially evaluate the geometry by means of ambient occlusion with voxel-based object. The dirt accumulated pattern on the wet surface is iteratively formed through flow of water in the process, which consists of water adhesion, transfer, and evaporation and dirt accumulation and washing away. The cellular automaton was utilized in order to simulate this phenomenon. The local interaction rules heuristically given and defined among neighbors for water transfer and growth as droplets demonstrated the capability to generate the pattern that was similar to real one. The aging/weathering effect at the specific area on the object is affected by the degree of how that area is occluded from or exposed to the surrounding environment. The simple model that evaluates the dirt concentrated area by means of the ambient occlusion with voxelized object was shown and exemplified through the examples.

### 1. はじめに

近年、3次元 Computer Graphics (3D CG) による物体の写実的表現は、ハードウェアの高速化、メモリの大容量化、ソフトウェア技術の発展などによって、著しく進展している。その結果として、製品企画段階のレビューや、消費者向けの広告画像を作成する手段として 3D CG は既に定着しており、多くの商用ソフトウェアも存在している。これらの写実的表現においては、主に対象とする製品の出荷直後のような、いわゆる綺麗で鮮やかな状態での利用シーンの提示が多くみられる。一方で、実際の製品には使用に伴って錆や塵による汚れや摩耗や塗装の剥がれなどが生じるので、違和感のない写実的表現を 3D CG によって実現するためには、これらの経年変化を考慮する必要がある。

本研究では、経年変化を伴う機械製品の 3D CG による写実的表現を目的とし、平板上の汚れ堆積パターンの形成を対象としたセルオートマトンによる再現手法と、経年変化に対する幾何形状の影響をボクセル表現された空間における環境遮蔽によって評価する手法を提案する。

### 2. 背景

近年の 3D CG の進展はハードウェア・ソフトウェアの両面から目覚ましいものがある。たとえば、図 1 に示す画像は筆者が作成（図 1 (a) のバルブ部品のモデリングは、平成 20 年度の本専攻科の課題として専攻科学生が担当）したものであり、個人ベースでも比較的写実的な描写が得られるようになっている。しかしながら、図 2 に示すような実際に使われている状態にある機械製品の描写には程遠いのが現状である。その理由の一つとして製品外観の経年変化が挙げられ、たとえば (a) のバイスや (b) のドリル研磨機では、掃除の際に手が触れられにくい窪んだ個所での変色が見られる。逆に (c) の操作ハンドルでは、手との接触のおこりやすい個所（この場合、ノブ部分やダイヤルの一部）が磨かれたような質感を持っている。これらの経年変化は、特に過酷な環境下で使用されているものに限られず、基本的には人工物、自然物を問わず全てのものにみられる。したがって、3D CG において、より写実的な表現のためには、経年変化の考慮が必要となる。

物体の経年変化は、(1) 錆、腐食などの化学的過程、(2)

風化、輸送、堆積、塗装のひびや剥がれなどの機械的過程、(3) カビなどによる生物的過程に大別される<sup>(1)</sup>。これらを3D CGにおいて再現するために、以前から錆や塗装の剥がれを描いた画像を物体表面のテクスチャとして準備し、ポストプロセスによって合成することや、描かれたテクスチャ画像を3次元モデルに貼付けたものをレンダリングすることが行われてきた。しかしながら、この手法は、経験的な要素が多く、また、多大な人手とコストがかかることから、映画産業など限られた分野でしか現実的ではない<sup>(2)</sup>。

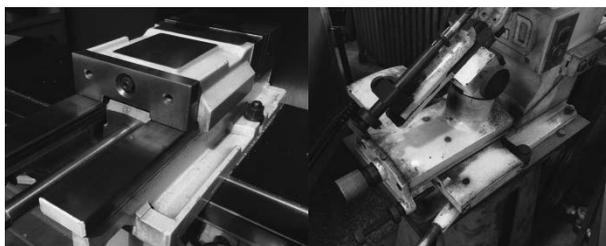
これに対して、Dorseyらは、建造物や彫像の表面上の水滴の流れを、重力、摩擦、風、表面粗さと制約に基づいた現象論的なモデルによってシミュレーションし、物体の外観の変化を再現する手法<sup>(2)</sup>や、仏像表面の緑青の進展をシミュレーションする手法<sup>(3)</sup>を示している。これらの手法では、経年変化していく対象物を、人手を介することなく写實的に描写することが可能であるが、物体と水との相互作用のメカニズムのモデルを個別に用意することが必要となる。Chengらは、より広い範囲の経年変化を再現するために、経年変化を生じさせる $\gamma$ -tonと呼ぶ仮想的な粒子を用いる手法を提案している<sup>(4)</sup>。この仮想的な粒子は、環境中に散布され、物体表面での反射(reflect)、跳返り(bounce)、流れ(flow)を経た後に物体表面に定着(settled)する。この手法では、間接的な錆の進行や、コケと汚れの同時進行、石像の風化のような大スケールの形状



(a) Valve parts

(b) Pens

Fig.1 Rendered Image



(a) Machine vise

(b) Drill sharpener

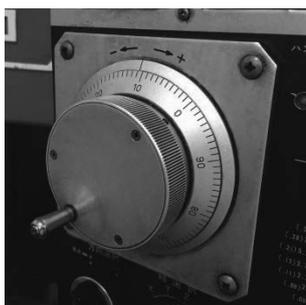


Fig.2 Actual Image

変化が再現できる。一方で、Luらはシミュレーションではなく、実物の3次元形状と外観を継続的に計測し、幾何形状が外観の経年変化に及ぼす影響を解析することでルールを抽出し、それを新たな物体に対して適用する手法を提案し、そのような外観テクスチャをContext-Aware Texturesと呼んでいる<sup>(5)</sup>。

本論文では、対象物として機械製品を例にとり、その外観の経年変化のシミュレーション手法の検討を行う。経年変化過程では、水分や油分の付着、移動、除去に伴う汚れパターンの形成と幾何形状の影響のみを取扱い、幾何形状が変化するような腐食や摩耗は取り扱わない。

### 3. ガラス表面の汚れパターンの再現

#### 3.1 ガラス表面の汚れパターンの形成

ここでは、図3に示すような、窓ガラス表面の汚れの再現をとりあげる。このような汚れのパターンは、ガラス表面と、空気中の砂塵、雨水などの相互作用に形成されている。汚れとしてみられるものには、水に含まれているケイ酸塩やカルシウムがガラス表面に固着したものや、砂塵そのものがある。特に前者は、白い鱗状のパターンを形成し、容易に除去できないことから地下水で洗浄を行う交通車輛において問題となっている<sup>(6)</sup>。

このような汚れは、

- (1) ガラス表面に、水分がランダムに付着する。
- (2) 水分は、重力および表面張力により周辺の水分と相互作用を生じ、水滴を形成(凝集)しようとする。
- (3) 同時に蒸発効果により、水分量は減少する。
- (4) ある程度の質量を持つ水滴が形成された場合、ガラス表面の砂塵は水滴とともに下方へ流される。
- (5) 一方で、水滴を形成できない水分量の場合、砂塵はその場にとどまる。

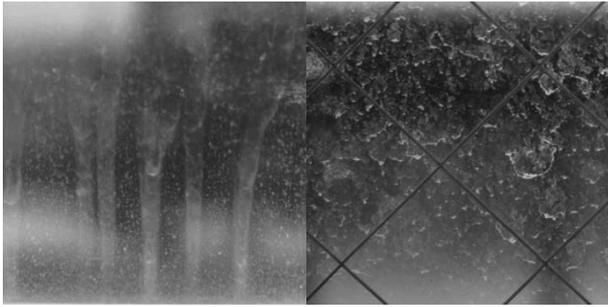
という過程を繰り返すことでパターンが形成されていると考えられる。このような過程はカオス性をもち、ここでは、セルオートマトン(Cellular Automaton, CA)を利用することでパターン形成過程の再現を試みる。

セルオートマトンは、場をセルと呼ばれる格子状に区切り、それぞれのセルの状態量を、隣接したセルとの局所的相互作用から定まる新たな状態量で更新していく。個々のセルは、近傍セルの状態量のみで記述される単純なルール(局所近傍則)により更新されており、場の全体に関する法則が与えられていなくとも大域的なふるまいを生成できる手法である<sup>(7)</sup>。工学的な応用例としては、閉鎖空間での避難流動を対象にした群集行動のモデル化<sup>(8)</sup>や、移流拡散現象を局所近傍則と遷移則で記述した物理現象のモデル化<sup>(9)</sup>などがみられる。

#### 3.2 セルオートマトンによる汚れパターン形成過程のモデル化

##### 3.2.1 シミュレーション条件

セルオートマトンによるシミュレーションにあたっては、垂直で平滑なガラス表面を想定し、水分の流動は幾何学的形状の影響を受けないとする。ガラス表面は水平方向



(a) Pattern 1 (b) Pattern 2  
Fig.3 Lime Scale on the Glass

$N$ , 垂直方向  $M$  に分割されたセルで表し, 状態量として水分量  $w_{ij}$  ( $i=1, \dots, N, j=1, \dots, M$ ), 砂塵の堆積量  $d_{ij}$  ( $i=1, \dots, N, j=1, \dots, M$ ) を持つ. また左上の格子を  $i=1, j=1$  で表し, 左右の境界には周期境界条件を適用する.

セル間の局所相互作用については, 重力による水分量の移動と, 表面張力による水分量の凝集を考える. また, 一般的なセルオートマトンでは, 質量保存が成立つ現象を表現できない事から, 鈴木提案する非同期セルオートマトン手法<sup>(10)</sup>を用いて水分量の更新を行う.

(a) 重力による水分量の移動

重力によるセル間の水分量の移動については, 注目するセルに隣接する8つのセル(ムーア近傍)の水分量に注目する. 隣接セルそれぞれに対して重み係数  $p_{ij}$  ( $i=-1, 0, 1, j=-1, 0, 1$ ) を設定し, 一様乱数  $q$  ( $= [0, 1]$ ) によって決められた量だけ中心のセルに水分量が移動する. したがって, 時間  $t+1$  における中心セルの水分量  $w_{IJ}$  は, 時間  $t$  における状態量を用いて

$$w_{IJ}^{(t+1)} = w_{IJ}^{(t)} + \sum_{j=-1}^1 \sum_{i=-1}^1 qp_{ij}w_{I+i, J+j}^{(t)} \dots\dots\dots (1)$$

と表される. 近傍セルには中心セルに移動した水分量の残りがとどまる.

(b) 凝集による水分量の移動

場に分布している水分は, 表面張力によって凝集し, 水滴を形成しようとする. ここでは, 中心のセルの水分量が閾値  $\theta_f$  を超えた場合に, 近傍セルの水分量を全て中心に移動させる. したがって, 時間  $t+1$  における中心セルの水分量  $w_{IJ}$  は, 時間  $t$  における状態量を用いて

$$w_{IJ}^{(t+1)} = \begin{cases} w_{IJ}^{(t)} & (w_{IJ}^{(t)} < \theta_f) \\ w_{IJ}^{(t)} + \sum_{j=-1}^1 \sum_{i=-1}^1 w_{ij}^{(t)} & (\text{otherwise}) \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

と表される. このとき, 近傍セルの水分量は全て0となる.

3. 2. 2 砂塵堆積過程

砂塵の挙動は, セルの水分量に応じて変化する. ここでは, 水分量がある範囲  $\theta_{d0}$  から  $\theta_{d1}$  の場合に, そのセルに対応する砂塵は堆積していくとし, ある閾値  $\theta_d$  を超えた

場合にそのセルに対応する砂塵は水分によって流されるとする.

3. 3 シミュレーション結果

水平方向に  $N=100$  分割, 垂直方向に  $M=100$  分割した2次元空間において, セル状態量の更新を200回行う. 非同期型のCAであるので, 1回の場合の更新においては, 全セル数10000を近傍セル数9で除した個数のセルがランダムに選ばれ, 前節に示した重力および凝集による水分量の移動と砂塵堆積量の更新が行われる. この更新の前後においては, 全水分量は保たれる. これとは別に, 全体に対する水分の付着, 蒸発が各セルにランダムに行われる.

重力の影響については, 注目セルの水分量  $w_{IJ}$  に対して, 図4のような重み  $p_{ij}$  を与え, 式(1)にしたがって水分量を更新させる. ここでは, 注目セルの真上のセルからの水分移動の確率を最も大きくし, 次いで上の左右のセルからの移動の確率をもたせている. 注目セルの左右及び下方からは水分の移動は生じない. 砂塵堆積については, 水分量が  $0.001 \sim 0.1$  の範囲にある時に増加するものとし, 流失に関する閾値は  $\theta_f=0.5$  とする.

図5は, 凝集に関する閾値  $\theta_f$  として  $0.3, 0.5$  を与えたものである. 閾値  $\theta_f$  が小さい場合, 凝集がおこりやすく, 砂塵が流出しやすいことが分かる. 閾値を  $0.5$  とした場合, 実際の汚れ(図3)と類似のパターンが形成されることが確認された.

4. 物体形状の環境遮蔽による評価

前章では, セルオートマトンによって汚れパターン形成の再現を試みたが, 物体表面の幾何形状の影響は考慮していない. 一方で, 実物では, 窪んだ部分への汚れの堆積や, 凸な形状になっている部分での塗装の剥がれなどが観察される. ここでは, 経年変化に対する幾何形状の影響の評価のために, 環境遮蔽 (ambient occlusion) の利用を考える.

4. 1 環境遮蔽

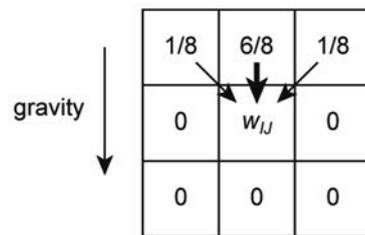
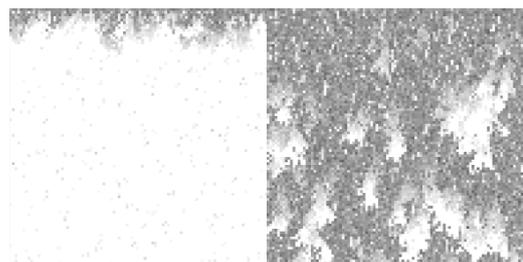


Fig.4 Weight for each Neighbor Cell



(a) Threshold  $\theta_f = 0.3$  (b)  $\theta_f = 0.5$

Fig.5 Simulated Dust Accumulation

環境遮蔽とは、3次元コンピュータグラフィックスにおいてより写実的な結果を得るために、光源による直接照明だけではなく、環境光のような大域照明モデルを近似的に再現するために考案されたものである。物体上の任意の点において、環境光は近傍の物体による遮蔽によって減衰するものとし、その影響を環境遮蔽係数とすると、

$$A(\mathbf{x}, \mathbf{n}) = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega} V(\mathbf{x}, \boldsymbol{\omega})(\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{n}) d\boldsymbol{\omega} \dots\dots\dots (3)$$

目点、法線ベクトルを表す。  $V(\mathbf{x}, \boldsymbol{\omega})$  は可視関数であり、注目点  $\mathbf{x}$  から  $\boldsymbol{\omega}$  方向に物体があり、環境から遮蔽されていれば0、なければ1をとる。また、積分領域  $\Omega$  は、一般に物体表面上の法線に対して半球とする<sup>(11)</sup>。したがって、この係数  $A$  は、ある点が環境に遮蔽されている割合が多い時に0に近づき、遮蔽されていない割合が多い時に1に近づくこととなる。図6に模式的に示すように、点  $P_1$  では周囲に環境光を遮るものが少なく、点  $P_2$  では遮るものが多くなる。

3次元コンピュータグラフィックスでは、この環境遮蔽

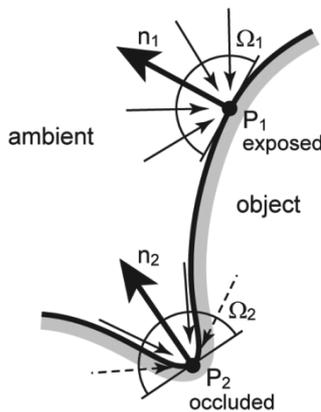


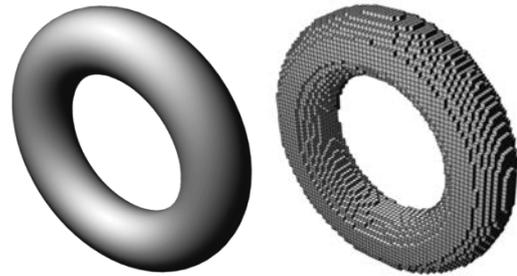
Fig.6 Concept of Ambient Occlusion

係数  $A$  をもとに環境光  $1 - A$  として大域照明の近似に用いているが、環境への露出度を表していることから経年変化への影響を評価することができると考えられる。すなわち、物体表面の窪んだ部分は、環境への露出が少ない事から、堆積した塵、水分、油分などの汚れが除去されにくく、凸な部分は環境への露出が多い事から、他の物体との摩擦接触が生じやすく、塗装の剥がれや摩耗などが生じやすい。ここでは、この環境遮蔽を経年変化に対する幾何形状の影響の評価に用いることを検討する。

4. 2 空間のボクセル表現による環境遮蔽の評価

前節で述べた環境遮蔽の算出には、高速化を目指して様々な手法が提案されている<sup>(12)</sup>。ここでは、前章に示したセルオートマトンによる汚れパターンの再現との親和性を考慮して、対象とする物体と環境遮蔽の評価対象にボクセル表現を用いるものとする。

図7に示すように、3次元物体を小さな立方体の集合として離散的に表現し、この立方体の事をボクセル (voxel) と呼ぶ。ここでは、3次元空間内の各ボクセルの状態量と



(a) Torus (b) Voxelized torus

Fig.7 Concept of Voxelized Object

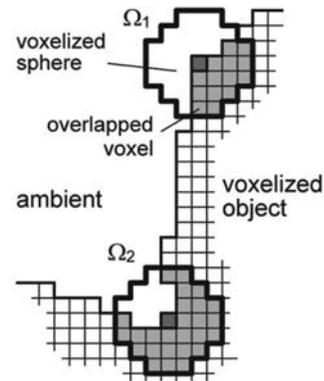


Fig.8 Voxel-based Ambient Occlusion

して、物体の体積が存在するかどうかの2値のみを考える。

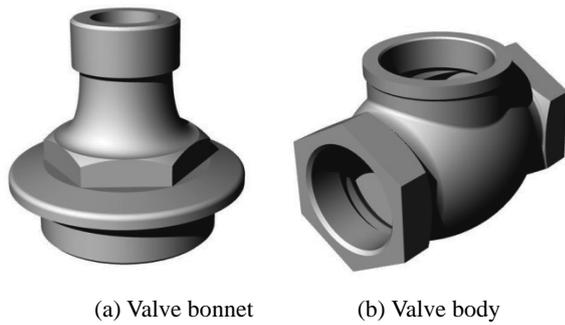
ボクセル表現された物体に対する環境遮蔽の評価は図8に模式的に示すように、ある点の周囲環境としてボクセル表現された仮想的な球を用いる。ここで、3次元空間内の立方体の2値の状態量として  $o_{ijk} (= \{0, 1\})$  を考え、値が1のときに物体が存在、0のときに存在しないとする。また、式(3)における積分範囲  $\Omega$  は、半径  $R$  の仮想的な球とし、各辺の長さが  $2R+1$  の立方体内で2値の状態量  $s_{ijk} (= \{0, 1\})$  によって表現する。空間内の点  $P_{ijk}$  における環境の遮蔽度  $c_{ijk}$  は、その周囲で物体と仮想球のボクセルがともに存在する場所の比率、

$$c_{ijk} = o_{ijk} \frac{\sum_{i=-R}^R \sum_{j=-R}^R \sum_{k=-R}^R o_{I+i, J+j, K+k} s_{ijk}}{\sum_{i=-R}^R \sum_{j=-R}^R \sum_{k=-R}^R s_{ijk}} \dots\dots\dots (4)$$

と表現される。なお、ここでは大域照明における環境遮蔽を表現するために用いられる斜入光特性(コサイン項)は考慮しない。また、前節の式(3)で定義された環境遮蔽係数とは逆に、 $c_{ijk}$  の値は、周囲環境に遮蔽されているほど1に近づくものとなり、環境遮蔽度と呼ぶこととする。

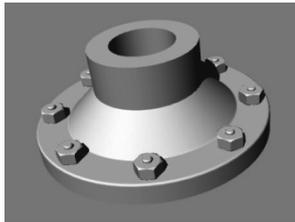
4. 3 実装及び評価

経年変化に対する幾何形状の変化の評価例として、図9の3つの部品((a)バルブ・ボンネット、(b)バルブ弁箱、(c)フランジ管継手)をとりあげる。これらの3次元オブジェクトに対して、幅、高さ、奥行き最大の寸法の1/256



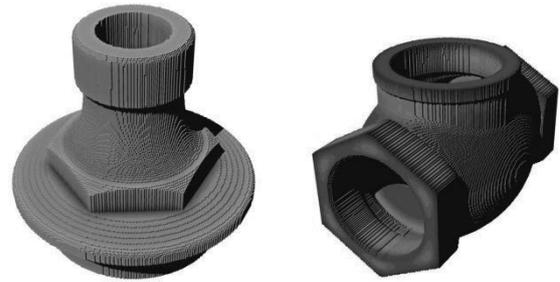
(a) Valve bonnet

(b) Valve body



(c) Flange joint

Fig.9 Target Object



(a) Valve bonnet

(b) Valve body



(c) Flange joint

Fig.11 Evaluated Result

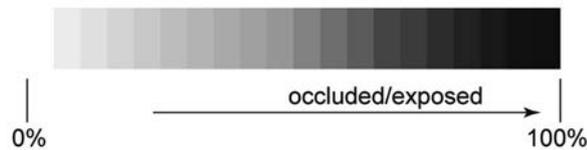


Fig.10 Assigned Color



(a) Bolt head

(b) C-clamp

Fig.12 Actual Rust on the Rubbed Area

を1辺の長さとした立方体によってボクセル化を行い、半径12の仮想球によって環境遮蔽度を求めた。これらの物体表面上のボクセルに対して求められた環境遮蔽度に応じて白色から赤錆を想定した色を割当てたものを図10に示す。

図11(a)のバルブ・ボンネットは、環境遮蔽度の低いボクセルに対して白、高いボクセルに対して濃色を割当てている。これは、物体表面上で窪んでいるところでは、拭き掃除等に対して水分や油分、塵などが除去されにくく、錆や汚れなどが発生、残留しやすい状態(図2(a),(b))に対応している。逆に、図11(b),(c)では、環境遮蔽度の高いボクセルに対して白、低いボクセルに対して濃色を割当てている。この表現は、図12に示すような経年変化に対応しており、物体表面の凸な部分で、摩擦による塗装や表面被膜の剥がれ等が起りやすく、その結果、錆が生じやすくなっているような現象を表しているとみなせる。

## 5. おわりに

経年変化を伴う機械製品の3D Computer Graphicsによる写実的表現を目的とし、平板上の汚れ堆積パターン形成の再現と、ボクセル表現による環境遮蔽評価手法の提案を行った。

平板上の汚れ堆積パターンは、水分の付着、移動、蒸発と砂塵の付着と流出が繰返されることで形成される。この現象に対して、セルオートマトンを用い、セル間の水分の

移動に対してヒューリスティックに与えた局所相互作用と遷移則を適用することで、実際の汚れパターンと定性的に類似したパターンが再現できることを示した。また、経年変化過程では、物体表面のそれぞれの箇所がその形状によって環境へどのように露出されているかが影響を与える。ここでは、ボクセル表現された3次元物体に対して環境遮蔽の評価を行う手法を示し、経年変化に対する幾何形状の影響を簡便に得られることを示した。これらの手法は格子状に区切られた領域を取扱うことに共通点があり、セルオートマトンの手法により3次元物体の表面上の汚れパターンを再現することが次の課題である。また、現状では定性的にしか行っていない、実物との比較手法の確立も課題となる。

なお、本研究における平板上の汚れ堆積パターンのセルオートマトンの再現に関するソフトウェアの実装については、奈良高専 石橋拓也君、ボクセル表現による環境遮蔽の評価に関するソフトウェアの実装については、奈良高専 灰塚興君の協力を得た。記して謝意を表する。

## 文 献

- (1) Merillou, S. and Ghazanfarpour, D., "A Survey of Aging and Weathering Phenomena in Computer

- Graphics,” *Computers & Graphics* 32, (2008), pp.159-174.
- (2) Dorsey, J., Pedersen, H.K., and Hanrahan, P., “Flow and Changes in Appearance,” *ACM SIGGRAPH 1996*, (1996), pp.411-420.
- (3) Dorsey, J. and Hanrahan, P., “Modeling and Rendering of Metallic Patinas,” *ACM SIGGRAPH 1996*, (1996), pp.387-396.
- (4) Chen, Y., Xia, L., Wong, T-T., Bao, H., Guo, B., and Shum, H-Y., “Visual Simulation of Weathering By g-ton Tracing,” *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 24.3 (2005), pp.1127-1133.
- (5) Lu, J., Georghiadis, A.S., Glaser, A., Wu, H., Wei, L-Y., Guo, B., Dorsey, J., and Rushmeier, H., “Context-Aware Textures,” *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 26.1 (2007): 3.
- (6) 志知哲也, 勝又健一, ナノシート光触媒コーティングガラスの開発, 表面技術, Vol.61, No.1, (2010), pp.30-35.
- (7) 加藤恭義, 光成友孝, 築山洋, セルオートマトン法—複雑系の自己組織化と超並列処理, (1998), 森北出版.
- (8) 大鑄史男, 小野木基裕, セルオートマトン法による避難流動のシミュレーション, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, 51, (2008), pp.94-111.
- (9) 鳥羽康介, 板垣靖, 森下信, セルオートマトンによる移流拡散現象のモデル化, 日本機械学会 D&D 機械力学・計測制御講演論文集, No.01-5, (2001), #228.
- (10) 鈴木知明, 質量保存則を有する非同期セルオートマトンの空間パターン形成と遺伝的アルゴリズムによる探索, 情報処理学会研究報告, 2003-MPS-047, (2003), pp.13-16.
- (11) Kontkanen, J. and Laine, S., “Ambient Occlusion Fields,” *Proc. ACM SIGGRAPH 2005 Symposium on Interactive 3D Graphics and Game*, (2005), pp.41-48.
- (12) 服部智仁, 久保尋之, 森島繁生, 遮蔽度の曲率近似によるアンビエントオクルージョンの局所照明モデル化, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-CG-138, No.13, (2010), pp.1-6.

## 課外活動を活用した学生への社会貢献の意識づけ

福岡 寛, 児玉 謙司, 谷口 幸典, 榎 真一, 廣 和樹, 矢尾 匡永

### Contribution Education Using Extracurricular Activities

Hiroshi FUKUOKA, Kenji KODAMA, Yukinori TANIGUCHI, Shinichi ENOKI, Kazuki HIRO and Masanori YAO

社会人基礎力の育成のために学生の自主活動を支援することは大きな成果をあげると期待されている。機械工学科の学生による社会貢献を支援するスペースの組織化には、持続可能な組織づくりのために、基本方針に貢献の概念を組み込んだ。その結果、学生と教員の Win-Win の関係が可能となり、自主的な活動支援として効果的に機能している。

#### 1. はじめに

近年、子供を取り巻く環境は急激な社会変革によって大きく変わってきている。少子化によるクラス数の減少、国際化に対応するためのグローバル教育、科学技術の爆発的な進歩により求められる知識や専門能力の変化<sup>(1), (2)</sup>。さらにこれら新しい試みにより教職員は多忙になり、ひとりひとりの子供に対応する時間は減少している<sup>(3)</sup>。

このような環境の変化にあわせて様々な教育方法が提案されている。教師が一方向的に教える受動型の授業とは異なる、学生の自らの思考を促す能動的な授業であるアクティブラーニング教育<sup>(4)</sup>。授業の効率化を進め質を高めるために e-learning, タブレット, 電子黒板など ICT ツールを活用した教育<sup>(5)</sup>。さらにアクティブラーニングを推進する課題解決型の教育方法として PBL 教育が導入されている。このように急速に変化する状況に合わせた様々な講義法が取り入れられている<sup>(6)</sup>。

課外活動を活用し新しい技術者の育成を目指した取り組みも行われている。金沢工業大学では、「行動する技術者の育成」を目標に夢工房を設立し、学生の自主活動を支援している。夢工房は、(1) アイディアをカタチにできる創造空間、(2) 技術者の基本としての安全・スキル教育、(3) 技師・学生スタッフによるものづくり相談、(4) 材料・部品の提供、(5) プレゼンテーション資料の作成と発表練習、他 5 つの機能を備えている。その成果は文部科学大臣賞の受賞、「特色ある教育プログラム」の採択など外部からも認知されている<sup>(7), (8)</sup>。

山口大学は、社会人基礎力の育成を目指して学生の自主的な活動を支援する自主活動ルーム「おもしろプロジェクト」を設立している。特徴としては、「思う存分やってみ

る」を念頭に経済的制限を感じさせない 1 プロジェクトあたり最大 50 万円の予算がある。さらにプロジェクトの結果は問わず、試行錯誤による学生の主体性・創造的な学びを優先していることも特徴的である<sup>(9), (10)</sup>。

このような大学における課外活動の取組みは規模が大きく予算も大きい。一方、このような規模の場合、プロジェクト間の交流は難しく外的要因による刺激、他者に伝える能力の向上には課題がある。そこでわれわれは、小規模組織の特徴を生かしてプロジェクト間の交流による高いコミュニケーション能力の育成、教員と学生の距離を縮めたきめ細かいサポートによる貢献の概念の導入を目指し、学生と教員の Win-Win な関係が成り立つ組織を立ち上げた<sup>(11), (12)</sup>。

本論文では、機械工学科の学生による社会貢献を支援するスペース（通称：MeCafe）の組織化例をもとに、学生の自主活動を支援する組織を立ち上げる際に考慮すべき基本事項を紹介する。

#### 2. 機械工学科展

機械工学科展（以下、M 科展）は、機械工学科の高専祭学科展への取組みである。高専祭は学生会が主催する学園祭で、各クラブ、クラス、有志による模擬店および各学科の学生が主催する学科展、実行員会によるステージ企画などからなる。対象は在校生および保護者だけでなく一般の方々まで様々で、参加者数は毎年およそ 2000 名である。開催は 11 月初旬の土日としている。M 科展へ来訪者の年齢層は非常に幅広いが、幼稚園生から小中学生がもっとも多い。その来訪者数は、年々増加を続けており、H26 年度は 910 名であった。

### 3. 科展支援体制の経緯

本章では現在の科展支援体制になるまでの各年度における反省と対策の経緯について述べる。

#### 3. 1 H23 年度

図1にH23年度の科展をはじめとする広報イベントのサポート体制を示す。運営学生は担任に依頼し科展委員として選出を依頼し、それぞれの学年に担当教員を配置した。科展においては各学年が1ブースとして会場にスペースを確保した。またM科展のための看板作成、会場設営、告知、来訪者の対応などすべてを運営学生で実施した。

#### 3. 2 H24 年度

H23年度の代表的な反省点は下記4つである。

- 1) 同一学年だけのチームしかないために、交流が限定的で各プロジェクトの引継ぎが出来ない。
- 2) 科展のブース担当に加えて、科展全体の運営も同じメンバーで行ったため負担が大きく、次年度に向けてメンバーが集まらない。
- 3) アイデア出し、ミーティング方法がわからずに、会議に時間がかかる。さらに意見が反映されなかったことによる不協和音が現れた。
- 4) 教員-学生間のコミュニケーション不足によるモチベーションの低下

図2に各課題に対応したサポート体制を示す。1)の対策としては、林ら<sup>(13)</sup>の取り組みを参考に各企画をプロジェクト化し、すべての学年が横断的に参加できるようにした。またそれに合わせてリーダーの選出も行った。2)の対策は、メンバーを科展ブース担当者(ものづくり班)と科展運営者(イベントお助け班)に分けたことである。これは、前年度に多くの学生が当日のみのスタッフとして応援してくれた経験から採用に至った。3)には、図3に示すようなファシリテーションミーティング<sup>(14)</sup>の手法を取り入れた。4)の問題の対応策として、講座制の研究室の仕組みを参考に科展をサポートする組織MeCafe(学生広報)

を立ち上げ、教員が複数のプロジェクトメンバーと交流できる体制を作った。さらに、学外での作業および事前に加工作業を確認するためにサイボウズLiveを導入し、進捗状況を逐一確認できるようにした。

#### 3. 3 H25 年度

H24年度に採用したプロジェクト方式、メンバーの担当分け、会議手法、新しい活動組織、サイボウズLiveの導入によって前年度までの反省点はほぼ解決できた。一方、学力不振による悪循環問題が起こった。複数年によるプロジェクトは、授業終了時間の違いによるコミュニケーションの難しさもあり予定が大幅にずれることが増えた。そのため定期考査直前まで作業が長引き、学力および集中力の低下がみられた。さらに学力不振は、メンバーのモチベーションを低下させ次年度に参加できないなど悪循環を引き起こした。

そこでH25年度は、悪循環を克服するために新たに3つの手法を導入した。一つ目は、定期的にプロジェクトの進行状況を報告する進捗報告会を取り入れた。二つ目は、表1に示すように年間スケジュールを事前に作成し、確認しながらプロジェクトを管理するマネジメントの考え方を導入した。ここでは、試作品および完成品の完了予定時期だけでなく、購入物品の選定時期、納品までの時間など、前年度に問題となった部分を重視して注意喚起を行った。また進捗報告会では今後の予定を必ず入れるようにし、お互いにチェックできる仕組みを作った。三つ目は、MeCafe全体の目標を設定し、その目標にあわせて各プロジェクトの完成度を設定することで作業負荷の軽減を目指した。

#### 3. 4 H26 年度以降

H25年度は進捗報告およびスケジュールの確認を定期的に行うことで悪循環はほぼ改善することができた。そのためH26年度は前年とほぼ同様の手法でMeCafeを運用した。年度末の反省会においても運用方法についてはほぼ問題なかった。一方、プロジェクト募集時の人集めに関して

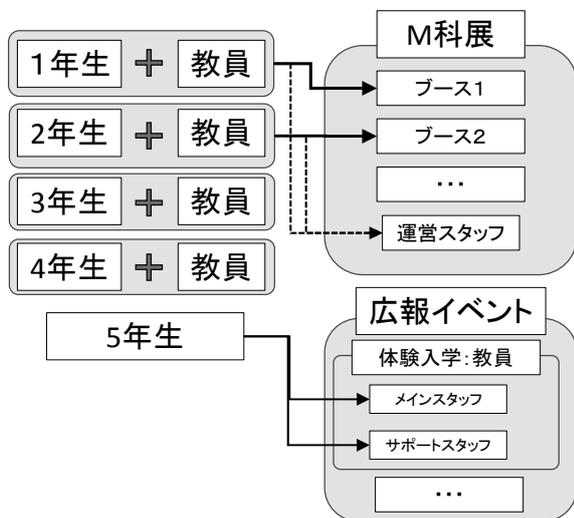


図1 広報活動サポート体制 (H23年度)

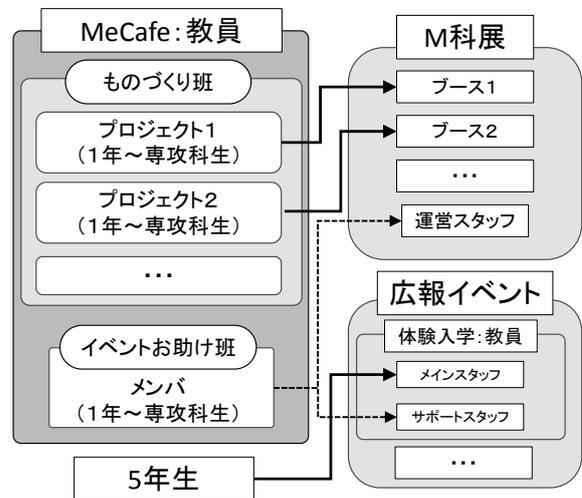


図2 広報活動サポート体制 (H24～)

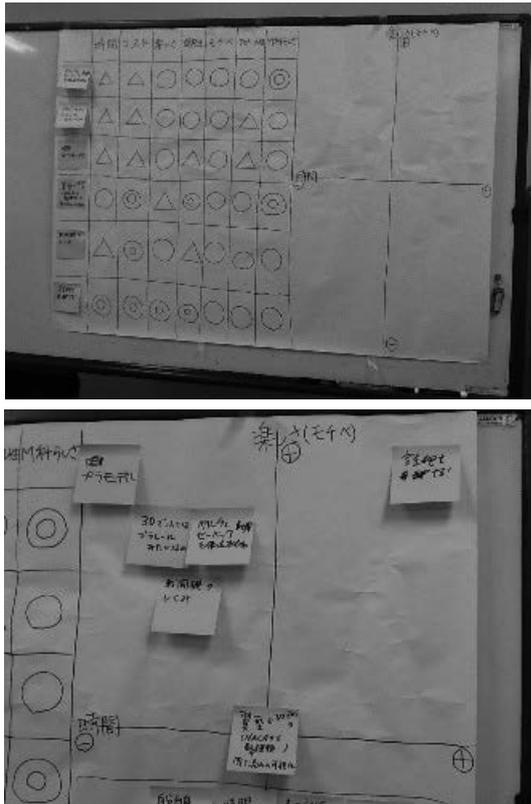


図3 ファシリテーションミーティング

は、組織名称である学生広報がわかりにくくそぐわないという意見が出た。

そこでH27年度は、円滑なメンバー募集のためにMeCafeの愛称はそのまま、組織名を「社会貢献を念頭に置いた自主活動の集まり」または「機械工学科の学生による社会貢献を支援するスペース」とした。図4にMeCafeで定義している社会貢献の図を示す。これは学生が直接的に貢献することができるのは同じグループに所属するメンバーとし、所属するグループがより大きい組織に貢献し、最終的に組織が地域および社会に貢献するという考え方である。その他の運営方法は前年同様である。

#### 4. MeCafe について

ここではH27年度に採用しているMeCafeの基本方針、目標設定、サポート体制、システムおよび予算について述べる。

##### 4. 1 基本方針

ものづくり班、イベントお助け班などすべてのMeCafeメンバーに共通して伝える考え方は、貢献を念頭においたひとりひとりのスキルアップが組織（MeCafe）だけでなく個人を最も成長させることである。この考え方はP.F.ドラッカー<sup>(15)</sup>の「貢献に焦点を合わせるということは、人材を育成するということである。」を参考にした。すなわ

表1 年間スケジュール

イベント	MeCafe(ものづくり班)	MeCafe(イベントお助け班)
4月	M科新入生オリエンテーション ・プロジェクト募集 ・アイデア出しミーティング	
5月	・プロジェクト決定	
6月	・進捗報告会、定例ミーティングスタート	・体験入学メンバー募集
7月	・試作品完成	・体験入学リハーサル
8月	体験入学	
9月	・科展用ポスター完成	
10月	学校&入試説明会 ・学校&入試説明会ブースへ展示、演示	・高専祭スタッフメンバー募集 ・M科展配置、シフト表、デコレーション準備
11月	高専祭 科学の祭典 ・高専祭ブースへ展示、演示	
12月	高専祭振り返りミーティング	
1月	次年度新入生オリエンテーション準備	
2月		
3月		



図4 個人・組織による貢献の考え方

表2 科展実施プロジェクトおよび参加者数

<p><b>H23(科展参加者数:未集計)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・紙粘土をつかった造形(粉末冶金ってなに?)(1年)</li> <li>・機械工学科紹介CM(2年)</li> <li>・歯車パズル(3年)</li> <li>・コンピュータによる設計, 空き缶つぶし実演(4年)</li> </ul> <p><b>H24(科展参加者数:495人)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エンジンのカットモデル作成プロジェクト</li> <li>・歯車パズルプロジェクト</li> <li>・空気砲&amp;可視化BOXプロジェクト</li> </ul> <p><b>H25(科展参加者数:627人)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・流れの可視化プロジェクト</li> <li>・カートプロジェクト</li> <li>・3Dプリンタプロジェクト</li> <li>・ペーパーブリッジプロジェクト</li> </ul> <p><b>H26(科展参加者数:910人)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・流れの可視化プロジェクトII</li> <li>・カート&amp;シミュレータプロジェクト</li> <li>・パスタブリッジプロジェクト</li> </ul>
--

表3 機械工学科&amp; Cafe 合同企画

<p><b>H24</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・M科新入生オリエンテーション</li> <li>・学科見学ツアー</li> </ul> <p><b>H25</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・M科新入生オリエンテーション</li> <li>・学科見学ツアー</li> <li>・大学見学ツアー</li> <li>・「流れの夢」コンテスト</li> </ul> <p><b>H26</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・M科新入生オリエンテーション</li> <li>・学科見学ツアー</li> <li>・ボルト締め忘れ防止アイデアコンテスト</li> </ul>
--

ち、貢献に焦点を合わせることによって、コミュニケーション、チームワーク、自己啓発、人材育成という、激しく変化する社会において学生が求められるであろう基本能力・条件の育成を可能にするという考え方である。

貢献という考え方は、これまでに様々な場面において学生が持つ高い意欲を保つ効果を上げている。この考え方の導入以前は、就職活動における自己PR また就職後に役立つスキル習得などキャリア形成の一環として、参加学生に指導してきた。しかしほとんどの学生のモチベーションは持続しなかった。一方、科展の成功を目標に、個人のスキルアップがグループへの貢献、科展への貢献へと繋がることを指導した場合、多くの学生は高いモチベーションを持続することができた。同様の結果は貢献の考え方を取り入れて指導している奈良高専硬式テニス部においても出てきている。

学生と教員の関係はお互いがお互いを補う Win-Win の関係を目指している。学生は貢献を念頭に自主活動を行うことで、予算、作業場所、教員からの助言などの活動環境を得ることができる。教員は学生を支援することで、自主活動の成果物を広報活動に使用することができる。MeCafe では、ものづくりを行いたい学生がいる場合、制作物の完成の期限を高専祭 M 科展に設定し、期限に間に合わせるために必要なスケジュール管理、技術的アドバイスを受けることを条件として学生を支援している。

#### 4. 2 目標設定

貢献を念頭に活動する場合、明確な目的・成果を設定することが重要である<sup>(15)</sup>。そこで MeCafe では、小中学生に機械工学の面白さを伝えることを目的とし、地域、奈良高専、機械工学科の活性化を目標とした。MeCafe 全体の成果の評価法は、高専祭 M 科展来訪者数を採用している。年度はじめのミーティングにおいて具体的な目標人数を設定することで、個人の成長およびグループ、組織への貢献を評価することができる。

個人の目標の設定は所属するグループによって変わってくる。ものづくり班に所属する学生の場合、身につけた

い専門知識、技術、スキルとは別にコミュニケーション、合意形成、プレゼンテーション、リーダーシップまたはフォロワーシップ力の習得を目標としている。イベントお助け班の場合、優れたコミュニケーション能力、フォロワーシップ能力の習得を目標としている。具体的な目標としては、体験入学参加学生への満足度調査の数字を用いて行っている。

#### 4. 3 サポート体制

##### 4. 3. 1 MeCafe 共通

前述したように現在の MeCafe のサポート体制は図2の通りである。H27 年度はメイン教員が一人、サポート教員が二名である。予算は科展援助金を使用している。

##### 4. 3. 2 ものづくり班

前年度のメンバーを中心に立ち上げメンバーを募集する。メンバーは一人一つプロジェクトを企画し、プレゼンを行う。プロジェクトの選定は、ファシリテーションスタイルの全体ミーティングによって行い、2~4つに絞る。選ばれたプロジェクトにメンバーを集めてプロジェクトはスタートする。メンバー募集はプロジェクトが選定された時点で教室に告知ポスターを掲示し行う。各プロジェクトのリーダーとは別に MeCafe リーダを設けている。進捗報告会は毎週開催し全グループ報告する、各プロジェクトの予算は共通物品(工具、測定器など)を除く3~5万円とし、プロジェクトスタート時にすべての購入物品をあらかじめ選定している。ただし、チャレンジプロジェクトなど別で予算を獲得しているプロジェクトに関しては原則として支給しない。H27 年度のプロジェクトは4つで学生数は17名である。

##### 4. 3. 3 イベントお助け班

参加メンバーはものづくり班と同様に前年のメンバーを中心とした募集に加えて、各イベント毎に教室にスタッフ募集のポスターを貼りだして募集している。スタッフに募集してくる多くの学生がコミュニケーション能力の向上を求めているため、体験入学など難易度が高いイベントの場合は複数回のリハーサルを実施し、しっかり説明できるようにしている。H26 年度イベントお助け班は、M 科

新入生オリエンテーション、体験入学、高専祭のスタッフとしてイベントをサポートした。H27年度はメンバーが24名在籍している。予算は科展のデコレーション班にのみ科展援助金使用している。

## 5. これまでの実施状況

H23年度からH26年度にかけてM科展で実施したプロジェクトおよび来訪者数を表2に示す。年間のプロジェクト数は3～4グループで、それぞれのグループの所属人数は2～12人である。それぞれの年度における来訪者数は、集計を始めたH24からH26年までそれぞれ495人、627人、910人である。この人数は各年度における目標を達成しており、特にH26年度は目標よりも200人を超える来訪者があった。この増加は様々な要因によるものと考えられるが、H26年度は特に高い専門性、高い完成度の制作物が完成し、それを小中学生に理解できるように説明する準備ができるなど、高いレベルで個々の目標を達成したことが主な要因だと考えている。

表3に機械工学科とMeCafeが共同で企画したイベントの一覧を示す。それぞれのイベントは学生と教員の関係がWin-Winになるように企画している。例えば、新入生オリエンテーションの場合、MeCafeはメンバー募集、プレゼンテーションスキル向上の場を得ることができる。教員は、学生の目線から学校のリズム、試験対策などを新入生に紹介してもらい入学直後の不安の解消を狙っている。

## 6. 今後の課題

MeCafeに所属するひとりひとりの満足度向上のため3つのことを検討している。一つ目は、プロジェクトごと、個人ごとの明確な目標の設定である。これは全体の目標に科展来訪者数を用いて全体のモチベーションが上がったことを参考に、全体から個々への落とし込みを狙っている。二つ目は、学生のニーズに合った予算の確保である。これまでは必要な予算が3～5万の場合は科展援助金、10万程度であれば学内チャレンジプロジェクトを選択していた。今後はさらに高額なテーマに対応するため、学外の企画・コンテストなど資金援助を行う団体を探して対応したいと考えている。三つ目は、地域に貢献できるテーマ設定の支援である。現在の学科・学校を通じた間接的な地域への貢献から、地域に役立つモノづくりを行う、直接的な地域貢献に変えることで、高専祭を通じた一年に一度の社会貢献から年間を通じて持続可能な社会貢献活動に移行することができる。

## 7. おわりに

これまで述べた内容は、機械系学生による社会貢献を支援するスペースの組織化を行うにあたって考慮すべき基本事項である。このため実際に組織化する場合、これらの基本事項に加えて独自の創意工夫、さらに学科の特色を組み込むことがスムーズな立ち上げにつながるだろう。これ

までMeCafeを立ち上げて4年が経過し、まだ理想には届かないものの、高専祭M科展の活性化の成功など、わずかなではあるが手応えを感じている。しかしより多くの学生のニーズにこたえるには改良の余地も多く、さらなる工夫を今後も取り入れていかなければならない。

## 参考文献

- (1) 文部科学省, 子供たちの豊かな学びのための放課後・土曜日の教育環境づくり～“あったらいいな”を実現する夢の教育～(2014).
- (2) 文部科学省, 中央教育審議会生涯学習分科会学習成果活用部会 中間まとめ, (2015).
- (3) 吉田和子, “教育現場の門態と行政研修の課題”, 岐阜大学教育学部研究報告 教育実践研究 6 (2004).
- (4) 溝上慎一, “アクティブ・ラーニング導入の実践的課題”, (2007).
- (5) 中井俊樹, 中島英博. “ICT を活用した実践的教授法の明示化の試み: 『ティップス先生からの7つの提案』の事例”, 日本教育工学会論文誌 31.4 (2008), pp. 479-486.
- (6) 中山留美子, “アクティブ・ラーナーを育てる能動的学修の推進における PBL 教育の意義と導入の工夫”, 21世紀フォーラム第8号 (2013), pp.13-21.
- (7) 服部陽一, 松石正克, 谷正史, “工学設計とその課外活動環境” 工学教育, 54.2 (2006), pp.3-8.
- (8) 出村公成, 谷正史, 服部陽一, “金沢工業大学における夢考房プロジェクト教育”, 工学教育, 54.6 (2006), pp.128-135.
- (9) 辻多聞, “おもしろプロジェクトによる学びの成果と今後の課題”, 大学教育, 6 (2009), pp.61-72.
- (10) 辻多聞, “学生の自主的な活動支援部署の設立時の考慮事項”, 大学教育, 7 (2010), pp.47-56.
- (11) S. Enoki, H. Fukuoka, Y. Taniguchi, SOME ARRANGEMENTS FOR INCREASING ADVANCED COURSE STUDENT'S MOTIVATION AT THEIR RESEARCH, Transactions of ISATE 2015, (2015), pp.147-150.
- (12) Y. Taniguchi, M. Ozakib, T. Sasayama, H. Shimada, T. Inoue, K. Kodama and H. Fukuoka, "ACTIVE LEARNING VIA MECHANICAL ENGINEERING-BASED EXTRACURRICULAR ACTIVITIES", ISATE 2014, International Symposium on Advances in Technology Education, (2014), CD-ROM.
- (13) 林康弘, 小松川浩, “プロジェクト学習を通じた地域ポータルサイトの運営に向けた取り組み”, 日本社会情報学会全国大会研究発表論文集, 26.0 (2011), pp. 339-344.
- (14) 大石加奈子, “エンジニアリング・ファシリテーション 話し合いをうまくまとめるコミュニケーション・スキル”, 森北出版, (2011), pp.11-24.
- (15) P.F. ドラッカー, 編訳: 上田惇生, プロフェッショナルの条件—いかに成果をあげ、成長するか, ダイアモンド社, (2000), pp.83-93.

# 各種 Au 基二元合金の回転水中紡糸性

島岡 三義

## Spinnability of Various Au-Based Binary Alloys in Rotating-Water-Spinning Process

Mitsuyoshi SHIMAOKA

The spinnability of pure gold on the In-Rotating-Water-Spinning process is not good because of the low formability of the oxide film around the molten gold jet. The spinnability of Au-based Bi, Ge, Sb, Si, Te and Tl binary alloys has been examined by ejection into a water pool. In cases of Au-86.8at%Bi, Au-27at%Ge and Au-19at%Si alloys, short fibers were obtained. Especially, in Au-19at%Si alloy, long wire of 2280mm in length could be produced by the In-Rotating-Water-Spinning process. In cases Au-Sb, Au-Te and Au-Tl alloys, powders were only produced.

### 1. はじめに

金 (Au) の比重が 19.8 程度であり、オスミウムやイリジウムに次いで地球上で最も重い部類の金属である。Au 線は鑄造によって得られた棒材を伸線加工されて製造されるが、回転水中紡糸法により、溶湯から 1 パスで直径が 0.2 mm 程度の連続細線が製作可能になれば、細線製作プロセスの合理化並びに細線製作設備のコンパクト化が達成でき、それに伴いコストも大幅に削減できる。

Au のように密度が大きい材料での回転水中紡糸の研究報告例は見あたらなかったことから、また、回転水中紡糸法で連続細線を得るには、熔融ジェットに硬い酸化被膜を形成させ、回転水層中でのジェットの分断を阻止する必要があり、酸化被膜形成性を促進させるには Be 等の希土類元素の微量添加が効果的であるとの指摘がある<sup>(1)</sup>ことを踏まえ、筆者らは、酸化被膜形成性を付与する目的で Sn を添加することで、回転水中紡糸性が著しく向上し、1at% の添加でも連続細線を得ることができることを明らかにした。Sn 以外の元素でも連続細線が得られるかを探る目的で、入手が容易で融点が石英ガラスの軟化温度より低い Al と Mg を添加して紡糸実験を行い、Au-Al 合金、Au-Mg 合金の両合金において連続細線が得られ、細線形態と引張試験によって求めた引張強さや伸びについて報告している<sup>(2)-(4)</sup>。

そこで本研究では、回転水中紡糸性に効果がある添加元素 (x) を探るため、 $x = \text{Bi, Ge, Sb, Si, Te}$  および Tl を選定して、それぞれの Au-x 二元合金の熔融ジェットを静止水中に噴射し、短繊維状の凝固物が得られて連続細線化が望めそうな合金については回転水中紡糸実験も行ったので、それらの結果を報告する。

### 2. 実験装置および実験方法

Fig. 1 に回転水中紡糸法の概略を示す。この方法は、回転ドラム (内径 600 mm, 幅 60 mm) を回転させることで、遠心力によりドラムの内側に水層 (約 20 mm) を形成する。石英ガラス管を加熱形成して製作したノズル付きのつばに試料合金を (1 ~ 3 g) 程度挿入し、酸化防止のために、ノズル内の空気を Ar ガスにより十分置換した後、高周波誘導加熱装置により試料合金を加熱、融解し、Ar ガスの圧力により、回転水層中に噴射させ、融解合金を急冷凝固させることにより合金細線を製作するものである。回転水中紡糸実験の予備実験としての静止水中噴射実験装置の概略を Fig. 2 に示す。石英ガラス製ノズル付きのつばに試料合金を (1 ~ 3 g) 程度挿入し、酸化防止のために、ノズル内の空気を Ar ガスにより十分置換した後、高周波誘導加熱装置により試料合金を加熱、融解し、Ar ガスの圧

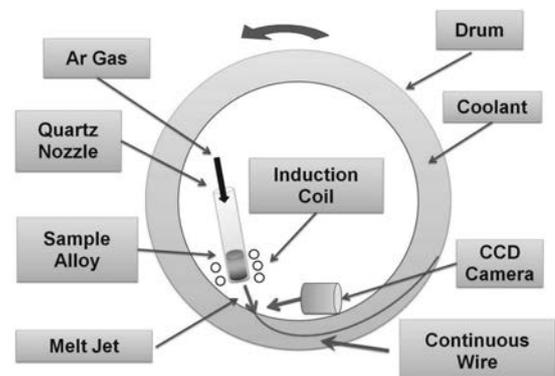


Fig.1 The Principle of the In-Rotating-Water-Spinning method.

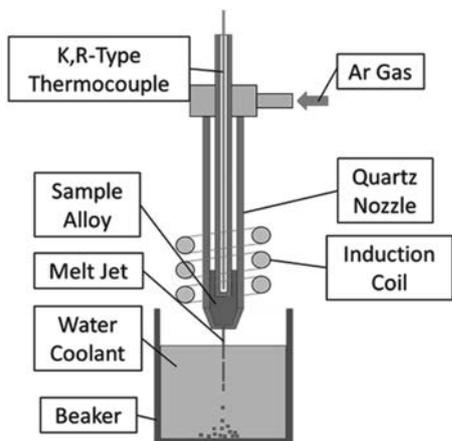


Fig. 2 Experimental apparatus for ejection of molten alloys into static liquid pool.

力により静止水中に噴射した。なお、ノズル内の溶湯の質量が少なく温度測定が困難な場合は、Ar ガスで加圧した状態で加熱して噴射させるか、合金が溶解した状況を目視で確認した後に Ar ガスで加圧して噴射した。噴射ノズル径は 100 ~ 200  $\mu\text{m}$ 、噴射圧力は 0.3 ~ 0.45MPa、冷却液体（水以外の液体も含む）の温度は 283K 前後とした。

試料合金として、Au-1at%Bi, Au-10at%Bi, Au-20at%Bi, Au-86.8at%Bi (共晶), Au-5at%Ge, Au-10at%Ge, Au-27at%Ge (共晶), Au-42at%Sb, Au-19at%Si (共晶), Au-1at%Te, Au-5at%Te, Au-53at%Te (共晶), Au-88at%Te (共晶), Au-1at%Tl および Au-73at%Tl (共晶) 合金を選定して実験を行った。使用した Au の純度は 99.99wt% で他の金属は 99.9wt% 前後である。

得られた凝固物を走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope : SEM) で観察し、紡糸性の向上策等を検討した。

### 3. 実験結果とその考察

#### 3. 1 Au-Bi 合金の紡糸性

Au-Bi 合金の平衡状態図<sup>(5)</sup>を Fig. 3 に示す。本研究では図の①~④の組成の合金を使用して実験を行った。Au および Bi 側の溶解度がないので、初晶として Au と Bi の固溶体を形成しない合金系である。

純 Au に 1at% 程度の Al, Mg および Sn 添加することで連続細線が得られることが明らかにされているので<sup>(3)</sup>, 純 Au に Bi を 1at% 程度添加 (合金①) して静止水中への噴射実験を行った。凝固物は Fig. 4(a) に示すような粉末状であった。水中突入時に溶融ジェットが粉碎され、冷却過程で表面張力によって球体になろうとするが、球体は凹凸がはっきりしていることから、球体の冷却速度が局所的に異なっていることがわかる。粉末の粒径は 500 $\mu\text{m}$  前後であり、噴射ノズル径より大きくなることがわかった。なお、他の凝固物とつながってひょうたん型になっているものがあつたが、それはごく一部であり、回転水中へ噴射しても連続細線化は期待できないと判断した。

Au-10at%Bi 合金 (合金②) では、Fig. 4(b) に示すよ

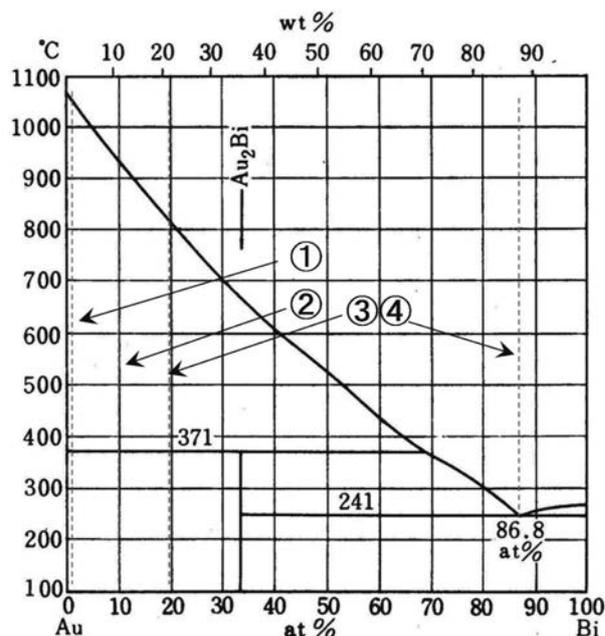


Fig. 3 Equilibrium phase diagram of Au-Bi alloy system.

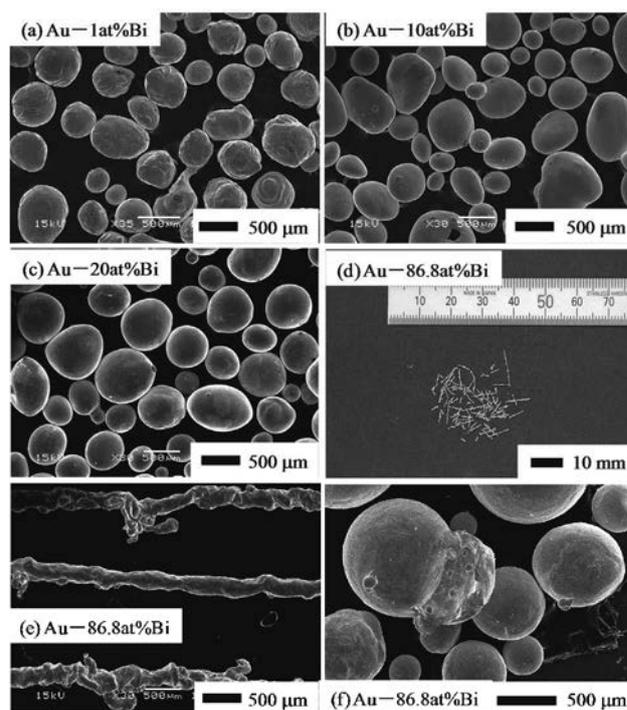


Fig. 4 SEM views and photograph of solidified products obtained by ejection into a water pool of the molten Au-Ge alloys.

うに合金①と同程度の粒子の大きさの凝固物が得られた。合金①の凝固物と比べて表面が全体的に滑らかであった。Au-20at%Bi 合金 (合金③) でも、Fig. 4(c) に示すように、合金②と同様の凝固物が得られた。融点直上での表面張力は Au が Bi より 3 倍程度大きく、温度低下による表面張力の低下率も Au が Bi より大きいこと、また、粘性係数も Au が Bi より大きい<sup>(6)</sup> ことを考え合わせると、Bi 添加量の増大に伴い、その合金の液相線直上の表面張力は低下するが、粘性係数は増加していくと考えられるので、凝固

物の表面が滑らかになっているのは、この粘性係数の増大が影響しているものと考えられる。

共晶組成の Au-86.8at%Bi 合金 (合金④) を静止水中に噴射した結果、Fig. 4(d,e) に示すように、数mm程度の長さの線状凝固物を得られた。静止水中を溶融ジェットが進むため、水圧でジェットが圧縮されるので太さは均一にならず、縮れたものになるのはやむを得ない。線質はピンセットで摘むだけで折れてしまうほどの非常に脆いものであった。共晶組成では Bi を大量に含むため、Bi の脆い性質が表れたものと考えられる。この合金を 870K 程度に加熱して噴射した場合は、Fig. 4(f) のように、粉末状の凝固物となった。紡糸性がある合金組成でも、共晶温度 (514K) より大幅に過熱すると紡糸性は全くなくなってしまうことを示している。また、過熱度が大きいことで表面張力による球形度の向上や表面性状の向上が期待されたが、純 Au に近い、歪な凝固物になっていた。

### 3. 2 Au-Ge 合金の紡糸性

Au-Ge 合金の平衡状態図<sup>(7)</sup> を Fig. 5 に示す。この合金も共晶型であり、共晶組成は 27at%Ge である。室温付近では Au の Ge への固溶はないが、Au へはわずかに Ge が固溶する。

Au-5at%Ge (合金⑤) を静止水中に噴射した結果、Fig. 6(a) に示すように、粉末状の凝固物となった。粒子径は 200 ~ 500 $\mu$ m 程度で、一つ一つの粒子に 50 $\mu$ m 程の突起ができていた点が Au-Bi 合金と異なっている。Ge の融点直上の表面張力は Bi よりは大きいもので、Au よりは小さい。粘性係数は Bi の半分以下と小さいので<sup>(6)</sup>、これが原因の一つとして、噴射された溶融金属が入水し、その衝撃によって分裂した溶融金属の先端が水に触れたところから凝固し、遅れて凝固した部分は表面張力によって球状に変形したのではないかと考えられる。

Au-10at%Ge (合金⑥) の場合も、Fig. 6(b) に示すように、粉末状の凝固物となったが、複数の凝固物とつながっているものを多く確認でき、合金⑤と同様の突起も確認できた。多くの球状融体が連続して合体すれば連続細線になることになるが、そのような凝固物は得られなかった。

共晶組成の Au-27at%Ge (合金⑦) の共晶温度が 629K で、それより 250K ほど過熱して静止水中に噴射した場合には、Fig. 6(c) に示すように粉末状の凝固物となったが、Fig. 6(a) に見られるような突起は稀であった。粒子表面は Fig. 6(d) に示すように、層状の共晶組織が観察された。

共晶温度より 100K 程度過熱して 713K で噴射した場合は、Fig. 6(e) に示すように、球状ではなく、形が全く不揃いの凝固物を得られた。このような形になるということは、逆に球体になりにくいこと、噴射条件や冷却液体によっては細線化が望めることを示唆している。

そこで、溶湯過熱度を 50K 程度にして 683K で噴射した。その結果、Fig. 6(f,g) に示すような、真直ではないものの、Au-Bi 共晶合金の場合より、断面寸法がほぼ一樣な細線が得られた。また、共晶組成が Au 寄りであることから、細線は金色であった。さらに、ピンセットで摘んでも折れない程度の延性があった。しかし、Fig. 6(h) に示すよう

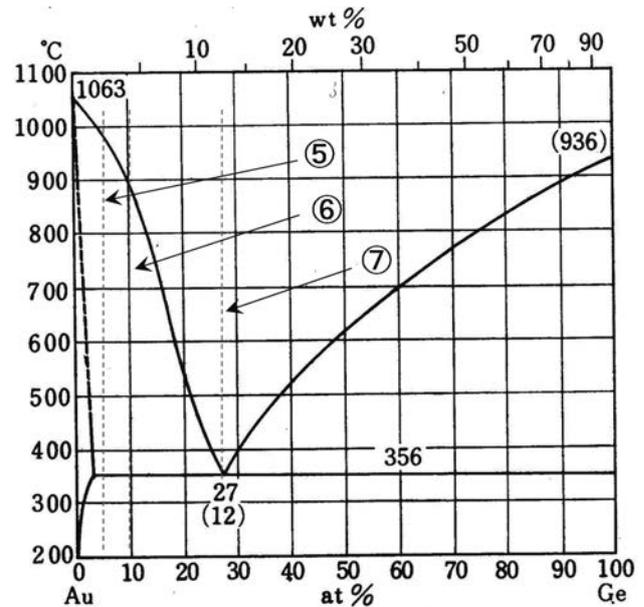


Fig. 5 Equilibrium phase diagram of Au-Ge alloy system.

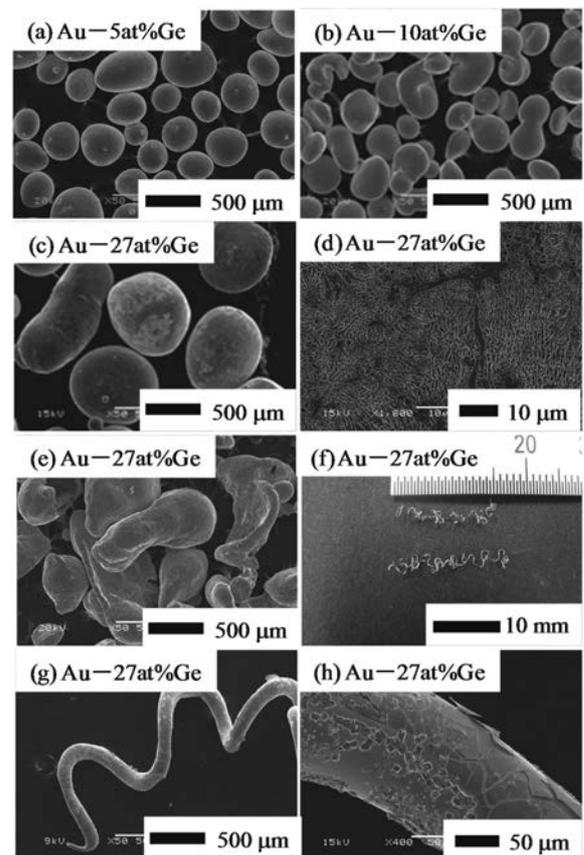


Fig. 6 SEM views and photograph of solidified products obtained by ejection into a water pool of the molten Au-Ge alloys.

に、細線表面には四角形の結晶が析出しており、また、ひび割れができていて、固い皮膜ができていたことがわかった。この皮膜が溶融ジェット入水時の衝撃による溶融ジェットの分断を防止していたものと考えられる。

### 3. 3 Au-Sb 合金の紡糸性

Au-Sb 合金の平衡状態図<sup>(8)</sup>を Fig. 7 に示す。Au-36at%Sb 共晶合金 (合金⑧) を静止水中に熔融ジェットを噴射した結果、Fig. 8 に示すように粉末状の凝固物しか得られなかった。また、Fig. 6(e) に類似して、粒子の球形度は低かった。これまでの筆者らの紡糸経験から、噴射条件によっては Fig. 6(f) のような細線が得られる可能性があったが、その検証はできてなかったので今後の課題としたい。

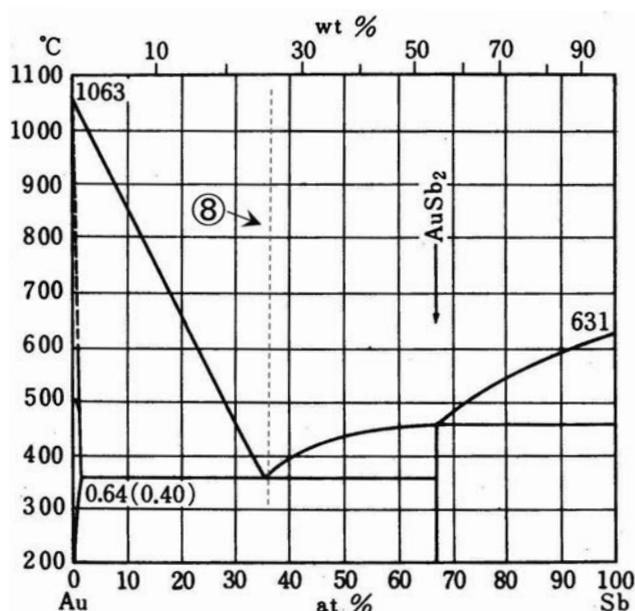


Fig. 7 Equilibrium phase diagram of Au-Sb alloy system.

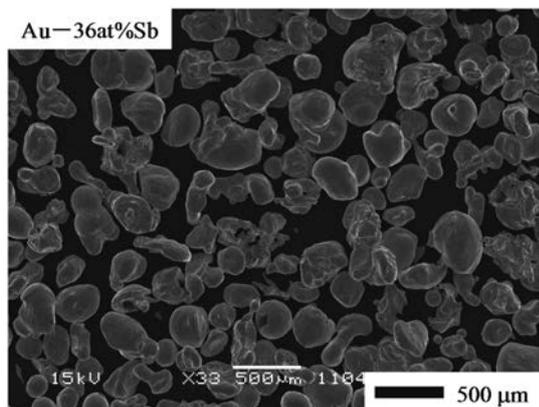


Fig. 8 SEM view of solidified products obtained by ejection into a water pool of the molten Au-Sb eutectic alloy.

### 3. 4 Au-Si 合金の紡糸性

Au-Si 合金の平衡状態図は 1920 年に概略が決められたが、共晶温度に大差はないが、共晶組成が近年の研究で 31at%Si から 19at%Si 前後に解釈されるようになった。本研究では Au-19at%Si (合金⑨) を共晶合金<sup>(8)</sup>として実験を行った。この合金の紡糸性は優れており、ノズル径を 150 $\mu$ m、ドラム回転数を 3.33s<sup>-1</sup>、噴射圧力を 0.45MPa、熔融ジェット入射角を 0.873rad、合金噴射温度 703K、冷却水温度 294K の条件において紡糸実験を行った。Fig. 9(a)

に、回転水層中における溶融合金ジェット流の様子を示すが、ジェットの流は極めてスムーズであった。Fig. 9(b) と (c) に得られた細線の外観と細線の断面形状を示す。真直性は良好であるが、細線断面の円形度は高くない。溶融合金ジェットの入射角を小さくすれば、回転水流から受ける動圧を低下できるので、より円形度の高い細線が得られるものと考えられる。なお、得られた細線の長さは最長で 2280 mm であった。

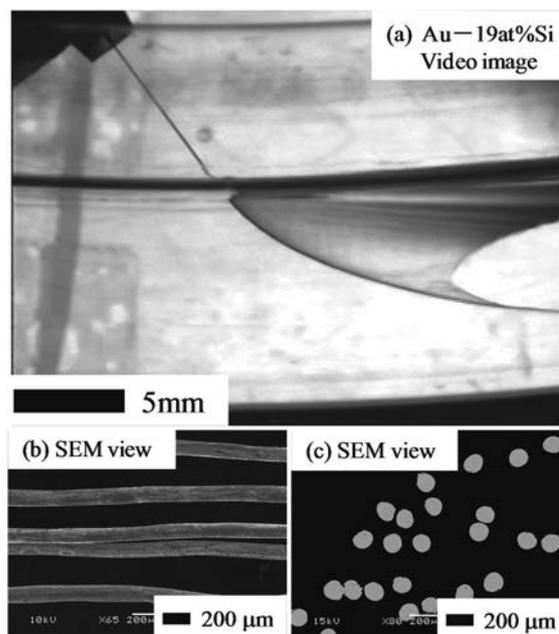


Fig. 9 Melt jet flow in rotating water layer, obtained wire and the cross sectional shape of Au-Si eutectic alloy.

### 3. 5 Au-Te 合金の紡糸性

Au-Te 合金の平衡状態図<sup>(9)</sup>を Fig. 10 に示す。Au-1at%Te 合金 (合金⑩) と Au-5at%Te 合金 (合金⑪) は、ノズル径が 150 $\mu$ m、噴射圧力が 0.3MPa、冷却水温度が 294K 前後の条件で静止水中への噴射 (Ar ガスで加圧しながら加熱、溶解) を行った。Fig. 11 に得られた凝固物の写真と SEM 像を示す。これらの凝固物は組成によらず、Fig. 11(b), (d) に示すように、最大直径が 300 $\mu$ m 程度の楕円体であり、Au-1at%Bi 合金の場合のように、粒子の表面は滑らかではなく、凹凸があった。Fig. 11(a), (c) に示すように、凝固物の色は金色であったが、合金⑪の方がくすんでいた。これは、Te の添加量の違いによるものと言える。

共晶組成の Au-53at%Te (合金⑫) と Au-88at%Te (合金⑬) も上記と同様の条件で静止水中への噴射実験を行った。ただし、噴射温度はそれぞれの共晶温度より約 50K 高い温度とした。Fig. 12 に得られた凝固物の写真と SEM 像を示す。これらの合金では Fig. 12(a), (c) に示すように、黒色であり、Fig. 11(b), (d) に示すように、楕円体でもない、形態が不揃いな粉体となった。合金⑫の表面はやや滑らかに見えたが、合金⑬では、非常に脆いようで、凝固物は粉を吹いたようになっていた。

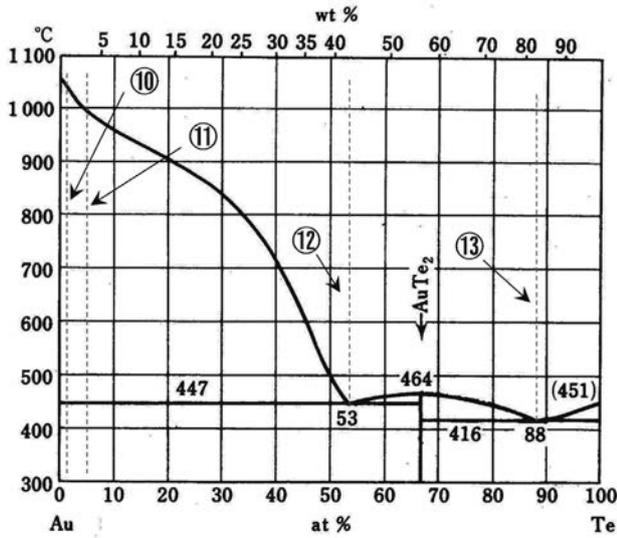


Fig. 10 Equilibrium phase diagram of Au - Te alloy system.

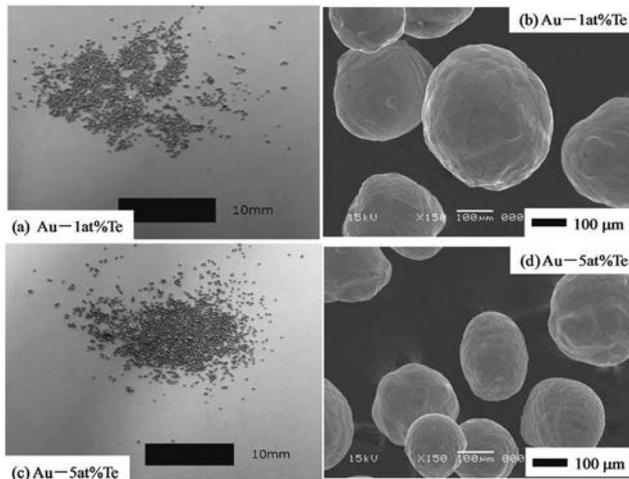


Fig. 11 SEM views and photographs of solidified products obtained by ejection into a water pool of the molten Au-Te alloys.

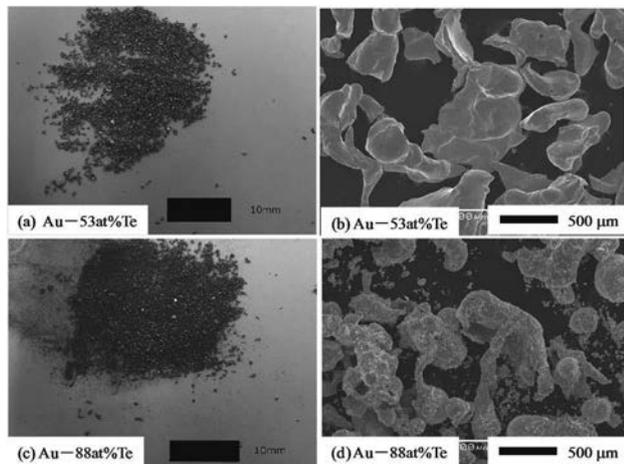


Fig. 12 SEM views and photographs of solidified products obtained by ejection into a water pool of the molten Au-Te eutectic alloys.

### 3. 6 Au-Tl 合金の紡糸性

Au-Tl 合金の平衡状態図<sup>(10)</sup>を Fig. 13 に示す。Au-1at%Tl (合金⑭) と Au-73at%Tl (共晶合金⑮) を静止水中に噴射した結果、Fig. 14(a), (c) に示すように、両合金とも粉末状の凝固物となった。合金⑭は Fig. 14(a) に示したように金色であったが、合金⑮は Tl 量が多いので同図 (c) のように、凝固物は黒色となった。合金⑮は Tl 量が多いにも関わらず、Au-Te 合金のような不揃いの形態にはならず、大きさは不揃いであるが、同図 (d), (e) に示すように、球形度の高い凝固物になっていた。ただし、粒子の表面は、合金⑭が滑らかであるのに対し、合金⑮では同図 (e), (f) に示すように、表面は著しくざらついているように見えた。

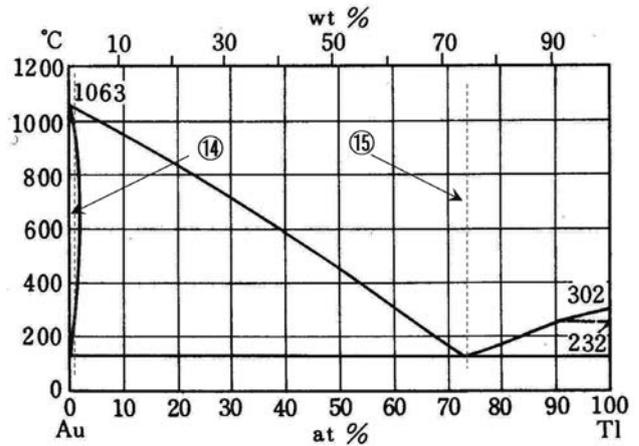


Fig. 13 Equilibrium phase diagram of Au - Tl alloy system.

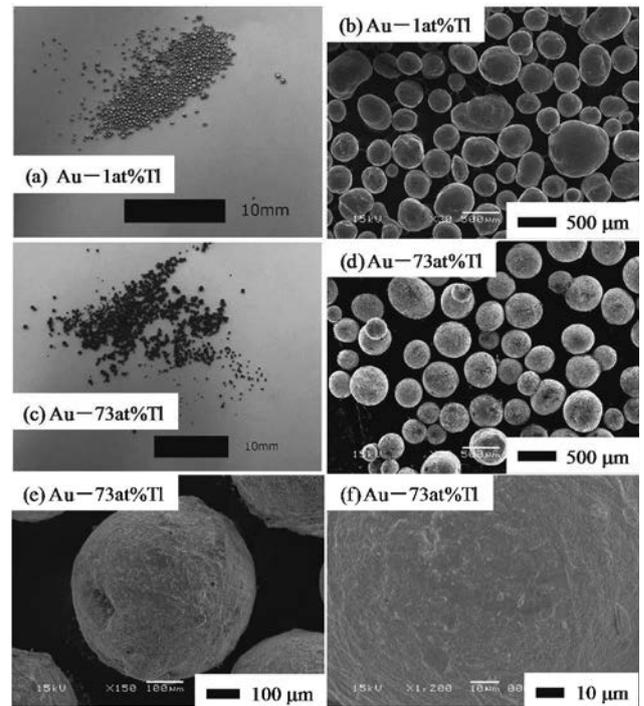


Fig. 14 SEM views and photographs of solidified products obtained by ejection into a water pool of the molten Au-Tl alloys.

4. おわりに

参考文献

純金の酸化被膜形成性の低さから、回転水中紡糸法による純金細線の製作が不可能であったことから、噴射ノズルとして石英ガラスが使用可能な範囲で添加元素を選定し、静止水中への各種 Au 基二元合金の噴射実験を通して回転水中紡糸性の有無を検証した。本研究と筆者らの過去の研究結果から、Fig. 15 に示すように、添加元素として紡糸性を向上させ得る元素（青色）、添加量や噴射条件次第では紡糸性の向上が期待できる元素（黄色）、どの組成でも紡糸性がないと判断できる元素（赤色）に区別することができた。

回転水中紡糸法により金糸を製作したいとの思いから始めた研究であるが、Au-1at%Mg 合金がもっとも純金色に近く、剛性は低いものの、逆にしなやかであり、服飾その他への利用が期待できるものと考えている。

本研究を進めるに当たり、卒業研究等において坂田義樹君、水口晴歌さん、泉岡直希君、和田 基君、松田耕一君、吉川朝哉君の学生諸君に紡糸実験のご協力があった。また、一部の試料合金は田中貴金属工業株式会社からご提供いただいた。さらに、京都大学大学院工学研究科安田秀幸教授に多くのご助言をいただいた。以上、記して謝意を表します。

- (1) I. Ohnaka : In-Rotating-Liquid Spinning Process, *Encyclopedia of Materials Science and Engineering*, R. W. Cahn and M. B. Bever (eds.) , Pergamon Press, pp. 584 - 587,1988.
- (2) 和田 基, 島岡三義 : 回転液中紡糸法による Au-Sn 合金細線の製作, 日本機械学会関西支部第 87 期定時総会講演会講演論文集 No.124-1, p.9-26, 2012.
- (3) 坂田義樹, 水口晴歌, 和田 基, 島岡三義, 安田秀幸, 回転水中紡糸法による Au-Al, Mg, Sn 合金細線の作製, 日本金属学会 2013 年春季 (第 152 回) 講演大会, ポスターセッション, 2013.
- (4) 島岡三義・和田 基: 奈良工業高等専門学校研究紀要, **48**, pp. 17 - 22, 2013.
- (5) 日本金属学会 : 改訂 3 版 金属データブック, 1993, p. 484.
- (6) 日本金属学会 : 改訂 3 版 金属データブック, 1993, p. 16.
- (7) 日本金属学会 : 改訂 3 版 金属データブック, 1993, p. 486.
- (8) 日本金属学会 : 改訂 3 版 金属データブック, 1993, p. 489.
- (9) 日本金属学会 : 改訂 3 版 金属データブック, 1993, p. 490.
- (10) 日本金属学会 : 改訂 3 版 金属データブック, 1993, p. 491.

1	1																		2
	H	2(2A)												13(3B)	14(4B)	15(5B)	16(6B)	17(7B)	He
2	3	4												5	6	7	8	9	10
	Li	Be												B	C	N	O	F	Ne
3	11	12												13	14	15	16	17	18
	Na	Mg	3(3A)	4(4A)	5(5A)	6(6A)	7(7A)	8(8)	9(8)	10(8)	11(1B)	12(2B)	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
	Cs	Ba	ランタノイド	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	

Base metal (Au)    
  Spinnability    
  Good    
  Depend on composition and spinning condition    
  Bad

Fig. 15 Effect of the additional metal element on the spinnability.

## 学生による超小型人工衛星プロジェクトのための 衛星データ配信・共有システムの開発Ⅲ

浅井 文男

### Development of a Satellite Data Delivery and Sharing System for Student CubeSat Projects III

Fumio ASAI

今年度は開発システムを運用するために必要な衛星地上局設備の構築と動作検証実験を行った。研究当初は地上局設備に既設の設備を使用する予定であったが、文部科学省平成26年度宇宙航空科学技術推進委託費の支援を受けた国立高専超小型衛星実現に向けての全国高専連携宇宙人材育成事業で開発する超小型人工衛星のための地上局設備を導入したので、これを開発システムの地上局設備にも利用できるように構築を図り、衛星の受信運用を開始できた。

#### 1. はじめに

近年、モデルロケット・模擬人工衛星 (CanSat) 開発コンテストや超小型人工衛星 (CubeSat) 開発プロジェクトに代表される実践的な宇宙航空科学技術者教育が世界規模で進展している。このような状況に対応するため、高知、徳山、香川、奈良、新居浜、明石、群馬、鹿児島等の国立8高専の教員有志が「高専スペース連携」を結成し、宇宙開発や地球観測などに携わる技術者教育の活性化を図るための活動を続けている。その実績を「国立高専超小型衛星実現に向けての全国高専連携宇宙人材育成事業」の提案書にまとめ、文部科学省の平成26年度宇宙航空科学技術推進委託費に応募し、採択されるに至った。これを受けて全国の高専が参画・連携できる、モデルロケット・CanSat・CubeSatの実践的なものづくり教育を軸に据えた教材開発や講習会開催などの活動プログラムを計画・実施している。これらの活動の目的は人材育成であるが、目標はCubeSatのフライトモデルを完成させ、打ち上げ・運用し、ミッション達成を実現することである。そのため、衛星運用を想定した衛星地上局を各高専に構築し、大学衛星を利用した追尾・受信トレーニングや、テレメトリデータの解析実習など、衛星運用関連の知識や技術の習得を図る教材の作成やワークショップの開催なども企画している。

本稿では宇宙人材育成事業に参画する6高専に導入された衛星地上局システムを構築し、ダウンリンクに430MHz帯を使用する衛星を追尾し、データを受信するための具体的な設置作業の内容と手順を詳細に報告する。

#### 2. アンテナの室内組み立てと調整

- 取扱説明書に従ってアンテナ (UQ-142) とローテータ (G-5500) を組み立て、暫定的なマストに取り付ける。



図1 室内で組み立てたアンテナ

- ローテータ本体とローテータコントローラを6芯ケーブルで接続する。AZIMUTH (方位) と ELEVATION (仰角) のケーブルが区別できるように印を付ける。ローテータコントローラへのケーブル接続は最後の作業でもかまわない。6芯ケーブルの各芯線がショートしないよう、適切な処理をしておく必要がある。



図2 ローテータ本体とコントローラの結線

- ・アンテナの放射器の給電部に2分配ケーブル（4 mの5D-2V同軸ケーブル）を取り付ける。次に、マストに電力分配器、同軸避雷器、プリアンプをそれぞれ取り付ける。なお、避雷器を取り付ける場合は、別途、用意する。今回は避雷器に第一電波のSP3000Wを使った。
- ・アンテナ → 分配器 → 避雷器 → プリアンプの順に、それぞれ5D-2V同軸ケーブルで接続する。電力分配器、避雷器、プリアンプを接続するために必要な2本の同軸ケーブルは2分配ケーブルを切断して作るか、別途、用意する。N型コネクタ（オス）も、別途、必要である。同軸ケーブルの長さは屋外のアンテナ設置現場で各装置をマストに取り付ける位置や、取り付け間隔、同軸ケーブルの引き回し方法を想定して調節する。今回は2本とも50 cmにした。2分配ケーブルは4 mのままで使った。プリアンプの電源ケーブルは赤黒の複線であるが、必要なのは単線（赤）で、これにF型コネクタを取り付けて、プリアンプの電源端子（PWR）に接続する。強制スタンバイの配線もしても支障ない。



図3 プリアンプと同軸避雷器の取り付け

- ・屋外のアンテナ設置現場の状況に応じてスタック幅を調整する。設置現場にアンテナと接触する障害物がない場合、調整の必要はない。屋外に設置する場所ではテレビアンテナと接触するので、スタック幅を60 cmにしたが、SWRは悪化しなかった。スタック幅を狭くすると水平方向のフロントゲインが低下するので、特別な事情がなければ標準仕様のままで使用する。



図4 スタックブーム幅の調整（その1）

- ・ローテーターを回転させてアンテナの方位および仰角を全方向に変化させ、ケーブルがマストや取り付け装置に絡みついて引き延ばされたり、必要以上にねじれたりしないよう、装置の取り付け位置やケーブルの引き回しを念入りに調整し、結果は記録しておく。

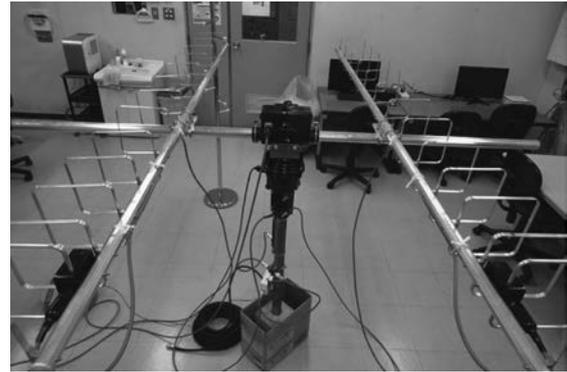


図5 スタックブーム幅の調整（その2）

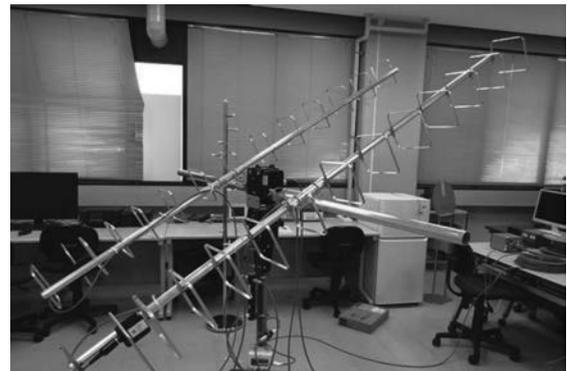


図6 ケーブルの引き回しの調整

- ・取扱説明書に従ってローテーターコントローラのオフセット調整（ローター調整）を行う。これで屋内で実施する準備作業は完了し、SWRは良好であった。

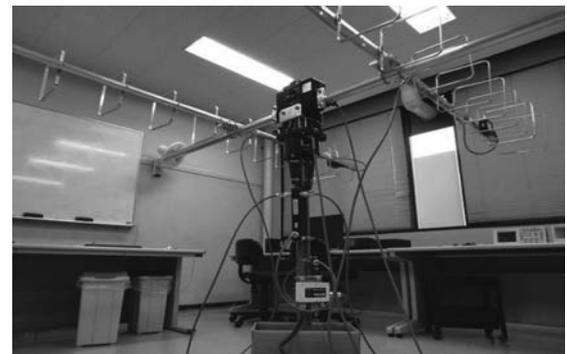


図7 組み立てと調整が完了したアンテナ

### 3. アンテナの屋外設置と調整

- ・準備で組み立てたアンテナやローテーターをできるだけ分解しないで屋上に運ぶ。アンテナを設置するベースはコンクリート製土台に固定された頑丈な三角ベースで、これに長さ2 m、直径48 mmの鉄製ポール（マスト）をボルトで取り付ける。



図8 屋上に運んだアンテナ



図9 アンテナを取り付けるベース

- ・アンテナ、ローテーター、プリアンプなどをマストに取り付け、同軸ケーブルなどを接続する。取り付けと接続は準備で完成させた仮設置を再現する形で行う。ローテーターを取り付けるときの注意点は AZIMUTH (方位) の基準方向 ( $0^\circ$ ) を「真北」にする。AZIMUTH (方位) の基準方向 ( $180^\circ$ ) を「真南」にして取り付けることもできる。今回はこちらの取り付け方法を採用した。また、スタック幅を狭くしたため水平方向のビーム幅が広がるので、単純に方位磁針が指す「南」を基準方向にしたが、できれば正確な方位に取り付ける。
- ・仮設置の場合と同様、ローテーターを回転させてアンテナの方位および仰角を全方向に変化させ、ケーブルがマストや取り付け装置に絡みついて引き延ばされたり、必要以上にねじれたりしないよう、装置の取り付け位置やケーブルの引き回しを念入りに再調整する。
- ・調整が終わったら、同軸ケーブルのコネクタなどに自己癒着テープとビニールテープで防水処理を施す。



図10 設置と調整が完了したアンテナ



図11 ケーブルの取り付けと引き回し

- ・アンテナ、ローテーター、マストなどに錆止めを施す。専用の錆止め剤も市販されているが、今回は透明のアクリル (ラッカー) スプレーを吹き付けて防水処理した。
- ・同軸ケーブルやローテーターケーブルを屋内に引き込む。以上でアンテナとローテーターの設置作業は完了する。

### 謝辞

本研究は平成 23 ~ 25 年度科学研究費補助金 (課題番号 24501079) と文部科学省平成 26 年度宇宙航空科学技術推進委託費の支援を受けた。また、国立高専超小型衛星実現に向けての全国高専連携宇宙人材育成事業に参画する高知、徳山、香川、新居浜、明石、群馬、鹿児島島の各高専のプロジェクトメンバー各位の連携や協力を受けた。これらの支援や協力に厚く感謝致します。

### 参考文献

- (1) 久保陽一郎, 浅井文男: 「CubeSat プロジェクトのための衛星データのリアルタイム配信とオンライン共有に関する研究」, 教育システム情報学会学生研究発表会予稿集, pp.118-119, (2012).
- (2) 浅井文男: 「学生による超小型人工衛星プロジェクトのための衛星データ配信・共有システムの開発」, 奈良工業高等専門学校研究紀要, Vol.48, pp.29-30, (2013).
- (3) 浅井文男: 高専超小型人工衛星実現に向けた受信協力体制の検討, 第 30 回高専シンポジウム (講演), (2015).

## 中高生向けビジュアルプログラミング講座

松村 寿枝, 内田 眞司, 西野 貴之, 松尾 賢一

Visual Programming Lecture for Junior and High School Students

Toshie MATSUMURA, Shinji UCHIDA, Takayuki NISHINO and Ken'ichi MATSUO

本論文は、2014年、2015年に電子情報通信学会関西支部と共催で実施した中高生向け講演会についてまとめたものである。本講演会は、中高生対象であり、ビジュアルプログラミングを用いてプログラミングを学ぶ講座である。ビジュアルプログラミングツールとして、ヴイストン株式会社の加速度センサプログラマーおよび計測制御プログラマーを使用した。プログラミング講座は、同一の内容で夏休み期間中の2日間、2年間で計4日間実施した。受講者アンケートの結果をもとに、受講者の理解度、プログラミングへの興味、全体の満足度を比較・検討すると、本講座は目的である「中高生が苦手意識を持つことなくプログラミングに興味を持つ」ことができたと考えられる。この結果は、同年代の高専低学年のプログラミング導入教育に応用することが可能と考えている。

### 1. はじめに

近年、教育現場においてプログラミング教育の必要性が言われるようになり、プログラミングが公立の中学校や高等学校でも扱われる内容となってきた。また、小学生の習い事の1つとしてプログラミングがあげられるなどプログラミングが、「専門的な知識」から「必要な知識」となってきた<sup>(1)</sup>。一方、著者らは、高校生と同年代である奈良工業高等専門学校情報工学科（以下、奈良高専情報工学科）の低学年の学生に対しプログラミングの講義を行ってきた。プログラミングを受講した奈良高専情報工学科の学生にプログラミングの意識についてアンケートを取ると、プログラミングの意義は理解しているが、プログラミングに苦手意識を持つ学生が一定数いるのも事実である。これは他の高専や大学等でも同様である<sup>(2)(3)</sup>。そこで筆者らはプログラミングを学ぶ導入として、苦手意識を持たないようにプログラミング教育を実施するにはどのような手法が適しているかを検討・実践してきた<sup>(4)(5)</sup>。その手法の1つとして、ビジュアルプログラミングがあげられる<sup>(6)</sup>。ビジュアルプログラミングは、視覚的な操作でプログラミングを行うものであり、テキスト記述型の言語で生じる文法的なエラーが生じにくく、文法的な学習を中心に行うテキスト記述型の言語に比べ、アルゴリズムの理解などプログラミングそのものの理解を深めることができる。そのため、初学者にとって扱いやすいプログラミング方法であり、入門段階では成功を収めている。これまでにビジュアルプログラミングを用いたプログラミング教育としては、SqueakやScratch<sup>(7)(8)</sup>などを使用した研究

が報告されている<sup>(9)(10)</sup>。SqueakやScratchは低学年の子供を主な対象としているため、変数を数値型・文字型と限定することで変数を気にすることなく、マウスの操作のみでプログラムを行うことができる。また、松澤らの大学生を対象とした先行研究では、ビジュアルプログラミングとテキスト記述型の言語併用による講義では、苦手意識を持つ学生ほどビジュアル言語の選択率が高かったことが報告されている<sup>(11)</sup>。

さて、奈良高専情報工学科では、電子情報通信学会関西支部と共催で毎年公開講座を開催しているが、2007年度から、講義科目の1つであるプログラミングを小中学生に体験してもらうことで情報工学科のみでなく、広く情報工学に興味を持ってもらうことを目的として、小中学生対象のプログラミング講座を開催している<sup>(12)(13)</sup>。2014年および2015年は、これまでと同じ内容の公開講座は小学生のみを対象とし、電子情報通信学会の関西支部と共催で中高生向け講演会として、中高生向けビジュアルプログラミング講座を開催した。中高生に小学生とは異なるアルゴリズムを意識したビジュアルプログラミング講座を開催し、プログラミングに苦手意識を持つことなく、更に興味を持ってもらうことを目的に実施した。また、この講座の内容は、同年代の情報工学科の学生へのプログラミング教育の導入としても有用になると考えられる。

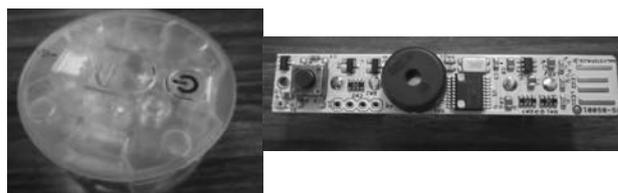
### 2. ビジュアルプログラミング

ビジュアルプログラミングは、本校のプログラミングの講義で使用しているJava、C言語のようなテキスト記述型

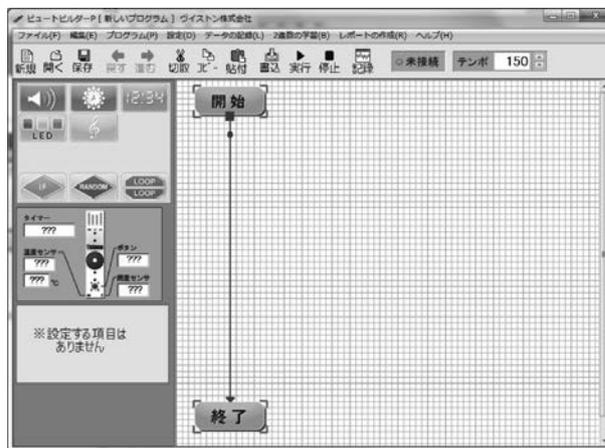
の言語でなく、視覚的な操作でプログラミングを行うものである。具体的には、命令の書かれたブロックをマウス操作で並べていくことでプログラミングを行うものがある。いろいろな種類のビジュアルプログラミング言語が開発されているが、本講座では、ビジュアルプログラミングのツールとして2014年は、ヴイストーン株式会社製のプログラミング教材「加速度センサプログラマー」と付属のソフトウェアの「ビュートビルダーG」を、2015年は、同社の「計測制御プログラマー」と付属のソフトウェア「ビュートビルダーP」を使用した<sup>(14)</sup>。図1に加速度センサプログラマーと計測制御プログラマーおよび付属ソフトウェアのビュートビルダーPを示す。なお、ビュートビルダーGとビュートビルダーPは、センサ部分の制御で一部の相違はあるが、ソフトウェアの見え方や操作方法はほぼ同じである。フローチャートを書くのと同様にそれぞれの命令ブロックをマウス操作により開始から終了までにつなぐことでプログラミングを行うことができる。出来たプログラムは、USBケーブルを接続、あるいはパソコンにそのまま接続し、加速度センサーや計測制御プログラマーに転送し、動作を確認することができる。使用されている加速度センサーは、スマートフォンやゲーム機などに組み込まれており、学生にもなじみのあるものである。また、自分が作成したプログラムの通りに加速度センサー、計測制御プログラマーが反応・動作することを体験することで受講者のモチベーションをあげることを期待している。

### 3. 講演会の実施

講演会は、プログラミング講座として、2014年8月3日(日)と8月31日(日)、2015年8月2日(日)と8月9日(日)に情報工学科演習室で開催された。定員は、1日当たり10名の合計20名で、2日間とも同じ内容とした。2014年は定員20名に対し応募者24名、2015年度は定員20名に対し応募者34名であった。いずれの年も講座の申込者が定員を超えたため、抽選を実施し、定員より多い受講者を決定した。表1に受講者の学年及び性別を示す。中高生対象の講座ではあるが、中学生の申し込みが大半であり、特に中学1、2年生の男子生徒が多く受講している。当日は、高専教員3名と技術職員1名、2014年は6名、2015年は5名の補助学生でプログラミング講座を担当した。なお、補助学生は情報工学科5年生及び専攻科電子情報工学専攻の学生である。補助学生は、主にパソコンの使い方やソフトウェアの使い方がわからないあるいは説明を聞きのがした受講生のフォローを行う。講座の内容は、加速度センサーあるいはセンサについて説明を行い、プログラミングとは何か、プログラムの流れ(順次、繰り返し、分岐)についての説明と簡単な演習を行った後、受講者各自で実習を行った。講座のテキストは、自作したものを扱い、講師がパワーポイントを用いて説明を行った後、演習を行った。



(a) 加速度センサプログラマー (b) 計測制御プログラマー



(c) 付属ソフトウェア (ビュートビルダーP)

図1 ビジュアルプログラミングで使用ツール<sup>(14)</sup>

### 4. アンケート結果

講座の開始時と終了時にアンケートを実施した。実施したアンケートの設問の抜粋とその結果を述べる。

#### 【開始時のアンケート (抜粋)】

1. パソコンなどのコンピュータに興味を持っていますか?
2. プログラミングに興味を持っていますか?
3. プログラミングを体験したことがありますか?
4. 体験した人はどのようなプログラミング言語ですか?
5. 学校の授業でパソコン(タブレットも含む)を使った授業はありますか?
6. 家にパソコンがありますか?
7. マウス操作は得意ですか?
8. キーボード入力は得意ですか?
9. 次の用語を知っていますか  
(ダブルクリック、スクロール、ドラッグ・アンド・ドロップ、コピー・アンド・ペースト、エンターキー、バックスペースキー、スペースキー)

表1 参加者の学年及び性別

		2014年	2015年
学年	中学1年	7	13
	中学2年	7	6
	中学3年	4	3
	高校1年	1	0
性別	男	15	18
	女	4	4

開始時のアンケートの目的は、プログラミングやパソコンへの興味、パソコンスキルを知る目的で実施している。

開始時のプログラミングやパソコンへの興味について聞いたものが、設問1, 2である。1, 2の結果を表2に示す。パソコンやプログラミングには受講者の大部分が興味を持っており、「あまり興味がない」、あるいは「まったく興味がない」とする受講者はいなかった。

また、設問3のプログラミングをしているあるいは体験したことがある受講者は、2014年で42.1%、2015年で52.4%であった。一方、設問5の「学校でコンピュータを使った授業がある」は2014年で47.4%、2015年度は、「ある」が76.2%である。また、設問6の自宅でのパソコンの所有率は、100%であった。このことから、学校でのパソコンの授業は増えてきており、すべての家でパソコンを所有している状況であることがわかる。中高生は学校や家でパソコンに触れる機会が以前よりも増えてきていると考えられる。更に、プログラミング経験者にどのようなプログラミング言語を体験しているかを質問した設問4の結果では、同じビジュアルプログラミング言語の1つであるScratchが多いが、中にはC#やJavaなども少数であるが回答されている。これまでの結果から、自宅や学校でパソコンに触れる機会が多く、プログラミングに興味を持った生徒が積極的に本講演会を受講していることが分かった。

パソコンのスキルについては、マウス操作が苦手な受講者は、2014年で10.5%、2015年で0%、キーボード入力が苦手な受講者は、2014年36.8%で、2015年19.1%であった。マウス操作に関しては、苦手な受講者が少ないが、キーボード入力に関してはマウス操作よりは苦手と感じている受講者がいる。また、設問9のパソコン操作上のスキルについての質問を見ると、ダブルクリックを全く知らないという受講者はおらず、それ以外の言葉についても大半の受講者が理解しており、講演会の実施の際に困ることはなかった。以前に比べ、自宅や学校でのパソコンの利用により中高生のパソコンスキルは確実にあがっていると考えられる。

最後に終了時のアンケートの設問とその結果をまとめる。終了時のアンケートは、講座の理解度や満足度を調べる目的で実施しているが、来年度以降の参考にするためのニーズ調査も含んで実施している。今回はニーズ調査の質問については割愛している。

【終了時のアンケート (抜粋)】

1. 講座の内容はどうでしたか。わかりやすかったですか？
2. 講座の内容は参考になりましたか？
3. ビジュアルプログラミングは分りやすいと思えましたか？
4. プログラミングの構造(順次, 分岐, 繰り返し)は理解できましたか？
5. プログラミングについてどう感じましたか？
6. プログラミングに興味を持ちましたか？

表2 パソコンやプログラミングへの興味(開始時)

		2014年	2015年
設問1 コンピ ュータ	とても興味を持っている	63.2%	76.2%
	すこし興味を持っている	26.3%	23.8%
	ふつう	10.5%	0.0%
	あまり興味がない	0.0%	0.0%
	まったく興味がない	0.0%	0.0%
設問2 プログラ ミング	とても興味を持っている	42.1%	66.7%
	すこし興味を持っている	42.1%	33.3%
	ふつう	15.8%	0.0%
	あまり興味がない	0.0%	0.0%
	まったく興味がない	0.0%	0.0%

7. 今回のビジュアルプログラミングも含めて、プログラミングをまたやってみたくは思いましたか？
8. パソコンなどのコンピュータに興味を持ちましたか？
9. 全体の満足度はどうでしたか？

設問1~4は講演会の理解度を調べる質問であり、設問5~8は、プログラミングに対する興味が終了時にどのように変化したかを調べる質問である。また、設問9は、講演会に対する満足度を調べるものである。理解度の結果を表3に示す。「むずかしかった」とする受講者はどちらの年も5%前後あるが、「よくわかった」、「わかった」とする回答が80%を超えている。また、「参考になった」が高く、78.9%から94.7%であることから本講座は、わかりやすく参考になったといえる。また、ビジュアルプログラミングについての設問3から「すこしわかりにくい」とする回答が2014年で10.5%あるが、2015年度には0%であり、ビジュアルプログラミングは中高生に対してわかりやすかったといえる。プログラミングの構造である、順次、分岐、繰り返しについての設問4では、2015年は、「ふつう」、「あまり理解できない」、とする受講者が合計10.6%いたのに対し、2015年は改善されて0%となっている。これは、2014年度のアンケート結果を踏まえて、2015年度のテキストや講座の内容、演習課題を変更したことがアンケート結果の改善につながったと考えている。

次にプログラミングに対する興味についてまとめる。表4にプログラミングに対する設問の結果を示す。プログラミングは、表4の設問5の結果からプログラミングは30%前後の受講者が「むずかしかった」としているにもかかわらず設問6を見ると「とても興味を持った」、「興味を持った」とする受講者が合計80%を超えており、設問8のコンピュータに関する興味も90%以上ある。これらのことから講座の目的であるプログラミングに興味を持ってもらえたのではないかと考えられる。更に設問7からまたビジュアルプログラミングやプログラミングを全員がやってみたくはとの結果が得られている。

最後にこの講座の満足度を表5に示す。全員が満足、ほぼ満足であり、受講者の満足度の高い講座であったといえる。また、説明や演習を含む全体の時間に関してはちょうどよいが89.5%と72.7%と大半であったが、一部足りなかった、長すぎたとの回答もあったので、説明と演習の配

分については今後の検討が必要であると考えられる。また、自由記述を設けていたが、記述があったのは1名のみで好意的な感想であった。

表3 理解度 (終了時)

		2014年度	2015年度
設問1	よくわかった	68.4%	81.8%
	わかった	26.3%	13.6%
	むずかしかった	5.3%	4.5%
設問2	参考になった	78.9%	94.7%
	ふつう	21.1%	5.3%
	そうでもない	0.0%	0.0%
設問3	わかりやすい	57.9%	72.7%
	まあまあわかりやすい	26.3%	22.7%
	ふつう	5.3%	4.5%
	すこしわかりにくい	10.5%	0.0%
	わかりにくい	0.0%	0.0%
設問4	できた	68.4%	59.1%
	まあまあできた	21.1%	40.9%
	ふつう	5.3%	0.0%
	あまり理解できない	5.3%	0.0%
	理解できない	0.0%	0.0%

## 5. プログラミングへの興味

本講座の目的が苦手意識を持つことなくプログラミングへの興味を持ってもらうことである。そこで開始前と開始後のプログラミングに対する結果を表6にまとめる。

2014年度の結果を見ると開始前後で、「ふつう」および「すこし興味を持った」が減少し、「とても興味を持った」が増加している。2015年度では、「ふつう」と答えた受講者はおらず、もともと興味を持っている受講者が2014年度よりも高いが、「すこし興味を持った」が減少し、「とても興味を持った」が増加した。開始前と終了時のアンケート結果を検定したところ、検定結果では有意差はえられなかったが、本講演の前後で更にプログラミングの興味が上昇しており、本講演の目的であるプログラミングに興味を持ってもらうことができたと考えている。

更にコンピュータへの興味は、開始前は5段階で聞いており終了時は3段階で聞いているため、直接比較ができないが、参考としてみると開始時は興味があると答えた受講者が2014年で89.5%に対し、終了時には94.7%に上昇している。また、2015年では、開始時の100%に対して、終了時も100%で変わっていない。

以上の結果から、本講座はコンピュータやプログラミングの興味を持たせることができたと考えている。更にプログラミングが難しいとする受講者も全体の30%前後あるが、講座自身の難しさは5%程度と低かった。また、プログラミングをやってみたくする受講者は100%であるこ

表4 プログラミングに対する興味

		2014年	2015年
設問5	簡単だった	15.8%	18.2%
	ふつう	52.6%	59.1%
	むずかしかった	31.6%	22.7%
設問6 プログラ ミング	とても興味を持った	63.2%	77.3%
	すこし興味を持った	31.6%	22.7%
	ふつう	5.3%	0.0%
	あまり興味がない	0.0%	0.0%
	まったく興味がない	0.0%	0.0%
設問7	やってみたく	100.0%	100.0%
	どちらともいえない	0.0%	0.0%
	やりたくない	0.0%	0.0%
設問8 コンピ ュータ	興味を持った	94.7%	100.0%
	どちらともいえない	5.3%	0.0%
	興味はない	0.0%	0.0%

表5 全体の満足度

		2014年	2015年
設問9	充分満足	63.2%	66.7%
	おおむね満足	36.8%	33.3%
	ふつう	0.0%	0.0%
	あまり満足でない	0.0%	0.0%
	まったく満足でない	0.0%	0.0%

表6 開始前と開始後のプログラミングに対する興味

	2014年		2015年	
	開始前	終了時	開始前	終了時
とても興味を持っている (持った)	42.1%	63.2%	66.7%	77.3%
すこし興味を持っている (持った)	42.1%	31.6%	33.3%	22.7%
ふつう	15.8%	5.3%	0.0%	0.0%
あまり興味がない	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
まったく興味がない	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

とから、苦手意識を持つ内容ではなかったと考えられる。

## 6. まとめ

2014年、2015年に電子情報通信学会の関西支部と共催で実施された中高生向け講演会をまとめたものである。受講者アンケートの結果を理解度、プログラミングへの興味、全体の満足度からまとめると、本講座は、講座の目的である「プログラミングに苦手意識を持つことなく興味を持ってもらう」ことができたと考えられる。この結果は、同年代の高専低学年のプログラミング導入教育に応用することが可能と考えている。今後、同様にビジュアルプログラミングを実施した際の高専生と中高生の理解度や満足度、プログラミングへの興味なども調べたいと考えてい

る。

なお、本講演は電子情報通信学会関西支部と共催で2年間実施した講演である。来年度以降についてもプログラミングがむずしかったとする回答があったことから内容の改良をしたうえで、中高生に対するプログラミング講座の実施についても検討していきたいと考えている。

### 謝辞

本講演会は、電子情報通信学会の関西支部と共催の中高生向け講演会として2014年と2015年に実施したものです。共催いただいた電子情報通信学会の関西支部の皆様へ感謝いたします。また、アンケートにご協力いただいた受講者の皆様、補助学生の皆様、データの集計のご協力をいただいた河村絵美さんに感謝いたします。

### 参考文献

- (1) 風穴江, 神谷加代, 塩野禎隆, 合同会社デジタルポケット, 技術評論社編集部:[ママとパパのための]こどもプログラミング読本——「未来をつくる力」を育てる, 技術評論社, (2015)
- (2) 大木真, 永田和生, “プログラミング導入学習の改善”, 熊本高等専門学校 研究紀要, Vol.5, No.1 (2014).
- (3) 角田博保, “Column プログラミングは楽しいですか?”, 情報処理, Vol.52, No.12 (2011).
- (4) 内田眞司, 松村寿枝, 西野貴之, 松尾賢一, 本間啓道, 山口賢一, “複数教員によるプログラミング教育, 第28回高専情報処理教育研究発表会 (2008)
- (5) 内田眞司, 松村寿枝, 西野貴之, “習熟度を導入したプログラミング教育の試み”, 情報教育研究集会講演論文集 2008年度, (2008)
- (6) 松村寿枝, 内田眞司, 西野貴之, 清水忠昭, “ビジュアルプログラミングツールを用いたプログラミング導入教育の試み”, 2015 FIT 第14回情報科学技術フォーラム講演論文集, K-008, (2015)
- (7) ようこそ スクイークランドへ, <http://squeakland.jp/> (参照: 2015年4月3日)
- (8) Scratch - 想像, プログラム, 共有, <https://scratch.mit.edu/> (参照: 2015年4月3日)
- (9) 杉浦学, 松澤芳昭, 岡田健, 大岩元, “アルゴリズム構築能力育成の導入教育: 実作業による概念理解に基づくアルゴリズム構築体験とその効果”, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.10 (2008)
- (10) 森秀樹, 杉澤学, 張海, 前迫孝憲, “Scratchを用いた小学校プログラミング授業の実践”, 日本教育工学論文誌, 34, 4, (2011)
- (11) 松澤芳昭, 酒井三四郎, “ビジュアル型プログラミングとテキスト記述型言語の併用によるプログラミング入門教育の試みと成果”, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-CE-119, No.2 (2013)
- (12) 松村寿枝, 内田眞司, 近藤勝也, スクイークを用い

た小中学生のためのプログラミング講座 : 奈良高専情報工学科公開講座報告, 奈良高専研究紀要, 45, pp. 113-116, (2009)

- (13) 松村寿枝, 内田眞司, 山口智浩, : Squeakを用いた小中学生のためのプログラミング講座—奈良高専情報工学科公開講座—, 論文集「高専教育」, 34, pp. 685-690, (2011)
- (14) ヴィストーン株式会社, <https://www.vstone.co.jp/> (参照: 2015年10月7日)

## 二次元リボン結び目のもろて型 IV

安田 智之

### Amphicheirality of ribbon 2-knots IV

Tomoyuki YASUDA

一次元結び目の局所問題の代表的なものとして、結び目  $k^1$  とその鏡像  $(k^1)^*$  とが結び目として同値であるかどうかを決定する問題がある。同値であるとき、結び目  $k^1$  は、もろて型であるという。これに関し、交代結び目に限れば、最小交点数が奇数である結び目は、決してもろて型になれないという事実が示された<sup>〔1〕,〔2〕</sup>。それでは、一般の一次元結び目に対してこの定理が成立するのか、という問題は長らく未解決であったが、Thistlethwaite によって最小交点数 15 のもろて型結び目が発見された<sup>〔3〕</sup>。

一方、二次元リボン結び目の不変量の一つに最小交差数がある<sup>〔4〕,〔5〕</sup>。これは一次元結び目の古典的不変量である最小交点数の自然な拡張である。二次元リボン結び目への上述の問題の拡張、即ち、最小交差数が奇数であるような (+) もろて型二次元リボン結び目が存在するか、という問題は [6] で考察され、最小交差数が 3 の (+) もろて型二次元リボン結び目が発見された。その後 [7] では、最小交差数が 5 以上の奇数である (+) もろて型二次元リボン結び目について任意有限個の有力な候補が挙げられたが、問題の解決に至っていない。

本論文では、最小交差数が 5 の (+) もろて型二次元リボン結び目が存在することを示す。

### 1. 緒 論

四次元ユークリッド空間内の二次元リボン結び目の対称性について知られている事としては、ある三次元ユークリッド空間について対称な位置におけること、そして (-) もろて型であること、がある。従って二次元リボン結び目に関しては可逆的であることと、(+) もろて型であることは同義である<sup>〔8〕</sup>。与えられた二次元リボン結び目のアレキサンダー多項式が相反的でないときは (+) もろて型でない、即ち可逆でないので、そのような二次元リボン結び目が任意有限個存在することは早くから知られていた<sup>〔8〕</sup>。ところで、任意の一次元結び目は Artin の構成法により、そのスパン結び目が構成される。スパン結び目は二次元リボン結び目であり、すべて (+) もろて型である<sup>〔8〕,〔9〕</sup>。

さて、一次元結び目の対称性について、テイトの予想と呼ばれる一連の予想があり、第一予想と第二予想については解決された<sup>〔1〕, p.200〕,〔2〕</sup>。その系として最小交点数が奇数である一次元交代結び目は決してもろて型になれない、という事実がある。これが一般の一次元結び目について成立するかどうかは長らく未解決であったが、Thistlethwaite により 15 交点のもろて型結び目が発見された。<sup>〔3〕</sup>。一方、一次元結び目の不変量である最小交点数に対応して、二次元リボン結び目の不変量である最小交差数の概念が、拡張

概念として [4]、[5] によって定義された。最小交差数に関しては、一次元結び目に関するもろて型の問題と同様、最小交差数が奇数である (+) もろて型二次元リボン結び目が存在するか、ということが問題であったが、未解決であった。これに関し、[6] では、最小交差数が 3 であるような (+) もろて型二次元リボン結び目の存在することが示された。

本論文では更に、次のことを示す。

定理 最小交差数が 5 であるような、(+) もろて型の二次元リボン結び目が存在する。

### 2. 準 備

#### 2.1 定義<sup>〔4〕</sup>

$\{D_\mu^3 \mid \mu = 1, 2, \dots, m\}$  を互いに交わらない四次元ユークリッド空間  $R^4$  内の三次元球体の族とする。また、 $\partial D_\mu^3 = O_\mu^2$  とおく。

一方、 $f_{ij}^r : D^2 \times I \rightarrow R^4$

( $r = 1, 2, \dots, m-1$  ;  $i, j = 1, 2, \dots, m$ )

を、像が互いに交わらない埋め込みの族とし、かつ、次の性質 (1)、(2) を満たすものとする。但し  $D^2$  は二次元球体、 $I = [0,1]$  である。

- (1)  $f_{ij}^r (D^2 \times I) \cup O_\mu^2 = \begin{cases} f_{ij}^r (D^2 \times \{0\}) & (i_r = \mu) \\ f_{ij}^r (D^2 \times \{1\}) & (j_r = \mu) \\ \phi & (\text{その他}) \end{cases}$
- (2)  $(\cup_{\mu=1}^m f_{ij}^r (D^2 \times I)) \cap (\cup_{\mu=1}^m O_\mu^2)$  は連結。

ここで次の二次元球面を  $K^2$  とする。  
 $(\cup_{\mu=1}^m O_\mu^2) \cup (\cup_{r=1}^m f_{ij}^r (D^2 \times I)) - \overset{\circ}{T}$  但し  
 $T = \cup_{r=1}^m f_{ij}^r (D^2 \times I)$  であり  $\overset{\circ}{T}$  は  $T$  の内部を表す。  
 この時、 $K^2$  のことを二次元リボン結び目と呼ぶ。

2. 2 定義<sup>(4)</sup>

$\sigma = \cup_{\mu=1}^m D_\mu^2$ ,  $\mathcal{B} = \cup_{r=1}^m f_{ij}^r (D^2 \times I)$   
 とおくととき  $(\sigma, \mathcal{B})$  のことを二次元リボン結び目  $K^2$  に対する  $m$  ベースリボン表示 (或いは単にリボン表示) と呼ぶ。

また  $\sigma$  をベース、 $\mathcal{B}$  をバンドと呼ぶ。更に、二次元リボン結び目  $K^2$  に対するすべてのリボン表示を考えた上でのベース数の最小数のことを  $K^2$  のベース指数と呼び  $b(K^2)$  で表す。このとき  $K^2$  は  $b(K^2)$  ベース二次元リボン結び目であるという。

2. 3 定義<sup>(4)</sup>

$l_r = f_{ij}^r (\{0\} \times I)$  ( $r = 1, 2, \dots, m-1$ ) とおく。但し、 $\{0\}$  は  $D^2$  の中心点である。ここで各  $l_r$  が  $\sigma$  に有限個の点で垂直に交わるとしてよい。これらの点を各  $l_r$  の方向に従って  $a_{r1}, a_{r2}, \dots, a_{rs_r}$  とし  $(\sigma, \mathcal{B})$  のリボン交差と呼ぶ。但し各  $l_r$  の方向が  $O_i^2$  から  $O_j^2$  へ向かう方向とする。この時  
 $n = \sum_{r=1}^m s_r$  をリボン表示のリボン交差数と呼び、 $(\sigma, \mathcal{B})$  は  $n$  交差リボン表示であるという。そうして  $K^2$  に対する総てのリボン表示を考えた上でのリボン交差の最小数のことを  $K^2$  の最小交差数 (或いは単に交差数) と呼び  $cr(K^2)$  で表す。

2. 4 定義

$a_{r1}, a_{r2}, \dots, a_{rs_r}$  に対応して、 $s_r$  個の文字からなる語  $w_r$  をつくる。つくり方は  $l_r$  が  $D_\mu^2$  に点  $a_{rv}$  ( $v = 1, 2, \dots, s_r$ ) で正の側から交わるとき、 $w_r$  の  $v$  番目の文字を  $x_\mu$ 、負の側から交わるときは同様  $x_\mu^{-1}$  とするものとする。このようにしてつくられた語  $w_1, w_2, \dots, w_{m-1}$  を利用して  $K^2$  の結び目群  $\pi_1(R^4 - K^2)$  の群表示を次の様に構成できる。

$$(*1) [x_\mu; \mu = 1, 2, \dots, m \mid x_i w_r x_j^{-1} w_r^{-1}; r = 1, 2, \dots, m-1]$$

但し各  $x_\mu$  は  $O_\mu^2$  のメリディアン生成元とする<sup>(10)</sup>。以上の様な構成法でリボン表示  $(\sigma, \mathcal{B})$  から得られた群表示 (\*1) のことを  $(\sigma, \mathcal{B})$  に関連したリボン群表示と呼ぶ。また各  $w_r$  のことをこのリボン群表示の語と呼ぶ。一方、リボン群表示 (\*1) からは、逆の手順でリボン表示  $(\sigma, \mathcal{B})$  を定められるので  $(\sigma, \mathcal{B})$  のことをリボン群表示 (\*1) に関連したリボン表示と呼ぶ。

また、 $\sigma$  をベース、 $\mathcal{B}$  をバンドと呼ぶ。更に、二次元リボン結び目  $K^2$  に対するすべてのリボン表示を考えた上

でのベース数の最小数のことを  $K^2$  のベース指数と呼び  $b(K^2)$  で表す。このとき  $K^2$  は  $b(K^2)$  ベース二次元リボン結び目であるという。

2. 5 定義

$R_+^3$  を  $R^3$  内において  $x_4 = 0, x_3 \geq 0$  によって定義される  $R^3$  の上半空間とし、 $R_-^3$  を  $R^3$  内において  $x_4 = 0, x_3 \leq 0$  によって定義される  $R^3$  の下半空間とする。ここで  $R_+^3$  を方程式  $x'_1 = x_1, x'_2 = x_2, x'_3 = x_3 \cos \theta - x_4 \sin \theta, x'_4 = x_3 \sin \theta + x_4 \cos \theta$  に従って回転させる。この時  $R^3$  を  $x'_3 = x'_4 = 0$  と定めれば  $R_+^3$  は  $R^3$  について回転することになる。今、 $R^3$  内の一次元結び目  $k^1$  を  $k^1 \cap R_+^3$  がプロパーに埋め込まれた自明な弧であるように置いておく。この時、 $k^1 \cap R_+^3$  を上述の回転の方程式に従って回転させた時に構成される二次元結び目を  $k^1$  のスパン結び目と呼び、*spun* ( $k^1$ ) で表す<sup>(8), [11], [12]</sup>。

2. 6 定義

二次元リボン結び目  $K^2$  に対しその鏡像を  $(K^2)^*$  とし、結び目に入れられた方向を逆転したものを  $-K^2$  とするとき  $K^2 \sim (K^2)^*$  ならば  $K^2$  は (+) もろて型であるといい、 $K^2 \sim - (K^2)^*$  ならば (-) もろて型であるという。また  $K^2 \sim - (K^2)$  ならば可逆的であるという。

2. 7 定義

リボン表示  $(\sigma, \mathcal{B})$  に関連したリボン群表示を  $G$  とする。ベースの各成分に対応する  $G$  の生成元  $x_1, x_2, \dots, x_m$  の名前の適当な入換えや、バンド各成分の方向逆転を適当に行なってそれに対応するリボン群表  $G'$  をつくる。その上で  $G'$  の語を構成する文字  $x_i$  を一斉に  $x_i^{-1}$  にするという操作でリボン群表示  $G''$  をつくる。

以上の構成で新たにつくられるリボン群表示  $G'$  を  $G$  と同一にできるとき、 $G$  は (+) もろて型リボン群表示であるという。また、(+ )もろて型リボン表示に関連したリボン表示のことを (+) もろて型リボン表示という。

3. 定理の証明

(+) もろて型の定義 (2. 6) と (+) もろて型リボン群表示の定義 (2. 7) により次のことはすぐ分かる。

3. 1 補題<sup>(6)</sup>

(+) もろて型リボン群表示に関連したリボン表示をもつ二次元リボン結び目は (+) もろて型である。

[6] においては、この補題と [13] におけるリボン表示の安定同値変形を利用して、 $3_5$  二次元リボン結び目<sup>(3)</sup> が、リボン交差数 4 の (+) もろて型リボン表示をもつことを示した。一方、そのリボン表示は、 $4_1$  結び目の正則表示として Schubert の標準形<sup>(14, p. 361)</sup> をとり定義 (2. 5) の方法で自然に構成される *spun* ( $4_1$ ) のリボン表示と一致していることも指摘された。従って、[6] における定理とその二つの系 ([6, 2. 4], [6, 2. 5]) をまとめて言

い換えると次の様になる。

### 3. 2 補題 <sup>(6)</sup>

$spun(4_1)$  は最小交差数3の (+) もろて型二次元リボン結び目である。

一方、 $3_1$  結び目の二橋表示から定義 (2.5) の方法で自然に構成される  $spun(3_1)$  のリボン表示 <sup>(15)</sup> から次のことはすぐ分る。

### 3. 3 補題

$spun(3_1)$  は最小交差数2の (+) もろて型二次元リボン結び目である。

従って、 $spun(3_1)$  と  $spun(4_1)$  の間に1ハンドルを付加することによって得られる二次元リボン結び目を

$$spun(3_1) \# spun(4_1)$$

で表すと、

補題 (3.2, 3.3) により次の事実が得られる。

### 3. 4 補題

$spun(3_1) \# spun(4_1)$  は交差数5以下の (+) もろて型二次元リボン結び目である。

ところが、最小交差数4以下の二次元リボン結び目は、すでに総て列挙されていて、その中で

$$spun(3_1) \# spun(4_1) \text{ と同じアレキサンダー多項式 } (1-t+t^2)(1-3t+t^2) \pmod{\pm t^n}$$

をもつ二次元リボン結び目は一つしかないことがわかる。<sup>(4), [5], [16], [17], [18], [19]</sup> それは次のリボン群表示  $G_j$  に関連したリボン表示を  $\mathcal{R}_j$  とするとき、 $\mathcal{R}_j$  の実現する二次元リボン結び目である。これを  $K_{110}$  とおく。

$$G_j = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \mid$$

$$x_1 w_{j1} x_2^{-1} w_{j1}^{-1}, x_1 w_{j2} x_3^{-1} w_{j2}^{-1}, \\ x_1 w_{j3} x_4^{-1} w_{j3}^{-1}, x_2 w_{j4} x_5^{-1} w_{j4}^{-1}]$$

但し、 $w_{j1} = x_3, w_{j2} = x_4, w_{j3} = x_5^{-1}, w_{j4} = x_2^{-1}$  である。

$K_{110}$  のアレキサンダー多項式は、[19] によれば、

$$\Delta_{110} = 1 - 4t + 5t^2 - 4t^3 + t^4 \\ = (1-t+t^2)(1-3t+t^2) \pmod{\pm t^n}$$

である。しかし、 $K_{110}$  のアレキサンダー行列は [20] の方法で容易に求められ、基本変形で  $1 \times 1$  行列まで変形できることが分る。一方、 $spun(3_1) \# spun(4_1)$  のアレキサンダー行列は、(1, 1) 成分が  $1-t+t^2$ 、(2, 2) 成分が  $1-3t+t^2$ 、その他の成分が0であって基本変形で  $1 \times 1$  行列まで変形できない。従って、 $spun(3_1) \# spun(4_1)$  と  $K_{110}$  は結び目として同値でないことが分る。よって  $spun(3_1) \# spun(4_1)$  の最小交差数は5以上であり、補題 (3.4) より

$$cr(spun(3_1) \# spun(4_1)) = 5$$

である。

以上により  $spun(3_1) \# spun(4_1)$  は最小交差数が5の (+) もろて型二次元リボン結び目であることが示せた。

(証了)

## 4. 結語

[6] と今回の結果から最小交差数が奇数の (+) もろて型二次元リボン結び目が少なくとも二つ存在することが分った。

今回、アレキサンダー多項式が4次式である二次元リボン結び目の最小交差数が5であることを示すのに、最小交差数が4以下の二次元リボン結び目の謂わば「結び目表」を用いたことになるが、今後、任意の奇数についてその数を最小交差数にもつ一連の (+) もろて型の二次元リボン結び目を構成するためには、二次元リボン結び目の最小交差数が評価できる不変量を探す、又はつくる必要がある。

## 参考文献

- [1] 村杉邦男、結び目理論とその応用 (1993)、日本評論社。
- [2] Murasugi, K., On invariants of graphs with applications to knot theory, Trans. Amer. Math. Soc. 314(1989), 1-49.
- [3] C. C. アダムス (金信泰造訳)、結び目の数学 (1998)、培風館。Hoste, J.; Thistlethwaite, M.; Weeks, J., The first 1, 701, 936 knots, Math. Intelligencer 20(1998), 33-48.
- [4] Yasuda, T., Crossing and base numbers of ribbon 2-knots, J. Knot Theory Ramifications 10(2001), 999-1003.
- [5] 安田智之、二次元リボン結び目の最小交差数とベース数、「結び目の不変量と幾何構造」研究集会報告集 (2000)、98-106.
- [6] 安田智之、二次元リボン結び目のもろて型 II、奈良工業高等専門学校研究紀要 38(2003. 3月)、97-99.
- [7] 安田智之、二次元リボン結び目のもろて型 III、奈良工業高等専門学校研究紀要 41(2005. 3月)、123-126.
- [8] Suzuki, S., Knotting problems of 2-spheres in 4-sphere, Math. Sem. Notes Kobe Univ. 4 (1976), 241-371.
- [9] Satoh, S., Virtual knot presentation of ribbon torus-knots, J. Knot Theory Ramifications 10 (2000), 531-542.
- [10] Yajima, T., On characterization of knot groups of some spheres in  $R^n$ , Osaka J. Math. 6 (1969), 435-446.
- [11] Andrews, J.J.; Curtis, M.L., Knotted 2-spheres in the 4-sphere, Ann. of Math. 70(1959), 565-571.
- [12] Kanenobu, T.; Marumoto, Y., Unknotting and fusion numbers of ribbon 2-knots, Osaka J. Math. 34 (1997), 525-540.
- [13] Marumoto, Y., Stably equivalence of ribbon presentations, J. Knot Theory Ramifications 1(1992), 241-251.
- [14] 河内明夫編、結び目理論 (1990)、シュプリンガーフェアラーク東京。
- [15] Yasuda, T., An evaluation of the crossing number on ribbon

- 2-knots, *J.Knot Theory Ramifications* 15(2009),1-15.
- [16] 安田智之、最小交差数 4 の二次元リボン結び目、奈良工業高等専門学校研究紀要 44 (2009. 3 月)、69-72.
- [17] 安田智之、最小交差数 4 の二次元リボン結び目 II、奈良工業高等専門学校研究紀要 45 (2010. 3 月)、59-61.
- [18] 安田智之、最小交差数 4 の二次元リボン結び目 III、奈良工業高等専門学校研究紀要 46 (2011. 3 月)、45-48.
- [19] 安田智之、最小交差数 4 の二次元リボン結び目 IV、奈良工業高等専門学校研究紀要 47 (2012. 3 月)、37-40.
- [20] Yasuda, T., A presentation and the genus for ribbon  $n$ -knots, *Kobe J. Math* 6(1989), 71-88.

と伝統重視派の対立が読み取れる。なお、「一山衆会」が『太閤記』筆者のフィクションである可能性も強いが、そうであっても、上人にとつて、一山の合意として秀次への切腹命令を受け入れるという手続きが必要であったことは、間違いあるまい。

注23：例えば、人物叢書『豊臣秀次』一九〇〜一九三ページ。

注24：比較のために言えば、事件の張本と目されたらしい木村重茲の妻は、十三歳の女子ともども七月二十六日に磔に掛けられており、先に二十二日に切腹した十六歳の嫡男の首も一緒に梟首されている(『兼見卿記』文禄四年七月二十二日、二十六日)。  
注25：「見せしめ」ではなく「拝ませ」という言葉遣いに注意すべきであろう。これも、善意の行為である。

注26：矢部氏論稿四六四ページ。

注27：矢部氏論稿四六四ページ。

注28：この銀五千枚のことが『御湯殿上日記』で初めて触れられるのは、事件が公になつて後の七月十二日のことであるが、そこで「ふしうへはしれぬ事とて」(武士たちの事情は何もわからないこと)などと言いつつしているのも、事件との係わりを否定したい心理のあらわれであろう。なお、この献金は、八月五日に、法印(徳善院)を介してそっくり秀吉方に返却されているようである)

注29：矢部氏論稿四六五〜四六六ページ。

注30：そこは、応其上人が、京・大坂への往還の際の停宿のために宮んだ現在の応其寺のある町である。

注31：桃山駅から奈良線・桜井線で高田駅に出、そこから和歌山線。

注32：神谷と不動橋の間に四寸岩を呼ばれる難所があり、明治になるまで、そこを馬で通過することはできなかった。

注33：『太閤記』には、武藤左京亮以下十名の名が挙げられているが、その中の一人は隆西堂で、彼は僧侶である。

注34：『川角太閤記』には、このことは一切述べられていない。

以上

その人物が俗世でどのような罪を犯した者であろうとも、その人物が山内を出ない限り、その罪は問われず、山内の自治によって保護される」ことの一例として、『信長公記』天正九年に見える、以下の記事を引用する。

八月十七日、高野聖、尋ね捜し搦め捕つて、数百人、万方より召し寄せられ、悉く誅させられ候ふ。子細は、摂津・伊丹の牢人共、高野に拘へ置き候ふ。其の内にて、一兩人、召し出ださるべき者候ひて、御朱印を以て、仰せ遣はされ候ふ処、其の儀、御返事をば申し上げず、剩へ、御使ひに遣はされ候ふ者十人ばかり、討ち殺し候ふ。毎度、御勘気を蒙る者、拘へ置き、緩急に付いて、かくのごとく候ふなり。

伊丹落城後、追及を逃れ高野山にたどり着いた荒木村重の旧臣の内の一兩人に対し、信長側からその身柄の引渡しを求めて十名ほどの人数を派遣して来たが、高野山側は、それを拒否し、使者を殺害した。信長は、その報復として各地を行脚中の高野聖数百人を捕らえ、処刑したという話である。高野山において、宗教的聖地としての山内自治の精神は、たとえ信長の命令であろうとも、拒否し守られるべきものと考えられていたことが知れる。

注12：引用は、矢部氏論稿からの孫引きである。

注13：『太閤さま軍記のうち』には、『言経卿記』に見える栗野木工助の名が見えないが、彼が京都智恩院の近辺で切腹したことは、『川角太閤記』と『太閤記』に一致して見える。切腹の時日については『川角太閤記』のみ記載があり、七月十五日とする。

注14：『御湯殿上日記』七月十三日の条には「大かう御わづらひとて、北のまん所殿より御かつう御申」とあり、これに拠れば、秀吉は当時病臥していたことになる。ただし、事件の急展開によりその対応に忙殺されて、以前から決まっていた宮廷関係のスケジュールをキャンセルせざるを得ず、その口実としての「御わづらひ」であった可能性も考えられる。

注15：近年注目されている「文禄四年七月十二日付け石田三成・増田長盛連署血判起請文」は、その過程で、秀吉の眼前で書かれたものであろう。

注16：『兼見卿記』文禄四年七月九日の条には「御謀反治定、歴々一味之衆在之、連々可有御礼明云々。木村常陸守、御折紙、居城へ太閤被遣、御奉行請取云々。此外種々御礼明の義可被仰出、諸大名恐怖云々。太閤御気色以外之次第云々」と見え、秀次へ高野山行を命じた後も、礼明が継続していたことが知れる。また、密告者が罪に問われることはなく、むしろ褒美の対象となるのは、当時の常識である。

注17：十二日に齎された情報の内容について、普通に考えるなら、秀吉に対する武力蜂起の計画であるが、「秀頼に対する何らかの陰謀」であった可能性もあるのではないかと？ 秀次側の不安の根源は秀頼の存在にあるのだから、秀頼の存在を抹消すれば、政権内における地位が、今までどおり維持されると秀次側が考えた仮定すればということである。所詮、小説的な推測でしかないが、同日の「七月十二日付

け石田三成・増田長盛連署血判起請文」の第一条に「御ひろい様へたいし奉り、聊不存表裏別心、御為可然様二もりたてまつるへき事」、第三条に「御ひろい様之儀、疎略を存、并太閤様御置目を相背族在之者、縦、縁者・親類・知音たりといふ共、ひいきへんはなく、礼明の上を以、成敗儀可申付事」とあって、豊臣政権一般ではなく、御ひろい様（秀頼）個人への忠誠を主題としていることであることが、私に「ひよつとして」という思いを抱かせるのである。特に、第三条で「縦、縁者・親類・知音たりといふ共」という一節は、秀次を意識したものであり、「ひいきへんはなく」（最良・偏頗無く）は、秀吉が秀次に切腹を命じざるを得なかった事情を窺わせるのではないかと、気になって仕方がない。

注18：因みに言えば、頼山陽の『日本外史』では、このエピソードは事実であるとして「正則還献秀次首。秀吉愕然曰、山僧無情」と描写されている。「山僧」とは応其上人のことである。

注19：岩倉哲夫「烏帽子形城と長藪城―終末期を中心に―」（『和歌山城郭研究』第十四号、二〇一五年）

注20：以後、高野山は、秀吉による寺社勢力の武装解除のモデルケースとして秀吉の厚い保護を受け繁栄し、天正十五年九月七日には、一山の念願であった金堂再建が成就する。

注21：『時慶記』文禄二年十二月二十九日

注22：天正十三年以後、応其上人が高野山での最高実力者となったことは確かである。しかし、上人の立場は、「権勢をほしいままにした」（松長有慶他『高野山―その歴史と文化―二四五ページ）と形容するようなものではなかった。中世以来の自治組織は厳然として存在しており、そこでの決定がない限り、何事も実施され得ないからである。豊臣政権の下、その保護と援助によって高野山に繁栄を齎せようとする上人の施策は、その一つ一つの場においては、伝統重視の立場からの反対・抵抗に遭遇することも多かったと私は考える。文禄四年においても事情に大差がなかったことは、十一月二十三日付の以下の上人自筆の書状によっても知れる。

学道之儀、御衆中第一之為規模之条、勿論候処、今度八月廿三日庭儀灌頂被執行付而、各御存分尤二候。雖然、対愚老御容赦之段畏入候。所詮自今以後、右之御修中、前代より如御法度、諸法事令停止、可被勤仕旨肝要二候。猶以拙僧年齢半二発心者之儀候間、心底雖無疎略候、就不知案内、如此之題目可在之候間、万端可被仰聞候。（下略）

三か月前、八月二十三日執行の「庭儀灌頂」について、上人側に不手際があり、それを謝罪しているものである。相手側の非難は、上人側が「前代より」の「御法度」を無視したことに対するもので、上人は、「拙僧年齢半二発心者之儀候間」「不知案内」であると断り、「万端可被仰聞候」と教えを乞うている。山内で上人が「権勢をほしいままに」していたなら、このような書簡は書かれるはずはあるまい。上人

と秀次の傍にいて、殉死者二名の介錯をした人物からの聞書である。彼は、それまでは「御傘持吉若」と呼ばれていた。「御傘持」とは、貴人が外出などの際、長柄の傘を差し翳す役目の者である。では、彼は、いつから秀次の「御傘持」を勤めていたのであろうか。勿論、秀次が高野山に来てからではない。秀次は高野山では謹慎の身であるから、外出できず、「御傘持」の必要はないからである。そうであるなら、彼は、七月八日に、秀次が秀吉に会うべく聚楽から伏見に向かったその時から、ずっと「御傘持」として秀次につき従ってきていた可能性が高い。また、新参者がこんな時に選ばれるはずはないから、彼は、それより以前から秀次の「御傘持」をしており、役目上、門番その他の下仕えの者たちと情報交換する機会も多かったと思われる。このように考えると、彼は、秀次の外出先や訪問客について、かなり正確な情報を得ることができたと思われ、『川角太平記』のみに見える以下のごとき事柄も、事実である可能性が高いと私には考えられるのである。

i 事件の詮索のために、秀吉方から秀次の許に使者が派遣されたのは、文禄四年六月二十六日をはじめであること。また、その使者は石田三成、増田長盛、富田一白、長束正家、前田玄以の五名であったこと。

ii 五名は、七月二日、三日頃までは、毎日のように来訪していたが、以後、途絶えたこと。

iii 秀次が伏見に赴いたのは、秀吉から派遣された「御比丘尼幸蔵主」の勧めに従ったものであること。

iv 秀次は、自らが伏見へ赴くに先立って「三人の若君様」を行かせていること。また、その「道々」には、秀吉方から派遣された「御目付衆」が配されていたこと。

v 秀次が伏見へ到着すると、直ぐに糟屋内膳の屋形に入れ置かれ、そこで高野山行を命ぜられたこと(『太閤さま軍記のうち』や『太閤記』は、木下大膳頭の所に入ったとする)。

私自身、以上の五点から幾つか推測する所があるのであるが、論が拡散するので、それは控える。ただし、iiiだけは本論稿の結論として①④として私が述べた所に関係するので、それを、補論Vとして述べる。

〔補論V〕『太閤記』所載の秀次迎えの使者となった堀尾吉晴のエピソードについて

『太閤記』に拠れば、文禄四年七月八日、秀次を伏見に迎えるために、宮部継潤・前田玄以・中村一氏・堀尾吉晴・山内一豊の五名が聚楽へ派遣された。ただし、秀吉は、その中の堀尾吉晴のみを一度呼び戻した。以後は、次のごとくである。

「彼のいたづら者察し候ひて、来たらざる事もあらば、いかか致すべきぞ」とささやき給ひしかば、堀尾承り、「御心を安んぜられ候へ。よきに計らひ申すべし」と、心よげに言上せしなり。その時、秀吉公、「汝が命を、今度と、三度くれけるよ」

など宣ふとひとしくなみだぐませ、御暇乞ひ有りけり。

言葉には出さないが、秀次が迎えに応じない場合、相打ち覚悟で殺せと堀尾に命じていることは明白であろう。管見の及ぶ範囲でしかないが、実は、この話が、「高野山行を命じる以前から、秀吉が秀次を絶対に殺さなければならぬ存在だと考えていた」と考えなければ理解できない唯一の文献上の例である(秀次側が秀吉に殺されるかもしれないと恐れていたとする例なら、いくつもあるが)。しかし、『川角太閤記』によれば、当日の朝、秀次の許に行つたのは幸蔵主であり、『太閤記』のエピソードが虚構であることが証される。

注1: 「関白秀次の切腹と豊臣政権の動揺―秀吉に秀次を切腹させる意思はなかった―」(『國學院雑誌』第一一四巻第一一〇号)二〇一三年)

注2: 『消された秀吉の真実―徳川史観を越えて』第八章「太閤秀吉と関白秀次」(堀越祐一)二〇一一年。人物叢書『豊臣秀次』第八章(藤田恒春)二〇一五年。

注3: 引用中、括弧内の「と」は私見で補ったものである。

注4: 「よつ時」は午前十時前後である。

注5: わざわざ「五ツ時分」と記さなくとも叙述が成立することは、『太閤さま軍記のうち』や『太閤記』の記述それ自体が証明している。

注6: 比較のために言えば、八月二日、事件に連座して処刑される秀次の正妻・一の台の和歌は、『太閤さま軍記のうち』に拠れば「つまゆゑにくもらぬ空に雨ふりて白河くさの露ときえけり」であるが、『太閤記』では、それを「心にもあらぬうらみはぬれぎぬのつまゆゑかかる身となりけり」としている。秀次の失脚・自刃を石田三成の讒言による冤罪事件とする態度は、『太閤記』に一貫しているが、甫庵は、そのためにことさらな改竄を行っていることが明白である。『川角太閤記』の筆者の態度とは対照的であるといえよう。

注7: 桑田忠親『太閤史料集』二二五ページ。

注8: 出発の時刻を記した記録はないが、伏見に到着したのは、『兼見卿記』に拠れば、「午刻一である。『川角太閤記』には「昼時分」とあり、一致する。

注9: 『川角太閤記』に拠れば、「御供には道三・玄朔、その外、小姓衆十人ばかりにて」ということである。『兼見卿記』に「御小者一両人之体云々」とあるのは、伏見到着後、「小姓たち」を城下に控えさせ、そこから、面会のために城内に赴いた時の伝聞であろう。

注10: あるいはそのような事項を記した文書があるのかも知れないが、浅学の身でその存在を知らないの、「不文律」というチームを用いる次第である。なお、その点、御教示を賜るなら幸甚である

注11: 「ある人物が僧侶の体となつて一たび山内に足を踏み入れさえすれば、たとえ、

読んできたのに対し、筆者は「せられ」を「尊敬」で読んで「腹をお切りになつた」と解釈し、「無実のためこうなつた」というのは、秀次が「無実の証明のため」自ら切腹したことを示すと考えた。

と述べられている(注26)。

私見を言えば、まず、「御はらきらせられ」の「せ」は、氏の指摘どおり尊敬の助動詞である。「せ」を「使役」とすると、「はら」には「御」がついているので、「御自身の腹」であるから、現代語では「関白殿は、昨十五日、(御自身の)腹をお切らせになつた」という意味になる。(冗談だが)盲腸炎か何かの手術でもない限り、そのような状況は有り得ない。「尊敬」であるなら、「関白殿は、昨十五日、腹をお切りなられた」で、何の問題もない。

次に、「むしちゆへかくの事候」については、「ゆへ」(故、歴史的仮名遣いでは「ゆゑ」)が逆接的にも用いられることを指摘したい。例えば、天智天皇の妻であった額田王に対して大海土皇子が詠んだ和歌の「人妻ゆゑに我恋ひめやも」(『万葉集』巻一―二〇番)など、古典文学の研究者なら誰もが知っている例である。大海人皇子は、額田王が「人妻だから」恋しく思うのではない。「人妻なのに」恋しく思うのである。従って、「むしちゆへかくの事候」は、普通に「無実なのにこんな事になつた」という意味に理解できる。ついでに言えば、最後の「なり」は、「断定」ではなく「伝聞推量」の助動詞だから、「くわんはくとの、きのふ十五日のよつ時に御はらきらせられ候よし申。むしちゆへかくの事候のよし申なり」の記述は、「関白殿が昨十五日に切腹なさつた(人々が)言っている。無実なのにこうなつたと言っているそうだ」というだけのこと。「高野山からの急報」(注27)の内容を筆者が記したというものではなく、筆者周辺の噂の紹介に過ぎない。周辺の人々が何故秀次を無実だと言うかといえば、秀次から、秀吉には無断で銀五千枚が皇室周辺に贈られている事実があり、もし秀次の謀反が事実で、皇室周辺の誰かがそれを知っていたとしたら、嫌疑は皇室にまで及び、大変な事態となるから、「全く謀反なんて知らなかった、今でも無実だと思つている」という言い訳のために、恐らく意図的に言い触らしているものであろう。それはまた、『御湯殿上日記』の筆者の気持でもあつたはずである(注28)。

〔補論Ⅱ〕京・伏見から高野山までの情報伝達速度について

「秀次切腹の命令が七月十三日に出されたのなら、その命令は十四日には、高野山には届きえず、それでは、事態の経過的に十五日四つごろの秀次の切腹に間に合わない。従つて、秀次切腹の命令自体が存在しなかったのではないか」とする説が存在する(注29)。伏見から、高野山麓の橋本(注30)までの距離は、少し遠回りのJRの路線を辿るルート(注31)でも九七・九キロで、全行程馬行が可能である。馬の速度を毎時十五キロとすれば、所要時間は六・五時間。当日は好天で、まだ日も長いから(太

陽暦では八月十八日)、十三日の正午過ぎに伏見を出ても、日没までには橋本に到着することができるといえる。そして、橋本からは、私自身、最近、橋本↓学文路↓河根↓神谷↓不動橋↓女人堂のコースを五時間弱で歩いた経験がある。その間、神谷までは、大部分馬行が可能であるから(注32)、そうすれば、三時間ほどであろうか。十三日に伏見を出発した使者は、十四日の午前中には、余裕で高野山に到着することができる。それを不可能だとするのは、『太閤記』に「三使その勢三千余人、兵具いみじく出立て、青巖寺をひたひたと打囲みけり」とあることに従つて、使者達が、完全武装の兵士三千余人を率いて高野山に向かつたと考えるからであるが、秀次の周りにいる武士は十名程度に過ぎない(注33)。その程度を相手に、そんな大軍の移動は必要ない。私は『太閤記』に記された青巖寺包圍事件の存在自体を疑わしく感じるものである(注34)。たとえ事実であっても、青巖寺を包圍するだけなら、「秀次高野住山之儀二付被仰出条々」に「為惣山番之儀、昼夜堅可申付」とある者を増員・動員するだけで十分であろう。

〔補論Ⅲ〕『太閤記』所載、木食興山上人宛五奉行連署状の真偽について

当該の文書は、文禄四年七月十三日付けで、徳善院玄以下五奉行の連名で、応其上人に宛てられたとするもので、「為御意申達候。仍、秀次公御謀反の条々、少も依無疑之、可被進御切腹之旨候」云々と、秀吉から秀次切腹命令があつたことを知らせる趣旨のものである。この連署状が確かなものであれば、私にとっては好都合なのであるが、矢部氏によつて「甫庵が江戸時代に「創作」したもの」との見解が述べられている。氏の見解の根拠とする所は、

▽日付に「文禄四年」と年記があること(月日だけであるべき)

▽前田玄以の署名が「徳善院玄以」となっていること(民部卿法印とあるべき)

▽五奉行の署名順が、通常とは逆であること

▽当日、同座できないはずの浅野長吉の署名があること

等であるが、この連署状が虚構であることは、本文中に「猶三使可有演説之条、令省略畢」とあることからとも言えると思われる。これは、使者三名が同時に派遣されることを前提とする表現である。しかし、実際は、福原長堯のみが、先に「秀次高野住山之儀二付被仰出条々」を託されて十二日に出発し、十三日に切腹の命令の伝達のために派遣されたのは福島正則と池田秀雄の二名であつたことは、先に述べたとおりである。当該の連署状が史料として用いられないことは、明白であろう。

〔補論Ⅳ〕「御傘持吉若」に関連して

繰り返しになるが、『川角太閤記』の高野山に関する記述は、秀次の切腹当日ずつ

のもとに届いて後、上人は、恐らく十五日払曉からの一山衆会をどのように乗り切るかで忙殺されたはずである(注22)。何となれば、もしそこで命令を拒否するというような決議がなされてしまったなら、前述のごとく、高野山と秀吉の関係は、一切が瓦解してしまうからである。そして、そこで命令を受け入れるという決議がなされるまで、上人は、秀次に「命乞い」をさせることができない。何故なら、「命乞い」の前提には「死」がなければならぬが、一山衆会の議決が済まない限り、上人にとって、秀次の「死」は、まだ前提とはなっていないからである。一山衆会の議決がなされ、その結果を知った秀吉の使者達は、すぐに青巖寺に赴き、秀吉の命令を伝えた。あとは、『川角太閤記』が描写するとおりである。秀吉のほかない期待は、やはり、ほかない期待に過ぎなかったのである。

以上、仮定の上に仮定を重ねた論ではあるが、秀次に切腹を命じた後にも、秀吉の心の奥には、秀次の命だけは何とか助けたいという気持があった可能性のあることを述べた。では、もしそうであったなら、続く八月二日の秀次の妻妾たちの公開処刑は、どう解釈されるのだろうか。以下、それを論ずる。

近代の研究者の中には、この事件を秀吉の残酷性を示すものとして云々する向きが存在する(注23)。しかし、処刑方法は、当時の普通の方法であつて、特に残酷な方法が用いられているわけではない。処刑後も、磔・獄門など、ことさらな見せしめの処置はとられていない(注24)。事件が表面化して後、彼女たちは丹波・亀山城内に集められていたが、処刑を前にして、七月晦日、京都の徳善院の屋敷に移される。その様子は、『太閤記』に拠れば、

今日明日を限りの事なれば、これかれのおとづれ、かずかずなり。とかくせし間に、鶏の声もしきり、八月朔日の空も、霧のまぎれに明けはなれしかば、又、知るかたさまよりの暇乞ひの文来たれば、使ひの女房、文箱の蓋を片手に持ちながら、目もくれなぬにぞ見帰り行くありさま、見る目さへにまどひぬ。朔日、さまさまのあはれさに、ほどなく日も暮れ、行水の、経帷子の、遺物の事までにて、  
 他事なし。

のごとくである。ここにも、何ら、残酷とか無慈悲とか言われねばならない様子は見られない。外部からの訪問も、通信も、制限されていないようであり、行水、死装束、遺品の処理と、彼女たちができる限りこの世に心を残すことなく刑場に赴けるよう、周囲は同情し、配慮していることである。処刑当日、彼女たちは、西向きに置かれた秀次の首(勿論これは、西方浄土を望ませようとする、善意の配慮である)に、最後の別れをした上で、刑に処せられている。それについて、『太閤記』には、「公の御顔を西向きに居多置き、寵愛二十余人の女郎達に拝ませ申すべき旨(注25)、兼ねて仰せ出だされし」とあつて、これらの処置は、秀吉自身の指示によってなされたものであることが知れる。これらは、謀反人の妻妾の処刑に対して、秀吉として

できるぎりぎり一杯の配慮ではなかったかと、私には思われるのである。

「三族を夷ぐ」という語がある。謀反人に対しては、本人のみならず、父母・兄弟・妻子まで処刑されるという意である。当時において謀反は最も重罰に処せられるべき罪であり、秀次が、その罪状に対し何の弁明もせず切腹した以上、彼女達が謀反人の妻妾として処刑されるのは、可哀想ではあるが仕方のないことであつて、特別に秀吉を残酷視せねばならないことではなかったと私は思う。ただ、秀次の妻妾達の数が三十余名と多数であつた(同時に、当然のことだが、殆どが若く美しい女性とその子であつた)ため、その公開処刑が、人々に強い衝撃を与えたというだけのことである。秀次に対する憎悪の余り、秀吉が秀次の妻妾三十余人までもその子ともども残酷に処刑したという見解は、明白に訂正されねばならないと私は考える。

以上、矢部氏自身がまとめられた①②③の三点に対する私見を述べ終えた。矢部氏にならつたまとめ方をすると、それは、以下のごとくになる。

①秀次周辺の謀反事件の表面化に際し、七月八日、秀吉は秀次に高野山行を命じた。これは、秀次自身は謀反に関与していないという前提で、秀次の政治的生命のみを奪い、事件の穏便な解決を図ろうとするものであつた。

②七月十二日に事態が急展開し、秀次自身の謀反が確定してしまつた。秀吉は秀次に切腹を命じ、十五日、秀次は、それに従つて自刃した。

③秀次の謀反が確定してしまつて以上、八月二日に彼の妻妾・子が処刑されたのは、可哀想であつても、当然のことであつて、処刑方法も、特に残酷視されねばならないものでは決してなかつた。

そして、もう一点、

④秀次に切腹を命じつつ、秀吉の心のどこかには秀次の命を救いたいという矛盾した思いがあり、秀吉は、それを、応其上人に期待していたのではあるまいか。

ということ、本論稿の結論として付け加えておく。ただし、④は、飽くまで「可能性」として述べるものである。

以下、論の流れをスムーズにさせるために、本文では詳論できなかった点を、補論 I ～ IV として述べる。

〔補論 I〕『御湯殿上日記』文禄四年七月十六日の記述について

『御湯殿上日記』文禄四年七月十六日には、「くわんはくとの、きのふ十五日のよつ時に御はらきらせられ候よし申。むしちゆへかくの事候のよし申なり」との記述が見える。この記述の解釈について、矢部氏は、

従来「御はらきらせられ」の「せ」を「使役」で理解し「腹を切らされた」と

それは、『太閤記』の中に見える、以下のようなエピソードが、従来の説では、どうにも説明がつかないからである。

福島、福原、池田、十六日の晩、伏見に至り、その旨披露し奉り、「秀次公御面の事、いかが仕り候はんや」と申し候へば、その御返事はなく、「木食上人は、あへなくも切腹させ侍るよな」と、聊か御袖をしぼり給へり。

福島正則以下三名が、十六日の夕刻、秀次の首をもつて伏見に戻り、秀吉に報告した後、秀次の首の処置を尋ねたところ、秀吉は、その問いにはこたえず、「木食上人は、あへなくも切腹させ侍るよな」と言つて涙を流したという話である。ここに描かれた秀吉の姿は、決して秀次の謀反に激怒しているものではない。自らが命じたものでありながら、秀次の死を悼み、悲しんでいる姿である。いずれが本当の秀吉の姿であったのだろうか？

このエピソードは、『太閤記』にのみ見えるものである。そして、『太閤記』の記述には多くの事実ではないことが含まれていることも、私自身、注6として指摘したとおりである。従つて、このエピソードを、「太閤記」しか見えない話であるので、事実とは認められない」として切り捨ててしまうなら、論はそこで尽きる。従つて、以下は、「もしこのエピソードが事実であるとしたら」という条件付きで、敢えて私が述べる所のものであることを了解されたい(注18)。

七月八日の時点で、秀吉が事件に対して激怒していたことは、注16に引用した『兼見卿記』の記述からも間違いはあるまい。ただし、それが秀次個人への肉親感情を一切忘れさせるほどの激しい憎悪・報復の感情となり、それがずっと秀吉の心中にとどまっていたかといえ、私は、そうではなかったと思う。もし、秀次に対する秀吉の感情が憎悪・報復の念だけであつたなら、高野山で謹慎している秀次の命を奪うに際して、どのような手段をとるであろうか。何らかの口実をもうけて秀次を下山させ、京都に連れ戻し、そこで、切腹よりもっと屈辱的な、あるいは残酷な方法で、公開処刑することも可能であろう。しかし、秀次は、武士としての体面を保つて、五名の殉死者と共に見事に切腹した。それは、罪状が謀反であることを考えれば、むしろ「情けある」とさえ言える処置ではあるまいかと私は思う。そのように考えると、届けられた秀次の首を見て、秀吉が涙を流したという『太閤記』の話も、必ずしも創作とは言ひ切れないのではないかと私には感じられるのである。そして、秀吉は、その時に「木食上人は、あへなくも切腹させ侍るよな」と述べたというのである。この一言から、どのようなことが読み取れるであろうか？

「あへなく」は、ニュアンスの微妙な語であるが、結果に失望している場合に用いられ、この場合は「木食上人は、なんとあつさり(秀次を)切腹させたことだ」というほどの現代語訳になろう。秀吉は、自分自身で秀次に切腹を命じつつ、同時に、木食応其上人の手によって、秀次の命が救われることを(心の底では、密かに)願っていたということになる。形式論理的には矛盾しているが、政権の統治者として謀反

人を厳罰に処せなければならぬ秀吉と、小さいころから可愛がつてきた甥っ子を助けたと思うただの人間としての秀吉と、矛盾した二人の秀吉が、現実の秀吉という一つの肉体に並存していたと考えるのは、決して無理なことではあるまい。

秀吉と応其上人との接触は、文献上では天正十二年ごろから確認される(注19)が、二人の結びつきが決定的となるのは、天正十三年四月、秀吉軍の高野攻めに際し、応其上人の仲介によって、高野山の無血武装解除がなされた時である(注20)。続いて、天正十五年の九州征討においては、秀吉方の使者となつて長期の交渉にあたり、結果として島津義久の降伏と鹿児島島の無血開城を齎した。また、東大寺の大仏に代わる天下惣無事の宗教的シンボルたるべく企図された東山大仏の建立には、秀吉の代理として一切を差配し、天正二十年に母・大政所が死去すると、秀吉は、その菩提を弔うために、高野山に剃髪寺(その後、青巖寺と改名)を建立して応其上人を住持とした。

文禄三年の三回忌法要に際し、秀吉は、徳川家康、前田利家、伊達政宗、蒲生氏郷、細川幽斎等を引き連れて登山、三月四日の連歌会では、一年を経れば若木も花よ高野山」の発句を詠んで、秀頼を若木の花に喩えて、その成長を祈願した。それに対し上人は、「霞むかたへの広き垣内」の脇を付け、家康以下の連衆を垣に喩えて、その庇護を祈っている。当時の人が「太閤御威光又木食興山上人生相不思議ノ事也」と述べている(注21)。こゝで、秀吉にとつて、応其上人は、自らの天下惣無事事業の宗教面での最大の功労者というだけではなく、個人的な信頼関係で結ばれた——その死を知らされた時、氣を失つたと伝えられるほど母思いであつた秀吉の、その母の菩提寺の住持に、どうして人格的に信頼も尊敬もできない者を選ぶであろうか——盟友ともいふべき存在であつた。では、一体、秀吉は、上人がどのようにすれば、秀次の命を救うことができるかと考えていたのであるか？

私は、秀吉が考えたことは、たった一つの可能性しかないと思う。それは、秀次自身「命乞い」である。それ以外の理由では、たとえ一山衆会の決議であつても、秀次の罪状が謀反である限り、高野山側は、秀次助命を申し出ることにはできない。何故なら、それは、天正十三年四月に交わされた秀吉と高野山との盟約の破棄を意味し、秀吉と高野山の関係を、それ以前の状態に戻してしまうことになるからである。しかし、そんなことに係わりなく、「御本人が命乞いをしてから、太閤様の御養子で甥御様でもあるし、一応」ということなら、切腹の延期の嘆願くらいはできよう。そして、応其上人なら、秀次に説いて(その時は、秀次の親や妻妾や子の運命が、当然、大きな説得の材料となる)、「命乞い」をするように仕向けることができるのではあるまいか。そして、上人から嘆願が出されたら……、甥っ子の命を何とかして助けたいと思う「もう一人の」秀吉は、藁にもすがる気持ちで、それを期待していたのではあるまいか。その秀吉の気持ちに上人に伝わっていたかどうか、それは、私には分からない。ただし、秀吉の期待に反して、上人には、秀次に「命乞い」をさせる時間的な余裕がほとんどなかったことは推測がつく。七月十三日付の「秀次切腹命令」が上人

一、為惣山番之儀、昼夜堅可申付候。自然於令下山者、惣山可加成就事。

一、当山出入之口々二番を居、秀次見廻之族、可令停止候事。

詳論は避けるが、先学の指摘するごとく、この文書は、秀次がこれから当分「高野住山」即ち、高野山内に住む(継続的に生活する)ことを前提としているものである。この文書を高野山に届けたのは、福島正則・池田秀雄・福原長堯の三名であったとする見解があるが、この時点で派遣されたのは福原長堯一人で、彼は(多分十三日中に高野山に到着し)、十四日(多分、朝)に、秀次に会い、この文書の趣旨を伝えている。「川角太閤記」は、その場面を、以下のごとく記述している。

一、十四日に福原右馬助を御使に立て、御神妙の御覚悟然るべきの由、御誕にて、先々御意に御任せなされ候ふ、終には目出たく御中なほりなさるべく候ふ間、御意に御任せ然るべく御座候はんと申し上げ候ふところに、関白殿御意には、此の上は、道具御出しなさるべしとて、残り無く御出しなさる。

これは、「秀次高野住山之儀二付被仰出条々」の第一条に「ほつたい黒衣之上は、上下共、刀脇差不可帶之事」に対応した処置のほつたものである。その際、福原は「終には目出たく御中なほりなさるべく候ふ間」と述べ、秀吉と秀次の関係修復への期待を述べている。即ち、彼は、この時点でもなお、秀次に切腹が命ぜられるとは、全く考えていなかったようである。

しかし、遡って十二日に福原がこの文書の使者となつて高野山に向けて出発して後、十三日までの間に、京・伏見では、事態が急展開していた。「太閤さま軍記のうち」には、七月十三日になって、この事件に関し、白井備後守・熊谷大膳頭・木村常陸守など、秀次側近たちの処罰が決定したとの記述が見える。即ち、次のごとくである。

七月十三日、くみつかまつり候ふ悪行人御成敗

御検使 民部卿法印 増田右衛門尉 石田治部少輔

一、白井備後守 四条じやうどしゆうていあんにて腹を切る。

おなじく妻女 四条道場にて自害つかまつり、一首よみおき候ふ。

妻ゆゑにすみぞわたるわがすがたつひに蓮の縁となるらん

哀れなるありさまなり。

一、熊谷大膳頭 嵯峨の二尊院にて腹を切る。

一、木村常陸守 津の国五かの庄大門寺にて生害。

日ころたくはへおき候ふ黄金、めしあげられさぶらふなり。

おなじく妻女 帥の法印に御あづけ。

一、一柳右近妻子 伊藤伊賀に御あづけ。

一、服部采女妻子 吉田清右衛門に御あづけ。

長くなるので、引用は初めの五名の部分のみにとどめたが、この記事は、『言経卿記』文祿四年七月十四日の記事に、

一、昨日、殿下御内衆熊谷大膳大夫、栗野木工助、白江備前守、・・・等、太閤

より腹ヲ切ラサレ了由風聞也。

と見えるのと内容がほぼ一致しており(注13)、事実であることが確かめられる。秀次の切腹も、恐らくこの時決まったのであろうと私は考える。そして、その決定は、福島正則と池田秀雄の二名が使者となつて、十四日に高野山に伝えられ、応其上人はそれを受けて、十五日明け方よりの「一山衆会」の開催を決定。そこでの議決の結果が福島・池田に伝えられた後、「五つころ」兩名は秀次の許に行き……、以下は、先に引用した『川角太平記』が述べるとおりである(なお、切腹の命令が十三日に発せられたのなら、それが十四日中に高野山に届くことは不可能であるとする見解があるが、それについての私見は補論IIとして述べる。また、『太閤記』には、秀次に切腹を命じる応其上人にあてた七月十三日付け五奉行連署状が掲載されているが、その真偽については、補論IIIとして述べる)。

以上のごとき史料から、七月八日以後、事件は漸進的に展開したのではなく、十二日と十三日の間で急展開したことが知れる。では、何故十二日と十三日の間で事件が急展開したのかというと、極く平凡に、「謀反の企てが実際に存在し、秀次自身もそれに係わっていたと言わざるを得ない決定的な情報」が、秀吉側(恐らくは、石田三成か増田長盛)にもたらされた(というより、私の考えでは「もたらされてしまった」)からだとは私には考える。その情報は、直ぐに秀吉(注14)に伝えられ、そこで対応策が協議された(注15)。その結果として、十三日までに、秀次の切腹と『太閤さま軍記のうち』にいう所の「くみつかまつり候ふ悪行人御成敗」が決まり、秀次に切腹を命ずるために、福島正則・池田秀雄が高野山に派遣され、云々となる。

では、誰が、どのような理由で、その「謀反の企てが実際に存在し、秀次自身もそれに係わっていたと言わざるを得ない決定的な情報」をもたらしたのかと言うと、これも、極く平凡に、謀反の企てに加わっていた者(一人または複数)が、自らへの処罰を逃れるために、自らに探索が及ぶ前に、事件の全貌を当局に密告したと考えて都合はないのではないか(注16)。そして、もしそうなら、その時点で既に秀次の政治的生命は完全に失われており、今さら無実の罪をでっち上げる必要はないのであるから、この情報は事実に基づくもので、秀次の謀反は、冤罪ではなかった可能性が高いと私は考える(注17)。ここまで来れば、では情報提供者は誰かということが気になるが、これ以上の追究は差し控えることとしたい。ただ、探索の対象としては、秀次側近、有力大名、堂上方面の三つがあげられるとは言つてよいであろう。

以上、矢部氏が自説のまとめとした①②について、私見を述べ終えた。あとは、普通に従来の説のとおり、「秀次の謀反に激怒した秀吉は、秀次を切腹させるだけでは気がおさまらず、怒りの感情の赴くまま、八月二日、秀次の妻妾等三十余名を、その子と共に、京都の三条河原で見せしめとして公開処刑した」と考えてもよいのであるが、別なふうを考えることも可能ではないかという意味で、以下に、私見を披瀝したい。

候ふ。様子は、しかと存ぜず候ふ。後々の取沙汰には(下略)

注意すべきは、「様子は、しかと存ぜず候ふ」の一文である。何気ない言葉遣いであるが、この一文は、『川角太閤記』の筆者が、知らないことは知らないと言おうことができて、推測を推測と断らずにものを言ったり、無責任な創作的記述をしたりする人物ではなかったことを示している(注6)。これもまた、一連の事件についての『川角太閤記』の記事に対する信頼度をより高めるものであると私は考える。

『川角太平記』の成立は、元和七年から九年の間と推定されている(注7)。慶長年間には成立していたとされる『太閤さま軍記のうち』に比べて時期は下るが、そこに記されている内容には、『太閤さま軍記のうち』から影響を受けたと思われるところは全くうかがわれず、全て『太閤さま軍記のうち』とは出所を異にすると思われるものばかりで、その点、秀次失脚自刃事件を学問的に論ずるのなら、決して無視されてはならないものであると私は考える。そして、もし『川角太閤記』の史料としての価値を認めるなら、その時点で、「秀次は「無実の証明のため」自ら切腹した」とする説は成立し得なくなるというのが、私の結論である。

次に(二)について述べる。結論を先に述べるなら、秀吉が、秀次に高野山行を命じたということそのものが、その時点(七月八日)では、秀吉には秀次の生命を奪う意志がなかったことの何よりの根拠となるということである。何となれば、近い将来ある人物(秀次)を死刑に処そうと思いつつ、その人物に高野山へ行けと命ずることは、まともな人間の判断として有りえない処置だと、私には思われるからである。

文禄四年七月八日朝(注8)、秀次は、ほとんど無防備な状態で(注9)伏見城にやって来た。その時、もし秀吉が秀次を殺すつもりであったのなら、どうするであろうか? 一番率直な方法は、その場で包囲し、自殺を強要するか殺害すればよいのである。それでは余りに突然すぎるので、周囲の動揺を少なくするためにしばらく猶予を置いて、時期を見て殺すつもりなら、どうするであろうか? 多分、伏見城内あるいは、近くの適当な配下の者の屋敷に入れ、軟禁状態にするであろう。実際、『川角太閤記』によれば、秀次は、伏見到着直後、一度「糟屋内膳が屋形」に入れられている。しかし、秀吉が命じたのは、高野山行であった。これはどういうことを意味するであろうか? 高野山内は、(恐らくはその開山当初から)俗世権力の徴税権や警察権等の及ばない宗教的聖地として、広く自治が認められていた場所であった。また、ある人物が僧侶の体となって一たび山内に足を踏み入れさえすれば、たとえその人物が俗世でどのような罪を犯した者であろうとも、その人物が山内を出ない限り、その罪は問われず、山内の自治によって保護されるというのが、古くからの不文律(注10)であったのも周知のことである。この不文律は、連綿として受け継がれていた(注11)。そして、それは、豊臣政権下において、次のような条文として成文化される。

一、天下に対して敵をなす謀反悪逆人を寺中に匿ふこと然るべからず。道心者といふは、親を殺し、子を殺し、主の用に立たず、又は面目を失ひて髻を切り、男もならざる輩、これ等を山中に匿すことは苦しかるまじきか。

天正十三年四月十日、秀吉軍の高野山攻撃を目前に控え、応其上人の周旋によって、高野山の代表二名(南院主宥全・遍照尊院快言)と秀吉との会談が実現した際、攻撃回避の条件として、秀吉から高野山へ示された四か条のうちの一つである。高野山側は、四か条全てを受け入れ、四月十六日付けで請状を提出した。意味する所は、「天下に対して敵をなす謀反悪逆人」を除き(この例外が設けられた所が、従前とは決定的に異なるのであるが)、それ以外の者は、親や子を殺した犯罪者であっても、主君から勘当された者であっても、世間に顔向けできないような不始末をしでかした者であっても、従来どおり、山内で保護してよい」ということである。この条文の存在を念頭に、秀次に高野山行を命じた秀吉の命令を考えると、どうなるか?

まず、秀次が「天下に対して敵をなす謀反悪逆人」であるのなら、高野山といえどもそれを匿うことができないのだから、高野山としては、秀次が「天下に対して敵をなす謀反悪逆人」ではないという前提がない限り、秀次の身柄を受け入れることはできない。その前提で受け入れさせた上で、また改めて、秀次を切腹させるためには、どのような手続きが必要か? 秀次の罪が実は謀反であったことを高野山側に説明し、納得させ、山内の意思決定機関の承認を受けることが、秀吉側(具体的には、応其上人)には求められる。実際、『太閤記』に拠れば、応其上人は、秀次への切腹命令を受け入れるかどうか、「一山衆会之評議」を十五日の払暁より開催し、山内の意見集約を図っている。秀次に切腹の命令が伝えられたのは、そこでの議決がなされて後のことである。もし、秀吉が、文禄四年七月八日の時点で、秀次を近いうちに殺さねばならない存在であると考えていたのなら、どうしてそんな面倒が予想される選択肢を選ぶであろうか。それはまた、後述するように、天下惣無事事業の盟友として個人的な信頼関係で結ばれていた応其上人(同時に、母・大政所の菩提寺の住持である)に対し、詐術を用いることにもなる。秀吉はそんな愚かな人物ではなかったはずである。

さて、七月八日の時点では、秀吉には秀次を殺す意志がなかったのであるが、七月十五日には、秀吉の命令によって秀次は切腹しているから、その間のどこかで、秀吉の意志が変わったということになるのであるが、ここで注意されるのは、先学の研究でも注目されている「秀次高野山住山之儀二付被仰出条々」と題される七月十二日付けの文書である。本文のみを引用する(注12)。

一、召使候者侍十人、此内坊主、台所人共、下人、小者、下男共五人、都合十五人可為候。此外小者一切不可有之候。然共ほつたい黒衣之上は、上下共、刀脇差不可帶之事。付タリ、此方奉公仕もの、縁者親類、不可召置事。

否定することのみを以て可とし、記述の信頼性という点ではそれよりも遙かに重視されるべき『川角太閤記』については、全く言及がないこと。

(二) 事件の舞台が高野山であること、というよりも、秀吉が秀次の追放先として指示したのが、(他ならぬ)高野山であったことへの考慮が不十分であること。更に言えば、当時の高野山の最高実力者であった応其上人と秀吉との間の人間関係が考慮外であること。

この二点を考慮すれば、事件の経緯はどのようなものとなるか、(一) から論じたい。

『川角太閤記』の記述に依る限り、秀次の切腹が「身の潔白を証明しようとした秀次の意思による」切腹であるとは、絶対に考えることができない。何となれば、そこには、秀次切腹の当日の様子を、以下のごとく述べているからである。

一、十五日五ツ時分、福島大夫・池田伊予、此の兩人御使ひに参られ候ふは、「御切腹なされ候へとの御意にて、兩人参り候ふ」と申し上げられ候ふ。関白様は、龍西堂と御将棋遊ばされ候ふところへ、篠部淡路奏者にて、「福島大夫・池田伊予、御使ひに参られ候ふ」と申し上げ候ふところ、「何事にや」と御意なり。「かやうになられ候ふ上は、仮令御中直り候ふとも、この御遺恨はて申すまじくとおぼしめされ候ふ間、御切腹なされ候へど、兩人申し上げ候ふ」と、淡路守申し上げ候ふところに、「さも有るか、然らば、この将棋は、秀次勝ちの将棋か」とおぼしめされ候ふ。「皆々見よ」との御意にて、見申し候ふところに、御意のごとく、御勝ちの御将棋にて御座候ふ。桂馬にてつまり申し候ふに相究め候ふ。御取りなされ候ふ駒をば、箱の身の方へ御入れなされ、龍西堂へ取られ候ふ駒をば、蓋に御入れさせ、「駒崩すな」と御意候ひて、床へ御上げさせ置きなされ候ふ。さて、兩人への御返事には、「炎天の時分、御使ひ辛勞におぼしめし候ふ。白洲へ、兩人共に詰められ候へ。御ふみ、一ツ二ツ遊ばされたくおぼしめさるゝこと、如何候はんや」と、御返事なり。兩人、様子承り届け「今日中にさへ御切腹なされ候はば、夜に入り申し候ひても苦しからず候ふ。緩々と御仕置なさるべき」との御受け申し上げられ候ふ事(注3)。

事件を眼前に見るがごときの『川角太閤記』の叙述を知ってもらいたくて、引用が必要以上に長くなったかと危惧するが、ここには、七月十五日の五ツ時分(午前七時前後)に、秀吉からの命令が伝えられ、それに従って秀次が切腹したことが、明々白々に述べられている。事件はこの後、秀次が両親・妻妾などへの書簡三通を託した後、行水をし、続いて殉死する五名との簡単な酒宴、秀次自身の介錯による小姓三名(山田三十郎・山本主殿・不破万作)の切腹、秀次(介錯は篠部淡路守)と龍西堂(介錯は服部吉兵衛)の切腹、服部吉兵衛の介錯による篠部淡路守の切腹と進行する。残った服部吉兵衛(吉若という名で「御傘持」をしていたが、直前に秀次から名を授けられたものである)も続いて切腹しようとしたが、検使の二名(福島と池田)に制止さ

れて生き残り、彼は、その後、青木紀伊守、続いて田中筑後守に仕えることになる。

『川角太閤記』の筆者は、「この者(服部吉兵衛)とは二代の傍輩にて御座候ふ故、高野にての有様、よく承り届け申し候ふ事」と述べて、高野山での出来事の記述を終える。また、同書中には、「初中後の様子、この吉兵衛見申し候ふ」との言も見える。これらに拠るなら、『川角太閤記』の文禄四年七月十五日の高野山の記述は、その一部始終を秀次の傍で見えつつ、殉死者二名の介錯を果たした人物の目撃・体験談を記録したものであることになる。実際、そこにおける記述には、

▽僧侶でありながら、共に殉死した龍西堂は、最初から一行と行動を共にしていたのではなく、十三日朝に高野山にわざわざやってきたものであること、

▽事前に、秀次の介錯を誰がするかで、山田と篠部の間で争いがあったこと、

▽切腹に先立ち、秀次が行水したが、その「拵へ」は、御傘持吉若——『川角太閤記』の筆者に事件を語った本人が行ったこと、

▽秀次が介錯した三人の小姓の切腹の順序を、『太閤さま軍記のうち』や『太閤記』などが、山本、山田、不破の順序であったとしているが、実際は不破、山田、山本の順であったこと、

▽不破の介錯には二刀を要したが、刀を換えることにより、山田と山本の場合は一刀で済ますことができたこと、

▽龍西堂と秀次の切腹は、床机に腰掛けて、同時に声を掛けて、刀を自分の腹に突き立てたものであったこと、

▽その際、龍西堂は床机から転び落ちたこと、

▽秀次の切腹に対する篠部の介錯は、一刀目と二刀目は手元が狂い、三刀目ようやく首を落とすことができたこと、

▽介錯の不首尾を恥じる篠部に対し、検使の二名がわざと「見ていなかった」と答えたこと、

など、現場で事件を目撃したものでなければ書けそうにないリアルでヴィヴィドな描写が続いている。特に、先の引用中で、切腹の命令が秀次のもとに伝えられたのは、十五日の「五ツ時分」であったと、おおよその時刻まで記されているのは、他の文献には全く記されていない独自の情報であるが、それは、事件直後の十六日に記された「くわんはくと、きのふ十五日のよつ時に御はらきらせられ候よし申」(注4)という『御湯殿上日記』の記事と、事件の時間的経過の点でも照応しており(注5)、『川角太閤記』の七月十五日の高野山での事件の記述が、『太閤さま軍記のうち』や『太閤記』とは別な、確かなルートから得られたものである可能性を高める事実であろう。

また、秀次失脚自刃事件に対する『川角太閤記』の記事は、次のような記述から始まる。

一、未の年、文禄四年六月廿六日、関白様へ御使ひを立てられ候ふ。御使ひは、石田治部少輔、増田右衛門、富田左近、長束大蔵、徳善院、この五人にて御座

## 関白秀次失脚自刃事件と木食応其上人

勢田 勝郭

Hidetsugu Toyotomi, Hideyoshi, Mokujiki Ogo in 1595

Katsuhiko SETA

文禄四年の関白・豊臣秀次の失脚自刃事件について私見を述べる。主要な結論は以下のごとくである。

▽七月八日、秀次は、謀反の嫌疑を受け、太閤・秀吉から高野山への退去を命ぜられる。これは、秀次自身の事件への係わりを曖昧にしたまま、その政治的生命的<sup>命</sup>のみを奪い、身柄を、信頼する木食・応其上人に預けようとする秀吉の意思に基づくものであった。

▽十二日から十三日にかけて、事態が急変し、秀次自身の事件への係わりが否定できないものとなった。止むなく、秀吉は高野山へ秀次に切腹を命ずる使者を派遣し、それに従って、十五日、秀次は自刃した。近年、秀次が雪冤のために自刃したとする新説が唱えられているが、首肯できるものではない。

文禄四年七月八日、関白・豊臣秀次は、養父であり叔父でもある太閤・秀吉と対談すべく聚楽第を出て伏見城に向かったが、面会すら許されず、そのまま高野行を命ぜられた。次いで、十五日、秀次が高野山青巖寺において自刃し、更に、八月二日、彼の妻妾三十余人が、その子ともども、京都三条河原で公開処刑されるというごとき事件は経過するが、その経緯について、私見を述べ、諸先学の御批判を仰ぎたい。

当該の一連の事件（以下、秀次失脚自刃事件と呼ぶ）については、最近、矢部健太郎氏によって新説が提示され（注①）、マスメディアにも採り上げられるとともに、秀次に関する近年の複数の出版物において考慮すべき説として紹介され（注②）、注目されている。私自身の本稿執筆の動機も、氏の新説を知った上でのことであるが、氏の説のポイントは、氏自身によって、簡潔に、次のごとく箇条書きで示されている。

- ① 秀吉の真意は「秀次失脚事件」と秀次の「高野住山」で穏便な決着を望むことだったにも関わらず、
- ② 身の潔白を証明しようとした秀次の意思による「秀次切腹事件」が発生し、
- ③ 「想定外」の政治的動揺を抑える必要性から「妻子惨殺事件」へと展開した。

蛇足であるが、①の「穏便な決着を望む」というのは、秀吉には、秀次を切腹させる意思がなかったということであり、それが、氏の論稿のサブタイトルとなっている。私も、以前から漠然と考えていたので、その点では強く賛意を表したく思うのではあるが、一方、②の点については、どうしても氏の説を是とすることができず、必然的に③の点でも、氏と結論を異にすることとなる。以下、その所以を述べることとなるが、それ以前に、私が、矢部氏の論考について不満足感を感じるのには、次の二点である。

（一）史料の取捨選択において、小瀬甫庵の『太閤記』の記述を採り上げ、それを

## Tool Wear of Titanium/Tungsten/Silicon/Aluminum-based-coated Solid Carbide Thread Milling Cutters in Thread Tapping of Chromium-Molybdenum Steel

Tadahiro WADA and Koji IWAMOTO\*

IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 7, No. 6, pp.445-448, December 2015.

In conventional tapping steels with machine taps, such as the spiral pointed tap, the spiral fluted tap, or the fluteless tap, the emission of chips has a large influence on tool damage of the tap. In particular, when tapping with taper pipe thread taps with a straight flute, the thickness of chips increases with the increase in tapping processing, these chips clog between the thread of the tap and the workpiece, and the thread of the tap very frequently causes tool breakage. It is considered that the helical milling method with thread milling cutters in thread tapping is effective against problems associated with tapping chips. Thread milling is a method for producing a screw thread by a milling operation [1]-[3]. Internal thread milling operation is possible for stable operation because chips are divided and chip clogging can be prevented. However, for internal thread tapping of chromium-molybdenum steel, there are no studies examining how to improve tool damage of pipe thread taps.

On the other hand, in order to improve resistance fractures of the thread milling cutter, cemented carbide, which has good fracture toughness, is often used as the substrate material for the tap. The physical vapor deposition (PVD) method is a widely used coating technology because of its lower treatment temperature, namely 470 K -870 K [4].

Recently, it has become possible to cut hardened steels with (Ti,Al)N-coated cutting tools. However, as machine parts are often cut at higher cutting speeds for mass production, tool materials must have excellent fracture toughness and wear resistance.

A titanium/tungsten-based coating film, namely (Ti,W)N coating film, has been developed. A (Ti,W,Si)N coating film, which is a titanium/tungsten/silicon-based coating film, has also been developed. Furthermore, titanium/tungsten/silicon/aluminum-based coating films, namely (Ti,W,Si,Al)N, (Ti,W,Si,Al)C, and (Ti,W,Si,Al)(C,N) coating films, have been developed. And, compared with commercial (Ti,Al)N, the tool wear width of the (Ti,W)N/(Ti,W,Si,Al)N-coated tool was smaller than that of the (Ti,Al)N-coated tool.

However, it is not clear whether these coating films are effective tool materials for helical milling with a thread milling cutter.

In this study, chromium-molybdenum steel was helical milled with two physical vapor deposition (PVD)-coated cemented carbide thread milling cutters in order to clarify effective tool materials for tapping chromium-molybdenum steel. The coating films used were (Ti,Al)N and (Ti,W)N/(Ti,W,Si,Al)N coating films. Tool wear was experimentally investigated.

The main results obtained are as follows:

- 1) In thread tapping of chromium-molybdenum steel at a cutting speed of 0.67 m/s, the tool wear width of the (Ti,W)N/(Ti,W,Si,Al)N-coated tool is smaller than that of the (Ti,Al)N-coated tool.
- 2) The mean value of the friction coefficient of (Ti,W,Si,Al)N, which is the outer layer of the (Ti,W)N/(Ti,W,Si,Al)N coating system, is 0.564, and that of (Ti,Al)N is 0.817.
- 3) The (Ti,W)N/(Ti,W,Si,Al)N-coated cemented carbide is an effective tool material for thread tapping of chromium-molybdenum steel.

### References

- [1] S.W. Lee, A. Kasten, A. Nestler, "Analytic mechanistic cutting force model for thread milling operations", *Procedia CIRP 8 (14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations (CIRP CMMO))*, pp.546-551, 2013.
- [2] Anna Carla Araujo, Jose Luis Silveira, Martin B. G. Jun, Shiv G. Kapoor, Richard DeVor, "A model for thread milling cutting forces", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol.46, pp.2057-2065, 2006.
- [3] Anna Carla Araujo, Guillaume Fromentin, Gérard Poulachon, "Analytical and experimental investigations on thread milling forces in titanium alloy", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 67, pp.28-34, 2013.
- [4] A. Kawana, "Trend of recent surface treatment technology," *Journal of the Japan Society for Abrasive Technology*, vol. 46, no. 5, pp. 214-217, 2002 (in Japanese).

---

\* OSG Coating Service Co., Ltd.

## Tool Wear of Aluminum/Chromium/Tungsten-based-coated Cemented Carbide in Cutting Hardened Sintered Steel

Tadahiro WADA and Hiroyuki HANYU\*

Applied Mechanics and Materials, Vol. 772, pp 72-76, 2015.

A machine part having a complicated shape can be mass-produced accurately by powder metallurgy. After the sintering, the sintered material is quenched and tempered to improve the mechanical properties and wear-resistance. For dimensional accuracy, it is often necessary for the sintered steel machine parts to be machined by the metal removal process. As the sintered machine parts are often cut at high cutting speed for mass-production, the tool materials must have good wear resistance.

The polycrystalline cubic boron nitride compact (c-BN) seems to be an effective tool material because it has good heat resistance and wear resistance. However, in milling, a major tool failure of c-BN readily occurs by fracture because c-BN has poor fracture toughness. Coated cemented carbide tools, which have good fracture toughness and wear resistance, seem to be effective tool materials. TiN, Ti(C,N) and (Ti,Al)N are generally used for the coating film. So, there are many studies on the wearresistance of these coating layers. Although there are some studies on the tool wear characteristics of the PVD coated cemented carbide tools in the cutting of hardened steel or sintered steel, there are few studies on tool wear in the cutting of hardened sintered steel.

An aluminum-chromium based coating film, namely (Al,Cr)N coating film, which exhibits a superior critical scratch load, has been developed. The aluminum-chromium based coated tool was evaluated through the machining of sintered steel, and showed greatly improved performance. So, the effectiveness of the aluminum-chromium coating film is clear when cutting hardened sintered steel.

As a result, it was clarified that the wear progress of the (Al,Cr)N coated cemented carbide tool was slower than that of the (Ti,Al)N coated cemented carbide tool, and the (Al,Cr)N coated cemented carbide is an effective tool material in cutting hardened sintered steel. However, it was considered from the results of our study that the critical scratch load, which is the measured value by scratch test, of the (Al,Cr)N coating film is 77 N and the micro-hardness is 2760 HV0.25N. Therefore, in order

to improve both the scratch strength and the micro-hardness of the (Al,Cr)N coating film, cathode material of an aluminum/chromium/tungsten target was used in adding tungsten (W) to the cathode material of the aluminum/chromium target.

In this study, to clarify the effectiveness of aluminum/chromium/tungsten coating film for cutting hardened sintered steel, tool wear was experimentally investigated. The hardened sintered steel was turned with the aluminum/chromium/tungsten-based coated tool according to the physical vapor deposition (PVD) method. Moreover, the tool wear of the aluminum/chromium/tungsten-based coated tool was compared with that of the (Al,Cr)N and (Ti,Al)N coated tools.

The following results were obtained:

- (1) In cutting hardened sintered steel at the cutting speed of 0.42 m/s using the (Al60,Cr25,W15)N, the (Al60,Cr25,W15)(C,N), the (Al64,Cr28,W8)(C,N), the (Ti,Al)N and (Al,Cr)N coated tools, the wear progress of the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coated tool became the slowest among that of the five coated tools.
- (2) The wear progress of the (Al60,Cr25,W15)(C,N) coated tool was almost equivalent to that of the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coated tool. However, at a high cutting speed of 1.67 m/s, the wear progress of the (Al60,Cr25,W16)(C,N) coated tool was faster than that of the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coated tool.

The above results clarify that the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coating film, which is a new type of coating film, has both high hardness and good adhesive strength, and can be used for tool material in cutting hardened sintered steel.

### Acknowledgment

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number 24560149 (Grant-in-Aid for Scientific Research (C)).

---

\* OSG Corporation

## Wear Mechanism of Aluminum/Chromium/Tungsten-based-coated Cemented Carbide Tools in Dry Cutting of Hardened Sintered Steel

Tadahiro WADA and Hiroyuki HANYU\*

International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME), Volume 3, Issue 2, pp.56-60, 2015.

An aluminum-chromium based coating film, namely (Al,Cr)N coating film, has been developed. The aluminum-chromium based coated tool was evaluated through the machining of sintered steel, and showed greatly improved performance [1]. So, the aluminum-chromium coating film is effective when cutting hardened sintered steel [2].

As a result, it was clarified that the wear progress of the (Al,Cr)N coated cemented carbide tool was slower than that of the (Ti,Al)N coated cemented carbide tool, and the (Al,Cr)N coated cemented carbide is an effective tool material in cutting hardened sintered steel [2]. However, it was considered from the results of our study that the critical scratch load, which is the measured value by scratch test, of the (Al,Cr)N coating film is 77 N and the micro-hardness is 2760 HV0.25N. Therefore, in order to improve both the scratch strength and the micro-hardness of the (Al,Cr)N coating film, cathode material of an aluminum/chromium/tungsten target was used in adding tungsten (W) to the cathode material of the aluminum/chromium target [3]. Furthermore, the hardened sintered steel was turned with the (Al60,Cr25,W15)N, (Al60,Cr25,W15)(C,N) and (Al64,Cr28,W8)(C,N) coated cemented carbide tools. And, compared with commercial (Al,Cr)N and (Ti,Al)N coated cemented carbide tools, at a low cutting speed of 0.42 m/s, the wear progress of the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coated tool became the slowest among that of the five coated tools and the wear progress of the (Al60,Cr25,W15)(C,N) coated tool was almost equivalent to that of the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coated tool. At a high cutting speed of 1.67 m/s, the wear progress of the (Al60,Cr25,W16)(C,N) coated tool was faster than that of the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coated tool [3]. However, the tool wear mechanism of aluminum/chromium/tungsten-based-coated cemented carbide in cutting hardened sintered steel has not been clarified. And, the characteristics of aluminum/chromium/tungsten-based coating films have not been clarified either.

In this study, to clarify the tool wear mechanism of the aluminum/chromium/tungsten coating film for cutting hardened

sintered steel, SEM observation and EDS mapping analysis were carried out on an abraded surface. Furthermore, the characteristics of aluminum/chromium/tungsten-based coating films were investigated.

The following results were obtained:

- (1) The main wear mechanism of both the (Al60,Cr25,W15)(C,N) and the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coating films was considered to be abrasive wear.
- (2) The micro-hardness of the (Al60,Cr25,W15)(C,N) or the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coating film was 3080 HV0.25N or 3050 HV0.25N, respectively.
- (3) The critical scratch load of both the (Al60,Cr25,W15)(C,N) and the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coating films was over 130 N.
- (4) The mean value of the friction coefficient of the (Al64,Cr28,W8)(C,N) coating film, 0.53, was smaller than that of the (Al60,Cr25,W15)(C,N) coating film, 0.63.

### References

- [1] Tadahiro Wada, Koji Iwamoto, Hiroyuki Hanyu and Kinya Kawase, "Tool wear of (Al,Cr)N coated cemented carbide in cutting sintered steel", Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, Vol. 58, 2011, pp.459-462 (in Japanese).
- [2] Tadahiro Wada, Mitsunori Ozaki, Hiroyuki Hanyu, and Kinya Kawase, "Tool Wear of Aluminum-Chromium Based Coated Cemented Carbide in Cutting Hardened Sintered steel", IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 6, No. 3, 2014, pp.223-226.
- [3] Tadahiro Wada and Hiroyuki Hanyu, "Tool Wear of Aluminum/Chromium/Tungsten-based-coated Cemented Carbide in Cutting Hardened Sintered Steel", Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Properties of Materials(ICMPM 2014), December 18 - 20, 2014.

---

\* OSG Corporation

# 情報工学科 情報処理実習室の利用状況報告（平成 25 年度、平成 26 年度）

西野 貴之

Usage reporting of Information processing training room of an Information Engineering department.  
(2013 and 2014)

Takayuki NISHINO

## 1. はじめに

情報工学科の情報処理実習室には、情報リテラシやプログラミングなどの情報教育に使用されている計算機システムがあり、各種サーバおよび端末装置から構成されている。本稿は、本システムの平成 25 年度および平成 26 年度の利用状況について報告する。

## 2. システム概要

情報処理実習室の計算機システムは、以下のとおりである。

- ドメインコントロールサーバ（ライセンス認証サーバ兼）1 台
- e-Learning システム 1 式
- ファイルサーバ 1 台
- 端末 50 台（Windows Vista / FreeBSD）
- レーザプリンタ 2 台
- ビデオプロジェクター 1 台
- 書画カメラ 1 台

## 3. e-Learning システムの開講数

e-Learning システムは、平成 26 年 4 月から新 e-Learning システムに移行した。旧 e-Learning システムの開講数と新 e-Learning システムの開講数を表 1 に示す。

表 1： e-Learning システムの開講数

	開講時期				合計
	通年	前期	後期	その他	
旧 e-Learning システム	7	0	0	4	11
新 e-Learning システム	9	0	3	5	17

e-Learning の開講時期のその他は、プログラミングの不可解消や各種アンケート調査などによる利用である。e-Learning システムの移行に伴い、開講数は新たに 6 科目増加した。

## 4. 情報処理実習室の利用状況

平成 25 年度および平成 26 年度の情報処理実習室の利用状況を表 2 に示す。

表 2： 情報工学科 情報処理実習室使用状況

年度等 曜日	平成 25 年度			平成 26 年度		
	時限	前期	後期	時限	前期	後期
月	1	3I109	2I108	1	4I110	4I110
	2			2		
	3	4I110	4I110	3	5I132	
	4			4		
	5	3I119	4I121	5		3I118
	6			6		
	7	4I121	2I136	7	3I118	2I135
	8			8		
火	1	3I120	5I132	1	4I121	5I132
	2			2		
	3	2I108		3	2I108	3I109
	4			4		
	5			5		
	6			6		
	7			7		
	8			8		
水	1	5I142	1I107	1	3I109	3I119
	2	[選択]		2		
	3	4I124	3I109	3	S2E117	3I109
	4			4		
	5	4I138	4I138	5	4I137	4I137
	6			6		
	7			7		
	8			8		
木	1			1		
	2			2		
	3			3		
	4			4		
	5		3I119	5		
	6			6		
	7			7		
	8			8		
金	1	1I107		1	1I107	
	2			2		
	3	2I113	2I113	3	2I113	5I145 [選択]
	4			4		2I113 (center)
	5	5I132	5I134	5	3I120	1I107 (LL)
	6			6		
	7	5I134	3I120	7	4I124	4I121
	8			8		

表2中の文字はシラバスの科目コードを示しており、網掛けている科目は、情報処理実習室でWindowsを使用している科目である。網掛していない科目は、FreeBSDを使用している科目や情報工学科の情報処理実習室以外の教室で行われる授業である。平成26年度から一部の授業が情報処理センターやLL教室で行われることに伴い、情報工学科のe-Learningシステムを情報処理センターやLL教室からも利用できるようにe-Learningシステムの設定変更を行った。

情報処理実習室では、OS起動時の選択画面でWindowsを選択すると、使用者と使用端末およびログオン/ログオフ日時をドメインコントロールサーバに記録する。本稿では、ドメインコントロールサーバに記録されたWindowsシステムの利用状況について集計を行った。

月別の利用者人数を図1に示す。

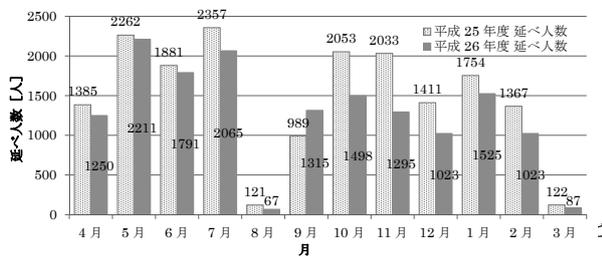


図1：情報処理実習室のWindowsシステムの月別利用者人数

公開講座や産学連携事業などの各種行事によるものである。情報処理実習室の利用は、平成26年度【後期】から、2教科(1I107、2I113)が情報処理センターおよびLL教室に移行したことにより、利用が減少した。

曜日別の利用者人数を図2に示す。

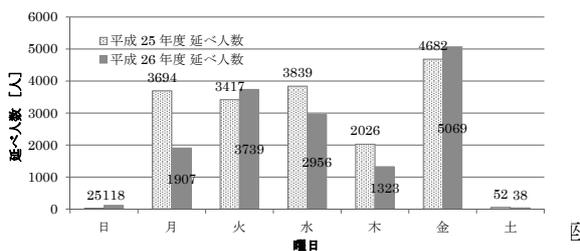


図2：情報処理実習室のWindowsシステムの曜日別利用者人数

や産学連携事業および入試説明会などの各種行事によるものである。また、木曜日の利用は、平成25年度【後期】の授業を除くと、課題提出などによるものである。

学年・グループ別の利用者数を図3に示す。

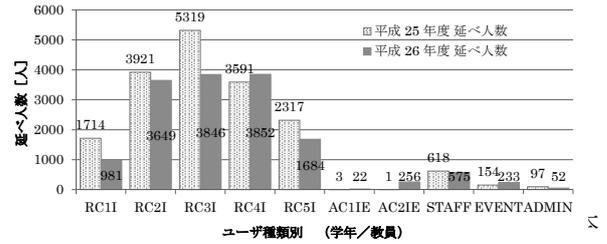


図3：情報処理実習室のWindowsシステムの学年・グループ別利用者人数

科生(RC1I~RC5I)であり、専攻科生や第5学年は、課題の提出はe-Learningシステムを研究室からでもアクセスできるため、主に授業だけの利用である。

### 5. 情報処理実習室のレイアウトと特徴

情報工学科の情報処理実習室のPCのレイアウトを図4に示す。

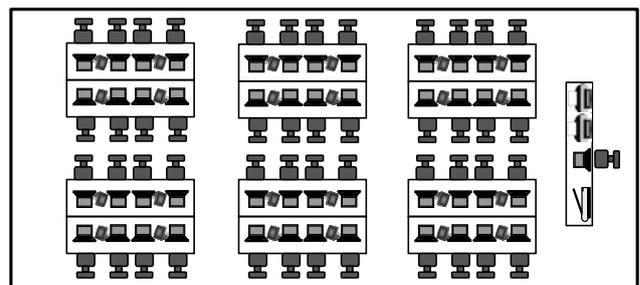


図4：情報工学科の情報処理実習室のレイアウト

情報工学科の情報処理実習室は、図4に示すように学生が向かい合って着席するレイアウト構成で、教員のPC画面や書画カメラ画像を表示する教材提示用ディスプレイを設置している。

学生は手元にあるディスプレイ切替器で提示ソースを切り替えることができる。また、各端末にはプログラミングなどのオンライン試験を考慮し、覗き見防止フィルターを設置している。

### まとめ

情報処理実習室の平成25年度および平成26年度の利用状況について月別、曜日別、ユーザ別に集計を行った。情報処理実習室の稼働率は、平成26年度【後期】から一部の授業がセンターやLL教室に移行したが、それでも高い傾向にある。平成27年度からは、プログラミングⅢと情報工学実験Ⅲ以外の授業がセンター(マルチメディアやLL教室など)で行われる。今後は、今後は、FreeBSDの利用状況を含めた集計と学生の利便性などを考慮しアカウントの統合などについて検討する必要がある。

奈良工業高等専門学校 研究紀要第51号

平成 28 年 3 月

編集兼  
発行者

奈良工業高等専門学校  
大和郡山市矢田町22

## RESEARCH REPORTS

NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY , Nara College

NO.51,2015  
CONTENTS

Aging/Weathering with 3D Computer Graphics .....	Toshio HIRA .....	1
Contribution Education Using Extracurricular Activities ... Hiroshi FUKUOKA, Kenji KODAMA, Yukinori TANIGUCHI, Shinichi ENOKI, Kazuki HIRO and Masanori YAO .....		7
Spinnability of Various Au-Based Binary Alloys in Rotating-Water-Spinning Process .....	Mitsuyoshi SHIMAOKA .....	12
Development of a Satellite Data Delivery and Sharing System for Student CubeSat Projects III .....	Fumio ASAI .....	18
Visual Programming Lecture for Junior and High School Students .....		
..... Toshie MATSUMURA, Shinji UCHIDA, Takayuki NISHINO and Ken'ichi MATSUO .....		21
Amphicheirality of ribbon 2-knots IV .....	Tomoyuki YASUDA .....	26
Hidetsugu Toyotomi,Hideyoshi, Mokujiiki Ogo in 1595 .....	Katsuhiro SETA .....	30
Abstracts .....		40
Usage reporting of Information processing training room of an Information Engineering department. (2013 and 2014) .....	Takayuki NISHINO .....	43