

# 研 究 紀 要

第 56 号

令和二年度

奈良工業高等専門学校

# 目 次

## 論文

3次元コンピュータグラフィックスにおける経年変化の表現（ワークフローの確立）	平 俊男	1
SDGsの達成に資する機械工学教育に関する研究調査	須田 敦 野林多美子 室卷 孝郎	11
施設園芸用パイプハウスの風被害に関する研究（3Dモデルを用いた解析による検討）	森川 建太 高尾 春花 須田 敦 野林多美子 榎 真一 室卷 孝郎 吉岡 剛志	21
認知症予防を目的とした握力低下防止機器の開発 —奈良高専学生アイデアチャレンジにおける機器設計および開発—	門田 大陸 末永 共助 福田 泰士 林 航平 宮本 拓歩 松本 高輝 須田 敦 谷口 幸典	30
小径白金球のポリマー水溶液中への浸漬時の強制対流膜沸騰におけるMHF点温度と蒸気膜崩壊様相	島岡 三義 中村 篤人 池田 修啓	35
19世紀英国におけるバドミントンの普及に関する研究 —『フィールド』紙（1873～1877年）の記事及び広告の概要について—	松井 良明	43
「湯山三吟」の新注解	勢田 勝郭	75

## 抄録

Cutting Performance in Threading Turning and Grooving Turning of Ti-6Al-4V Alloy with a High-Pressure Coolant Supply	和田 任弘	76
CUTTING PERFORMANCE IN GROOVING TURNING OF SUPER HEAT-RESISTANT ALLOY INCONEL 718 WITH A HIGH-PRESSURE COOLANT SUPPLY	和田 任弘	77
Wear Mechanism of Multilayer AlCrWN/AlCrWSiN-coatings on Cemented Carbide Tools Prepared by Arc Ion Plating in Dry Cutting of Hardened Sintered Steel	和田 任弘 羽生 博之	78
Chip Breakability in Turning of 7075 Aluminium Alloy with a High-Pressure Coolant Supply	和田 任弘 山口 拓朗 森合 勇介	79
Tool Wear of (Al,Cr,W)/(Al,Cr,W,Si)-Based-Coated Cemented Carbide Tools in Cutting of Hardened Steel	和田 任弘 新田 章圭 藤原 順介	80

## 資料

「論理力を試そう！」テストの実施・分析——本校生の読解力を見る——	鍵本 有理	81
-----------------------------------	-------	----

## 3次元コンピュータグラフィックスにおける経年変化の表現 (ワークフローの確立)

平 俊男

Computational Aging/Weathering on 3D Computer Graphics: Establishing a Workflow

HIRA Toshio

Three dimensional computer-generated images have been more photorealistic through the remarkable advance within both computer hardware and software in a decade. As a result, 3D computer graphics (3D CG) have become a popular way to create product images for design review and in consumer advertising. These virtual images always depict the brand-new products just been shipped, since these are rendered as smooth and clean objects. Besides, virtual reality (VR) and augmented reality (AR), which renders the digital images onto the real-world object in real-time, have been installed in smartphones and anyone would have been able to access these technologies easily. The smooth and clean 3D CG mentioned above is far from the actual appearance of the object. This is suitable for advertising images, but it is expected to cause an unnatural appearance in AR, where a digital 3D model is displayed in the real environment, because the appearance of real object have been varied to dirty one during its use.

In this paper, we show the workflow to produce the 3D CG having weathered and aged appearance without individual artistic ability. It is observed on the tools in use that the dust and/or rust is accumulated in the concave area and worn or paint chipping is shown in the convex area on the object. In the workflow, texture images, used as the input to Physically Based Rendering material, are generated by spatially evaluated exposedness or occludedness on the object surface by means of the ambient occlusion in the CG technique. We demonstrate the procedures to generate the aged images through the 3D rendering of some tools, anvil, hammer, and height gauge, and to create the model for AR.

### 1 はじめに

3次元コンピュータグラフィックス(3D CG)による表現は、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、近年、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の作成手段として3D CGは広く定着したといえる。また、リアルタイムに3Dモデルを描写するVR (Virtual Reality)やAR (Augmented Reality)がスマートフォンに搭載されるようになり、これらの技術に誰もが容易に触れられるような状況にある。

広告画像にみられる3D CGでは、出荷直後の製品のようには、いわゆる綺麗で鮮やかな状態の表現が多くみられる。一方で、実際の製品には使用に伴う錆や塵による汚れ、摩耗や塗装の剥がれなどが生じているため、実環境の拡張であるARなどで用いられる3Dモデルの外観には、経年変化の考慮が必要となる。

3D CGにおける経年変化の考慮は、これまで様々な手法が試みられ、学術的には計算コストを伴う手法<sup>(1)</sup>が、実用的にはアートの要素を含む属人的な技法<sup>(2)</sup>が主にとられてきた。本研究では、比較的小さな計算コストで属人的な要素を伴わない経年変化表現を実現するためのワークフローを検討し、その確立を目的とする。なお、物

理的現象としての経年変化のシミュレーションを目指すのではなく、ARなどで用いるための経年変化を反映した3Dモデルの生成に主眼をおいている。

### 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、2017年度の本科5年生が作成した3Dモデルを用いて著者がレンダリングを行ったものであり、個人レベルでも比較的写実的な描写が得られるようになっている。このような3Dモデル、3D CGの個人レベルでの利用は、3Dプリンタの普及やVR、AR技術を利用したスマートフォン上のアプリケーションの展開などに伴ってさらに広がりを見せ、3Dモデル共有サービス<sup>(3)</sup>も数多くみられるようになってきた。

一方で、3D CGの描写の多くは図2に示すような道具の実物からは程遠い。このことは、出荷直後の製品を想定している広告画像等では問題とならないが、実環境に3Dモデルが合成して表示されるARなどでは違和感をもたらすことが予想される。その理由の一つには製品外観の経年変化が挙げられ、たとえば図2(a)のアンビル(金床)や(b)のボールピンハンマ(金工ハンマ)では、錆や塵による窪んだ個所での変色や、他の物体との接触が発生する箇



Fig. 1 3D Rendered Guitar

所での摩耗による金属的光沢などがみられる。また、図2(c)のハイトゲージの台では、人に握られる個所で塗装の剥がれがみられる。したがって、より現実的な3D CGの作成にあたっては、これらの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。これらを3D CGにおいて再現するためには、錆などの汚れを手作業で付加することや、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、これらの手法は、アートの要素を多く含み、誰もが容易に習得できるものではない。また、多大なコストがかかることから、エンタテインメント産業などの限られた分野でしか現実的ではない<sup>(4)</sup>。

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>(5)</sup>を示している。この手法では、人手を介さない経年変化の描写が可能であるが、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必要がある。Cheng らは、より広い範囲の経年変化を再現するために、 $\gamma$ -ton と呼ぶ仮想的な粒子を用いる手法を提案している<sup>(6)</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、跳ね返り、流れを経た後に物体表面に定着する。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形状変化が再現



(a) Anvil



(b) Ball-peen hammer



(c) Height gauge (base)

Fig. 2 Really aged tools in use

できる。このような仮想的な粒子を用いる手法は、雨染みのシミュレーション<sup>(7)</sup>や地形の浸食の解析<sup>(8)</sup>など広く展開されている。

著者らは、機械製品を例にとり、物体の幾何形状をボクセルモデルとして表現し、各ボクセルに対する環境遮蔽度を評価することで、主に錆による経年変化を表現する手法を提案している<sup>(9)</sup>。この手法では、計算コストは減少させられるものの、最終的な物体形状の表現がボクセルモデルであるため、3D CGの写実性が乏しいという課題があった。

### 3 経年変化に対する物体形状の影響とその評価

#### 3.1 経年変化に対する物体形状の影響

図2に示した実環境で使われている道具を観察すると、窪んだ部分には汚れや錆、凸な部分には塗装の剥がれや摩耗などがみられる。これらの原因としては、窪んだ部分を拭うことが容易ではないために錆や塵が残留しやすくなること、また油分なども同様に除去されにくくなるために塵などが固着しやすくなることが挙げられる。一方で、凸な部分は他の物体との接触が生じ、物体に防錆膜処理がされている場合には摩耗による金属地肌の露出が、塗装の場合には塗膜の剥がれが生じやすい。ただし、これらの傾向は一概にはいえず、屋外環境で用いられる鋼橋では、鋼板エッジやボルトの角部などの凸な部分から発錆することが知られている。この原因は、道具の例のような他の物体との接触ではなく、塗装膜厚が角部で薄くなる傾向によるものであることが報告されている<sup>(10)</sup>。いずれにせよ、経年変化の表現にあたっては物体形状の凹凸度の評価が鍵となり、ここでは、前報と同様に環境遮蔽(ambient occlusion, AO)の利用を考える。

3.2 環境遮蔽

環境遮蔽とは、3DCG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手法である。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、

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

と表される。ただし  $x, n$  は、それぞれ物体表面上の注目点、法線ベクトルを表す。 $V(x, \omega)$ は可視関数であり、注目点  $x$  から  $\omega$ 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>。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。図3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。

3DCGでは、この環境遮蔽係数  $A$  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。

3.3 3次元形状のデータ表現

3次元物体の形状(図4(a))のデータ表現には、ポリゴンやファセットと呼ばれる多角形の集合として表すポリゴンモデル(図4(b))や、立方体の集合として表すボクセルモ

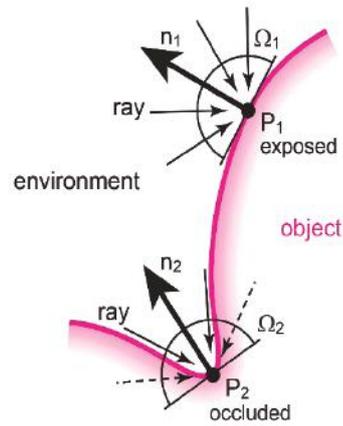


Fig. 3 Concept of Ambient Occlusion

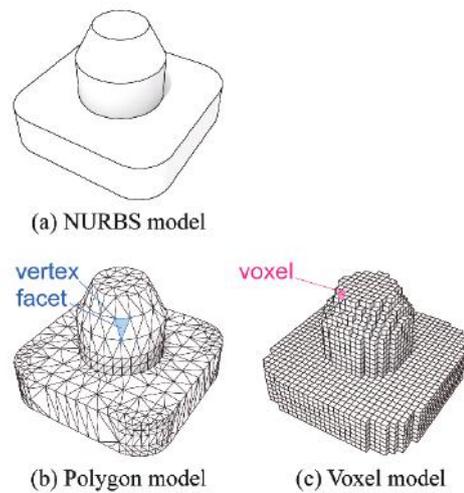


Fig. 4 3D shape models

デル(図4(c))が用いられる。ポリゴンモデルは、頂点や面に保持される法線情報を用いることで、ボクセルモデルに比べると相対的に滑らかな形状表現が得られる。しかしながら、ある点が物体の内部なのか外部なのかを知るためには、その点がポリゴンによって完全に囲まれているかどうかを判定する必要がある。

ポリゴンモデルは、 $N$ 個の頂点座標  $v_n = (v_{nx}, v_{ny}, v_{nz})$  ( $n = 1, \dots, N$ )と、 $M$ 個のポリゴン  $f_m$  ( $m = 1, \dots, M$ )を持つ。ここでは各ポリゴンを三角形に限定し、3つの頂点によって  $f_m = (v_{m1}, v_{m2}, v_{m3})$  ( $v_{mk} \in \{v_n\}, k = 1, 2, 3$ )と表す。このとき、標準的なデータ形式に従い三角形の頂点を物体外側からみて反時計回りとなるような順番に記述する。さらに、各頂点は3Dモデルを2次元のUV平面上に展開(図5)した際のUV座標  $t_n = (t_{nu}, t_{nv})$  ( $n = 1, \dots, N$ )や、レンダリングの際にスムーズな外観を得るために用いられる法線ベクトル  $n_n = (n_{nx}, n_{ny}, n_{nz})$ を持つ。

ボクセルモデルは、物体を内包する空間を立方体によって格子状に区切り、 $x$ 方向に  $i$ ,  $y$ 方向に  $j$ ,  $z$ 方向に  $k$

を用いて  $e_{ijk} \in \{0, 1\}$  と表す. このとき, 添え字  $ijk$  が指す立方体が物体の内部であれば 1, 外部であれば 0 である.

### 3.4 ポリゴンモデル上の環境遮蔽の評価

環境遮蔽の評価にあたり, 前報<sup>(9)</sup>ではボクセルモデルに基づいていたが, その評価を反映する経年変化の表現をボクセルモデル上に行っていたために 3D モデルの空間解像度が低いという課題があった. 本報では, 遮蔽度の評価にはボクセルモデルを用い, その反映にはポリゴンモデルを用いることを試みる.

ポリゴンモデルの頂点  $v_n$  における環境遮蔽度の評価にあたり, 頂点を中心とする半径  $R$  の仮想的な球を設け, その内部に  $I$  個のサンプリング点  $P_i = (P_{ix}, P_{iy}, P_{iz})$  ( $i = 1, \dots, I$ ) を, 3つの一様乱数  $\theta$  ( $0 < \theta < 2\pi$ ),  $z$  ( $-1 < z < 1$ ),  $r$  ( $0 < r < R$ ) によって以下のように生成する.

$$\begin{cases} P_{ix} = v_{nx} + r\sqrt{1-z^2} \cos \theta \\ P_{iy} = v_{ny} + r\sqrt{1-z^2} \sin \theta \\ P_{iz} = v_{nz} + rz \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

ここで, サンプリング点の分布は仮想球中心からの半径反比例するような密度となる.

頂点  $v_n$  における遮蔽度  $O_n$  は, サンプリング点  $P_i$  が物体の内部か外部かを返す 2 値関数 (0 が外部, 1 が内部)  $e(P_i)$  を用いて以下のようになる.

$$O_n = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I e(P_i) \dots\dots\dots (3)$$

ポリゴン  $f_m$  は, 複数の頂点から構成されるので遮蔽度を複数持つことになるが, ここでは単純に 3つの頂点の遮蔽度の平均をそのポリゴンの遮蔽度とする. なお, ここで設定するサンプリング数  $I$  は, 経年変化過程のランダムさを調整するパラメータとしての意味も持つ.

以上の過程を図 6 に模式的に示す. この図では, 右側に物体が存在し, 左側が環境である. 物体表面はポリゴンメッシュによって表現され (図中青色の折線), さらに物体内部はボクセル化されている. 頂点  $v_1, v_2$  を中心に仮想球  $\Omega_1, \Omega_2$  を設け, それぞれサンプリングを行うと, 頂点  $v_1$  では低い遮蔽度, 頂点  $v_2$  では高い遮蔽度が得られる.

## 4 経年変化表現のためのワークフロー

### 4.1 3D CG 表現で用いられるマテリアル

3次元モデルのCG表現においては, そのマテリアル設

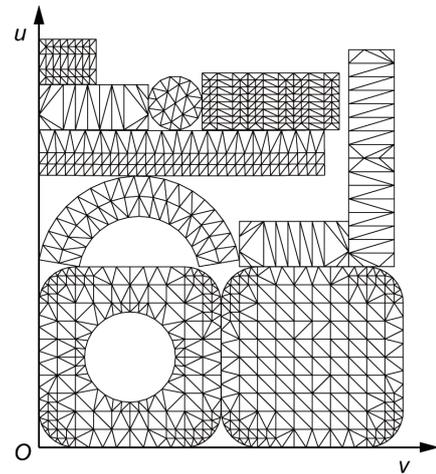


Fig. 5 Unwrapped UV map

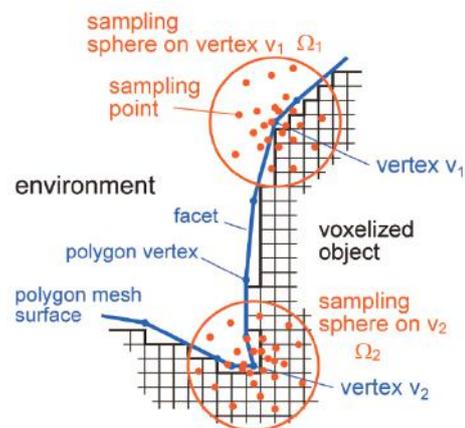


Fig. 6 Voxel-based Ambient Occlusion

定が重要となる. レンダリングに対して十分な計算が行えなかった頃にはアドホックなシェーダが提案されてきたが, 近年では物理ベースシェーダによる物理ベースレンダリング (Physically Based Rendering, PBR) を使うことが標準的になりつつある<sup>(12)</sup>. PBRマテリアルを用いている例としては, 2010年代後半にリリースされた多くの商用ソフトウェア, ゲームエンジンとして広く普及しているUnityやUnreal Engine, フリーのオープンソース3Dツールとして広く用いられているBlender, Pixarによって開発されたUniversal Scene Description (USD)で用いられるマテリアル設定などがある. USD形式はiOSやMac OSでAR環境を提供するARKitでも採用されている<sup>(13)</sup>. このようなマテリアル設定の共通化によって, 3D CGの作成時の各ソフトウェアでのマテリアル設定やモデル共有のコストが軽減されるようになっている.

PBRマテリアルの主要なパラメータとしては, 物体色BaseColor, 表面粗さRoughness, 金属感Metallic, 法線Normal, 透過度Transmissionなどがある. 次節では, 前章の手法で求めた遮蔽度をこれらのパラメータに反映する手順を示す.

## 4.2 遮蔽度に基づくPBR入力画像とレンダリング

### 4.2.1 遮蔽度の評価

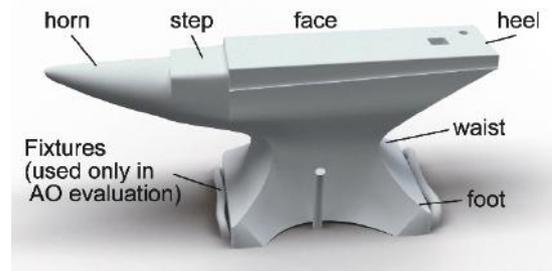
図2(a)で示したアンビルの3Dモデル(図7(a))を作成し、そのモデルに経年変化を反映させたCGを得るまでの過程を以下に述べる。この3Dモデルは、頂点数83934、ポリゴン数149088のポリゴンメッシュモデルである。また、ボクセル化にあたっては、幅、高さ、奥行き寸法のうち最も大きな幅を基準として、空間を $1024^3$ 分割とした。また図7(a)では遮蔽度の評価時のみに考慮する固定用金具も示している。図7(b)はホーン部のポリゴンメッシュの拡大図である。

このポリゴンモデルの各頂点について遮蔽度の評価を仮想球半径 $R$ として物体幅の10%、サンプリング数として $I = 5000$ と $100$ で行った例をそれぞれ図7(c), (d)に示す。これらの図では、遮蔽度8%が青色、遮蔽度70%が赤色に対応している。なお遮蔽度70%を超えるポリゴンが面積比で15%程度存在するが、これらは全てアンビル下面で床面と接触しており通常は見えない部分である。以下に述べるテクスチャ生成では、ランダムさを持たせたサンプリング数100の遮蔽度マップを用いる。

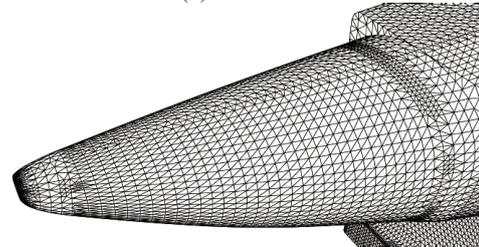
### 4.2.2 遮蔽度に基づくテクスチャ生成

このアンビルの例では、経年変化に伴う発錆を表す表面色、塵やスケール(金属酸化物)の蓄積、使用時の接触による摩耗を表すテクスチャを生成する。レンダリングにあたっては、Blender 2.79b (Blender Foundation) を用いた。図8は、遮蔽度(図中(b))に対応する各テクスチャの色を表しており、たとえば、錆色テクスチャ(図中(c))に対しては遮蔽度18%未満で黒色、70%以上で赤茶色(RGB値(0.753, 0.282, 0.000))とし、塵・スケールテクスチャ(図中(d))に対しては遮蔽度50%以上の窪んだ箇所にグレーを与えている。

3Dモデル各頂点のUV座標 $t_n$ に基づいてUV展開したマップ画像を図9に示す。図中(b)から(d)では、レンダリングに用いる実際の画像では透明のピクセルを紙色との区別のために青色で表示している。各テクスチャ画像は高さ、幅ともに8192ピクセルとして生成し、半径1%のぼかし処理を行っている。図中(b)から(d)はグレイスケール画像であり輝度のみが意味を持つ。図8(e)の摩耗テクスチャに対応している図9(c)のグロスマップではピクセル値が1(白)に近づくほど表面の鏡面反射の度合いが高くなり、遮蔽度が18%未満のポリゴンに適用される。一方で遮蔽度が34%以上のポリゴンではピクセル値が0(黒)となり鏡面反射は起こらない。図9(d)の粗さマップは図9(c)のグロスマップを階調反転させたもので、モデル表面に



(a) 3D model



(b) Polygon mesh

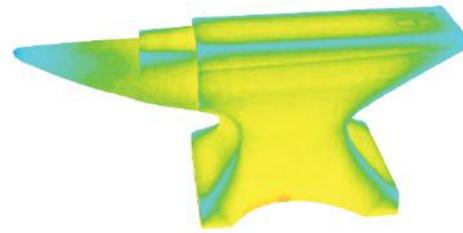
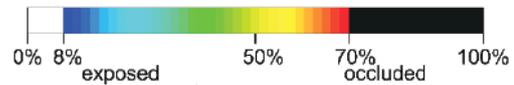
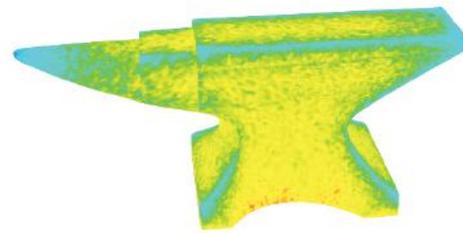
(c) Occludedness on polygons ( $I = 5000$ )(d) Occludedness on polygons ( $I = 100$ )

Fig. 7 Anvil as 3D model

生じさせたパーリンノイズによる凹凸の高さに対してピクセル値を乗算する。すなわち、白色(ピクセル値1)の部分では凹凸高さはそのまま用いられ、遮蔽度が低く(周囲への露出が高く)グレイ(ピクセル値が1未満)の部分では凹凸の高さが小さくなるのが表現される。

### 4.2.3 テクスチャ画像を用いたレンダリング

アンビルのフェイス部以外に、前項で得られたマップ画像をそれぞれPrincipled BSDFの入力としたレンダリング例を図10に示す。錆色マップを用いたレンダリング(図10(a))では、遮蔽度に応じた錆色が表現されている。塵・

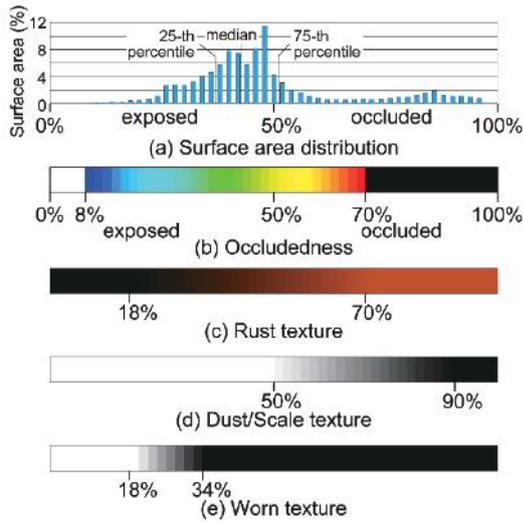


Fig. 8 Color chart w.r.t. occludedness on anvil

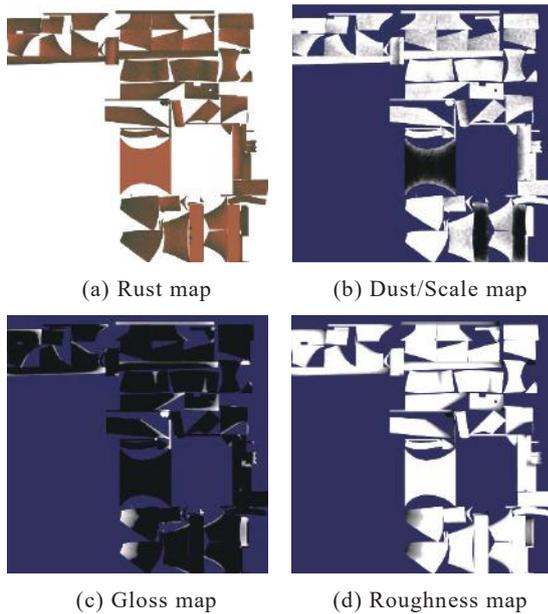


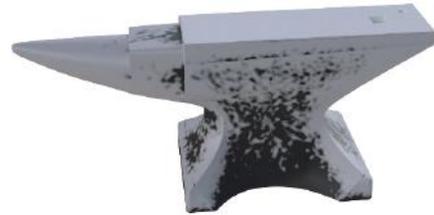
Fig. 9 Texture images used for BSGF input

スケールマップを用いたレンダリング(図10(b))では、塵やスケールが残存しやすくなる遮蔽度が50%以上のくぼんだ箇所や固定具による環境遮蔽が高い個所が黒く表現されていることが確認できる。また、グロスマップを用いたレンダリング(図10(c))では、遮蔽度の低い凸な部分では周囲環境の映り込みが生じている。さらに、アンビルのヒール部などのように遮蔽度が低い個所は粗さマップによって表面の凹凸の度合いが小さくなっている(図10(d))。

これらのテクスチャを合成し、レンダリングした結果を図11に示す。物体周囲の環境マップ画像としては、本校実験実習棟鍛造場を正距円筒図法により撮影したHDR (High Dynamic Range) 画像(図12)を用いている。この画像はピクセル階調として32ビットのレンジを持ち、鏡面反射をする3Dモデルへの映り込みや照明のために



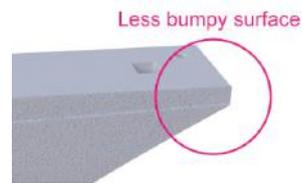
(a) With rust texture



(b) With dust texture



(c) With gloss texture



(d) Effect of Roughness texture

Fig. 10 3D rendered images with texture maps



Fig. 11 Synthesized 3D CG image with aging



Fig. 12 Equirectangular image for environment map



Fig. 13 Ball-peen hammer as 3D model

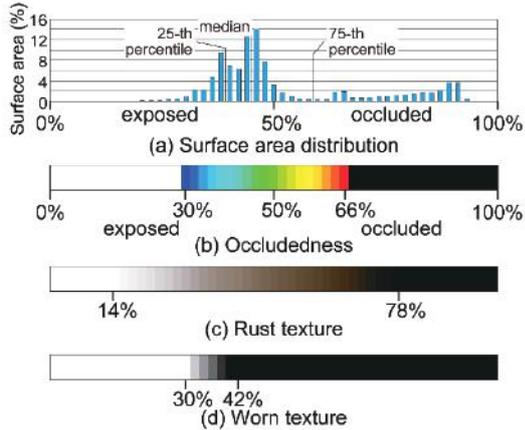


Fig. 14 Color chart w.r.t. occludedness on hammer

参照される。

### 4.3 他の道具に対する経年変化表現

#### 4.3.1 ボールピンハンマ

図2(b)に示したようなボールピンハンマの3Dモデル(図13)を作成し、経年変化を表現する。このモデルは、頂点数70995, ポリゴン数131854のポリゴンメッシュモデルである。また、ボクセル化にあたっては、幅、高さ、奥行きのうち最も大きな幅を基準として、空間を $1024^3$ 分割とした。なお柄の木材のマテリアルにはGabriel de Laubier氏作成のProcedural PBR wood shader (CC0ライセンス)<sup>(14)</sup>を用いている。

遮蔽度の評価にあたり、仮想球半径 $R$ を物体幅の10%とし、サンプリング数 $I$ を1000とした。図14に遮蔽度に対応する(a)表面積比, (b)評価色, (c)錆色, (d)摩耗度をそれぞれ示す。アンピルの例と比べると、遮蔽度の低い箇所が少ないことが特徴である。経年変化の表現にあたっては、まず図15(a)のように経年変化のない表面色(RGB値(0.251, 0.267, 0.275))と粗さパラメータ0.2を物体表面に一律に与える。次に、錆色は前節と同様に生成した錆色マップの色相, 彩度を物体表面に重ねたものをBaseColorとし、錆色マップをグレイスケール画像に変換後に反転させたものを表面粗さRoughnessとしてBSDFに入力する(図15(b))。後者は一般的に発錆部の表面は粗く艶が失われていることを表現している。最後に、摩耗度(図14(d))



(a) Initial material



(b) Rust and roughness



(c) Worn texture (Final peen view)



(d) Worn texture (Final face view)

Fig. 15 Aging process with textures

に応じたグロスマップを適用することで、凸な表面を持ち摩耗が進んだ箇所に周囲環境の映り込みが生じるようになる(図15(c), (d))。

#### 4.3.2 ハイトゲージの台(塗装の剥がれ)

図2(c)に示したようなハイトゲージの台には、使用時に人に握られることによる塗装の剥がれがみられる。経年変化としてここまで主に扱ってきた発錆とはスケールが異なるため、遮蔽度を用いることは共通であるが、テクスチャ画像の取扱いが異なる。ここでは異なる部分

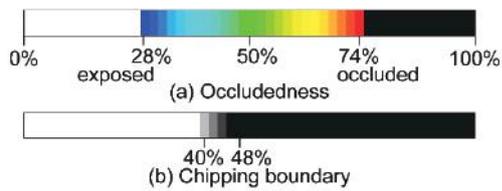


Fig. 16 Color chart on height gauge base

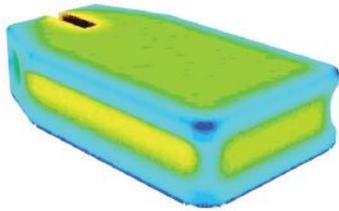
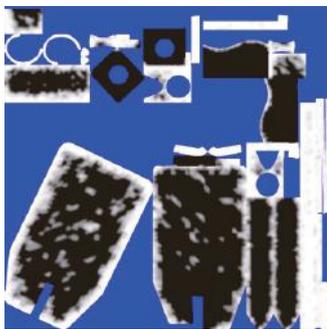


Fig. 17 Occludedness on 3D model



(a) Reference gradation for chipping map

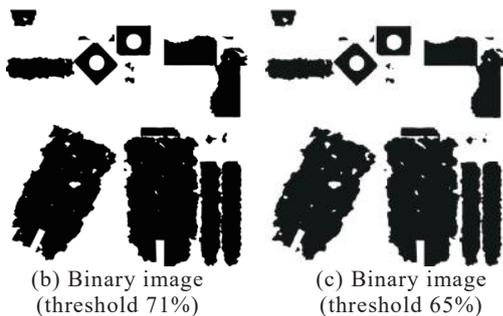


Fig. 18 Chipping map

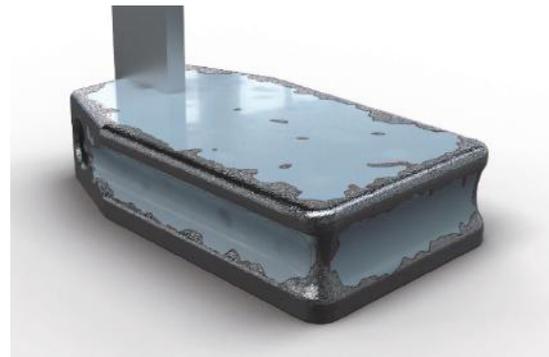
に焦点を絞って述べる。

遮蔽度に応じて図16(a)に示した色を割当てた3Dモデルの外観を図17に示す。次に遮蔽度が40%未満のポリゴンに白、48%以上のポリゴンに黒を割当てたUVマップ画像にぼかし処理を行い、剥がれ参照画像(図18(a))を得る。このとき、3Dモデルのメッシュ分割は相対的に粗くしており、頂点数11781、ポリゴン数28622である。また、遮蔽度評価のサンプリング数 $I=100$ としランダムさを高くしている。

図18(a)の剥がれ参照画像に対して、閾値71%、65%として2値画像(図18(b), (c))を得る。これらの2値画像は剥がれが生じているかどうかを参照するために利用することができ、ここでは図18(b)を防錆塗料の領域、(c)を塗装領域として取扱う。また塗装膜には厚みがあるため、これ



(a) Front side view



(b) Tail view

Fig. 19 3D images with chipping

らの画像の白黒を反転させたものを高さマップとする。以上のマップ画像を適用して得られたレンダリング画像が図19である。

#### 4.4 レンダリング画像に関するまとめ

経年変化を考慮した3D CGの作成にあたり、3Dモデル外観を表す画像を遮蔽度のみから得ることができることを示した。この手法によって汚れなどの経年変化を表現する外観画像を人が描くという工程がなくなり、人の技量に左右されない3D CGが得られる。

一方で、アンビルの例(図11)では、3Dモデルを構成する曲面の境界部で輪郭が目立つ結果となっている。本手法では、ポリゴン単位で遮蔽度に対応した色を決定しているため、より滑らかなグラデーションが得られるようにUV展開された画像上でぼかし処理をおこなっている。この際、3次元空間上での近傍関係がUV空間においても保たれるとは限らないために、離れた位置の色情報が混ざることが原因であると考えられる。

ここでとりあげたアンビルやハンマのような道具の実物では、使用に伴って塑性変形や打ち傷が生じる。また、打面は摩擦によって磨かれたような質感をもつことが多い。そのため、ハンマの打面を示した図15(d)のように、他の表面と同様の発錆表現では、現実感がやや失われる結果となる。したがって、経年変化表現の次の段階とし

ては幾何形状だけではなく、人による使用形態の考慮が必要となる。

#### 4.5 USD形式によるARでの利用

ボールピンハンマの3Dモデル(図13)をもとに、4.3.1項と同様に遮蔽度に対応したディフューズ色、金属感、表面粗さのマップ画像(図20. 図中青色は透明ピクセルを表す)を生成し、Apple社の提供するUSDZ Tools<sup>(15)</sup>によってUSD形式の3Dモデルを得る。この形式で記述された3Dモデルは、iOSを搭載するiPhoneやiPadなどの携帯端末の標準機能でAR表示が可能である。AR表示では、携帯端末上で自己位置推定を行いリアルタイムに3Dモデルの外観描写が更新される。

窓際にハンマをAR表示させた例を図21に示す。4.3節に述べた静的な3D CGとは照明モデルが異なるため、色味等の調整が未だ必要な段階ではあるが、ハンマの影が窓枠に描写されていること、窓枠の黄色の塗装の映り込みがハンマ下面の摩擦部に生じていることが確認できる。

## 5 おわりに

経年変化を伴う3D CGの作成にあたり、3Dモデル表面の遮蔽度を評価し、遮蔽度に対応したテクスチャ画像を作成するワークフローを示した。表面形状の凹凸の度合を示す遮蔽度の分布からは、(1)錆や塵による汚れを反映する画像、(2)摩擦の程度を反映する画像、(3)汚れによる表面粗さの変化を反映する画像、(4)塗装の剥がれを反映する画像が得られ、これらはPBRマテリアルの入力やARモデルのマップ画像として利用できる。なお、ここで示した手法は対象物体の幾何形状のみを考慮しており、ハンマやアンピルの打面(フェイス)に生じる摩擦や塑性変形、打痕などは表現されない。今後、より現実感を持つ経年変化を表現するためには、人による使用形態の考慮が課題となる。

なお、ポリゴンモデルに遮蔽度を反映させるソフトウェアの基本的な実装については小林陸君(2018年度本科5年)、摩擦による周辺環境の映り込みに関する検証については山岡遼平君(2019年度本科5年)の協力を得た。記して謝意を表す。

## 文 献

- (1) たとえば, Merillou, S. and Ghazanfarpour, D., "A Survey of Aging and Weathering Phenomena in Computer Graphics," *Computers & Graphics* 32, (2008), pp.159-174.
- (2) たとえば, 宮田一乗, プロシージャル技術とデザイ

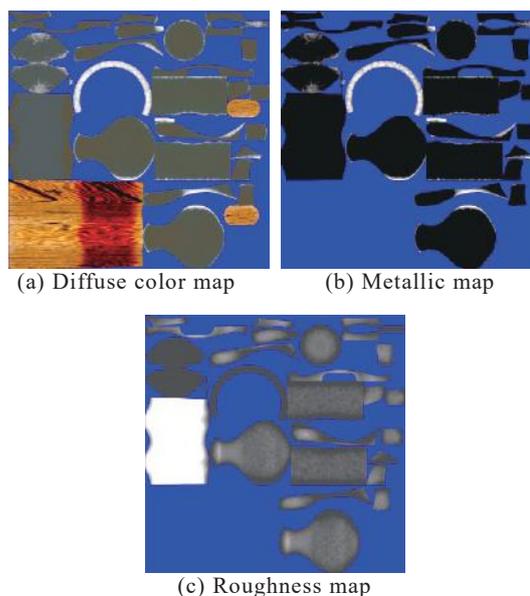


Fig. 20 Images for PBR materials on USD



Fig. 21 Ball-peen hammer in AR view

- ン, デザイン学研究, Vol.17-3, No.67, (2010), pp.22-29.
- (3) たとえば, AUTODESK, オンラインギャラリー, <https://gallery.autodesk.com/projects/> (参照日2020年9月27日).
- (4) Dorsey, J., Pedersen, H.K., and Hanrahan, P., "Flow and Changes in Appearance," *ACM SIGGRAPH 1996*, (1996), pp.411-420.
- (5) Dorsey, J. and Hanrahan, P., "Modeling and Rendering of Metallic Patinas," *ACM SIGGRAPH 1996*, (1996), pp.387-396.
- (6) Chen, Y., Xia, L., Wong, T-T., Bao, H., Guo, B., and Shum, H-Y., "Visual Simulation of Weathering By  $\gamma$ -ton Tracing," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 24.3 (2005), pp.1127-1133.
- (7) 田中将貴, 床井浩平, 粒子法による雨染みのシミュ

- レーションの GPU による高速化, 芸術科学会論文誌, Vol. 12, No.3, (2013), pp.124-131.
- (8) 大坪晃輔, 草間晴幸, 粒子法による 3 次元地形の浸食解析プログラムの開発, 芸術工学への誘い, Vol.19, (2014), pp.47-56.
- (9) 平 俊男, 3D Computer Graphics における経年変化表現, 奈良高専研究紀要, 第 51 号, (2015), pp.1-6.
- (10) 清水善行, 伊藤義人, 金仁泰, 角部形状が鋼橋防食性能に与える影響に関する基礎的研究, 構造工学論文集 Vol.53A, (2007), pp.825-833.
- (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) Hery, Christophe and Villemin, Ryusuke, “Physically Based Lighting at Pixar,” *ACM SIGGRAPH Courses*, (2013).
- (13) Apple, 「Apple、ARKit2を発表」, <https://www.apple.com/jp/newsroom/2018/06/apple-unveils-arkit-2/> (2018) (参照日2020年9月27日).
- (14) de Laubier, Gabriel, “Procedural CC-0 PBR wood shader,” <https://www.blendernation.com/2017/10/20/procedural-cc-0-pbr-wood-shader/> (参照日 2020 年 9 月 27 日).
- (15) Apple, “Working with USD,” <https://developer.apple.com/wwdc19/602> (2019) (参照日 2020 年 9 月 30 日).

# SDGs の達成に資する機械工学教育に関する研究調査

須田敦, 野林多美子\*, 室巻孝郎\*\*

Research and Investigation on Mechanical Engineering Education for Contribution of the Achievement of SDGs

Atsushi SUDA, Tamiko NOBAYASHI\*, Takao MUROMAKI\*\*

SDGs の達成に向けた機械工学の授業について報告する。国公立問わず全国の高等専門学校のシラバスには、2020 年度では SDGs 関連の記載が 141 件あった。奈良工業高等専門学校機械工学科 5 年生の機械設計工学演習における、3 ステップ導入授業の一例を示す。第 1 ステップはカードゲームを用い、第 2 ステップは新聞記事から SDGs に関連する記事を探し、第 3 ステップは企業技術者と SDGs に関する討論を行うワークショップを実施した。学生にとっては企業技術者と触れ合う良い刺激になり、企業技術者ならではの視点での話を聞ける良い機会となった。グループによっては学生が企業技術者に SDGs を説明する場面もあり、知識の定着も認められた。レポート内容を新聞記事として発行した。学生への意識調査では「9. 産業と技術革新の基盤をつくろう」および「11. 住み続けられるまちづくりを」が同率でもっとも関心度が高かった。

## 1 はじめに

SDGs (えす・でいー・じー・ず, Sustainable Development Goals, 持続可能な開発目標) とは 2015 年 9 月の国連サミットで採択された、「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」<sup>1)</sup>にて記載された 2016 年から 2030 年までの国際的な行動指針である。世界各国で様々な取り組みがなされ、毎年 Sachs らによって持続可能な開発目標達成に向けた各 SDG に対する現状分析がなされ公表されている<sup>2)</sup>。日本国内では関係省庁が連携し政府一体となった取組を可能にする実施体制として、2016 年 5 月に内閣に SDGs 推進本部を立ち上げた。SDGs 推進本部は「持続可能で強靱、そして誰一人取り残さない、経済、社会、環境の統合的向上が実現された未来への先駆者を目指す」<sup>3)</sup> というビジョン(実施指針)を掲げている。

本稿ではこのような背景を考慮し、SDGs の達成に工学がいかに貢献するかを研究調査する。工学の関連する学問領域は機械工学分野のみならず学際的な分野もあり非常に幅広い。さらに、教育機関から産業界に至るまで広範囲の階層が関わっている。特に機械工学の多様性を、次世代の学術、産業および社会を担う学生らと議論する SDGs の達成に向けた奈良工業高等専門学校機械工学科の授業について報告する。

## 2 SDGs とは

SDGs の前身に MDGs (えむ・でいー・じー・ず, Millennium Development Goals, ミレニアム開発目標)<sup>4)</sup>がある。MDGs とは、2000 年 9 月の国連ミレニアムサミットで採択された「国連ミレニアム宣言」と、1990 年代に開催された主要な国際会議やサミット(1992 年: リオでの国連環境開発会議(地球サミット)、1997 年: 京都での気候変動枠組条約締結国会議(COP3)、など)で採択された国際開発目標を統合し、単一の共通枠組みとしてまとめたものである。MDGs は 2015 年を目標年として、表 1 に示す 8 のゴールと、これらに付随する 21 のターゲットから構成されている。

\* きららか支援員(研究支援員), \*\* 舞鶴工業高等専門学校機械工学科

表1 MDGsの8ゴール

1: 極度の貧困と飢餓の撲滅
2: 普遍的初等教育の達成
3: ジェンダーの平等の推進と女性の地位向上
4: 幼児死亡率の削減
5: 妊産婦の健康の改善
6: HIV/エイズ, マラリア, その他疾病の蔓延防止
7: 環境の持続可能性の確保
8: 開発のためのグローバル・パートナーシップの推進

SDGsとは、2015年9月の国連総会で採択された「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」(Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development)<sup>9)</sup>と題する成果文書で示された2030年に向けた具体的な行動指針である。表2に示す17のゴールと、これらに付随する169のターゲット(達成基

準)から構成され、「誰一人取り残さない」(no one will be left behind)ことを誓っている。17のゴールをアイコン化<sup>10)</sup>したものを図1に示す。SDGsは発展途上国のみならず、先進国自身が取り組むユニバーサル(普遍的)なものである。格差や貧困、気候変動をはじめ、人々の生産や消費のあり方まで言及している。

表2 SDGsの17ゴール

1: 「貧困をなくそう」あらゆる場所のあらゆる形態の貧困を終わらせる
2: 「飢餓をゼロに」飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する
3: 「すべての人に健康と福祉を」あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する
4: 「質の高い教育をみんなに」すべての人々への包摂的かつ公正な質の高い教育を提供し、生涯学習の機会を促進する
5: 「ジェンダー平等を実現しよう」ジェンダー平等を達成し、すべての女性及び女児の能力強化を行う
6: 「安全な水とトイレを世界中に」すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する
7: 「エネルギーをみんなにそしてクリーンに」すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する
8: 「働きがいも経済成長も」包摂的かつ持続可能な経済成長及びすべての人々の完全かつ生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用(ディーセント・ワーク)を促進する
9: 「産業と技術革新の基盤をつくろう」強靱(レジリエント)なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る
10: 「人や国の不平等をなくそう」各国内及び各国間の不平等を是正する
11: 「住み続けられるまちづくりを」包摂的で安全かつ強靱(レジリエント)で持続可能な都市及び人間居住を実現する
12: 「つくる責任つかう責任」持続可能な生産消費形態を確保する
13: 「気候変動に具体的な対策を」気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる
14: 「海の豊かさを守ろう」持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する
15: 「陸の豊かさも守ろう」陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する
16: 「平和と公正をすべての人に」持続可能な開発のための平和で包摂的な社会を促進し、すべての人々に司法へのアクセスを提供し、あらゆるレベルにおいて効果的で説明責任のある包摂的な制度を構築する
17: 「パートナーシップで目標を達成しよう」持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化する

図1 SDGsの17ゴール<sup>6)</sup>

SDGsは民間企業による取り組みをも求めた点が、国やNGOが主体になるものが多いMDGsと大きく異なる。特に一般社団法人日本経済団体連合会(経団連)では2017年の企業行動憲章の改定にあたり、「Society5.0の実現を通じたSDGsの達成」<sup>7)</sup>を柱として企業行動憲章を改定している。その中では、ESG(E:Environment, 環境。S:Social, 社会。G:Governance, 企業統治)に配慮した経営、自社のみならずグループ企業やサプライチェーンに対しても行動変革を促す、多様な組織との協働、などが挙げられている。日本商工会議所(日商)においては「SDGsとともに、豊かさを実感できる社会の実現を」と答えている<sup>8)</sup>。公益社団法人経済同友会においては2019年度の政策提言で「企業と人間社会の持続的成長のためのSDGs～価値創造に向けて、一人ひとりが自ら考え、取り組む組織へ～」と掲げている<sup>9)</sup>。企業だけではなく学术界においてもSDGsは取り込まれ、一般社団法人日本機械学会では2018年4月の会長挨拶<sup>10)</sup>にて「Society5.0やSDGsなどの大きな動きやコンセプトも俯瞰し活動する」としている。一般社団法人電気学会<sup>11)</sup>や公益社団法人応用物理学会<sup>12)</sup>においてもSDGsに関する取り組みが示唆されている。教育に目を向けると、ESD(Education for Sustainable Development, 持続可能な開発のための教育)がSDGsと密接にかかわっている。ESDとは現代社会の課題を自らの問題として捉え、身近なところから取り組む(think globally, act locally)ことにより、それらの課題の解決につながる新たな価値観や行動を生み出すこと、そしてそれによって持続可能な社会を創造していくことを目指す学習や活動である。2019年11月のユネスコ総会で採択され2019年12月の国連総会で承認された「持続可能な開発のための教育:SDGs実現に向けて(ESD for 2030)」が、2020年～2030年におけるESDの国際的な実施枠組みである。これは「国連ESDの10年(DESJ)」(2005年～2014年)及び「ESD

に関するグローバル・アクション・プログラム(GAP)」(2015年～2019年)の後継とされる。ESD for 2030の採択を受けて取り組まれるべき具体的な行動を示すロードマップがユネスコにより公表されている<sup>13)</sup>。ロードマップではSDGsの17すべての目標実現に向けた教育の役割が強調されている。日本では2020年度から本格実施される新学習指導要領において「持続可能な社会の創り手の育成」が明記されるようになった<sup>14)</sup>。

### 3 高専におけるSDGs

国公立問わず全国の高専専門学校のシラバスにSDGs関連の記載有無を調査する。調査は国立高等専門学校においては高専Webシラバス<sup>15)</sup>にて、国立以外の高専専門学校においては各校のWebサイト<sup>16)～21)</sup>掲載のシラバスにて行う。調査対象は62校(1校に複数キャンパスがある場合はキャンパスごとに1校とカウント)である。

調査結果を表3にまとめる。2019年度調査から2020年度にかけてSDGs関連をシラバスに記載する学校が12校、件数にして100件以上増加している。増加している要因としては、社会情勢からSDGsの取組みが必要とされている点、SDGs達成に向けた取組が広く普及した点、などが考えられる。調査校の中には授業以外にも学校独自のSDGsに関する取組をしている学校も見受けられた。2020年度のシラバスにSDGs関連の記載があった141件の内訳は、専門科目68件、一般科目73件である。さらに内容を見ていくと、SDGsの理解ができることを主体とする内容が29件、SDGsの説明ができることを主体とする内容が21件、SDGsについてグループワーク、チーム学習を取り入れているシラバスが22件である。

表3 高等専門学校のシラバス調査結果

	校数 [校]	件数 [件]	専門科目 (内数) [件]	一般科目 (内数) [件]
2019年度	21	30		
2020年度	33	141	68	73

#### 4 奈良高専におけるSDGsを取り扱う授業

奈良高専では、電気工学科1年生の環境リテラシー、学科共通で3年生の政治・経済、機械工学科5年生の機械設計工学演習、などの科目の一部でSDGsを取り扱っている。環境リテラシーでは、SDGsについて知る・考える・実践する、と段階立てて授業を行っている。政治・経済では、SDGsの観点から地域・企業の課題を整理・理解することを目標に授業を行っている。

須田らは機械設計工学演習の授業内で、カードゲームを用いた授業、新聞を用いた授業、企業技術者と学生の合同ワークショップの3ステップ導入授業の内容を実施している<sup>22)</sup>。2019年度の機械設計工学演習の授業は4人1グループで活動する形式をとる。第1ステップはカードゲーム「2030 SDGs」<sup>23)</sup>を用いる。第2ステップは当日の新聞朝刊記事からSDGsに関連する記事を探し出す<sup>24)</sup>。第3ステップは企業技術者とSDGsに関する討論を行うワークショップを実施する。2020年度はコロナ禍のため開催すること

が困難であると考えられるため、別内容を実施予定である。本稿以降に追って報告予定である。

##### 4.1 カードゲームを用いた授業

第1ステップのカードゲーム「2030 SDGs」はSDGsの「誰1人取り残さない」という理念のもと、貧困や教育、格差など世界が直面する17ゴールの道程を疑似体験できるものである。開発したイマココラボと朝日新聞社の協力のもと実施する。このゲームはSDGsの各目標を細かく学習するためのものではなく、「なぜSDGsが私たちの世界に必要なのか」、そして「それが存在することによってどんな変化や可能性があるのか」を体験的に理解するためのゲームである。特徴の1点に経済(青)、環境(緑)、社会(黄)を表すホワイトボードに張り付けられたマグネットを共有することが挙げられる。これは「世界の状況メータ」と呼ばれ、参加者全員で創り出す世界の状況を表している。カードゲームの様子を図2～3(コロナ禍前の写真)に、世界の状況メータの一例を図4～5(コロナ禍前の写真)に示す。



図2 カードゲームの様子(1)



図3 カードゲームの様子(2)



図4 世界状況メータの一例(1)



図5 世界状況メータの一例(2)

#### 4.2 新聞を用いた授業

第2ステップではSDGsの理念を理解するため、当日の朝刊記事からSDGs17ゴールに関連する記事を探す。各自で新聞を読みSDGs17ゴールに該当する記事をピックアップし、当該記事に該当するSDGs17ゴールの付箋を貼る。直接SDGs17ゴールに関連すると書かれてない無くてもSDGsに関連する記事の多さの気づきや、同じ記事でもとらえ方の違いにより異なるゴールが関連していることの気づきを通して、エンジニアとしての分析能力に加え有用な知見を導くための幅広い視野や感性を養うことを目的としている。授業の様子を図6～9(コロナ禍前の写真)に示す。



図6 新聞活用授業の様子(1)



図7 新聞活用授業の様子(2)



図8 新聞活用授業の様子(3)



図9 新聞活用授業の様子(4)

#### 4.2 企業技術者と学生の合同ワークショップ

第3ステップでは複数の企業技術者が学生グループに入りSDGsに関する理解を深める討論を行うワークショップを実施する。企業技術者は奈良高専地域イノベーションコンソーシアムの会員企業に募集をかけ参加いただいた。企業技術者らと一緒に学び議論を交わすことで、より実践的な授業にすることを目的としている。学生が授業の中でSDGsを学ぶ過程を通じて、企業の事業内容とのつながりを見出すことを試みた。学生はグループに分かれ、その中に社名を明かさず企業技術者が入り、学生と議論する。議論後にグループ毎に学生が取りまとめた意見を発表する。社名を明かさず入る目的は、学生の社名による先入観をなくすことと、企業のリクルート目的をなくし真にSDGsに関して学ぶことにある。なお、企業の業種は問わず、SDGsに関する予備知識も不要としている。2019年度のワークショップのゴールは「工学×SDGs」の観点から報告することと設定した<sup>25)</sup>。ただし、グループによっては議論が発散し工学に結び付けることが困難と判断された場合は適宜「〇〇×SDGs」と変更することができる。今回の事例では「工学×SDGs」の他に、「機械×SDGs」「設計×SDGs」「高専×SDGs」「産業界×高専×SDGs」が挙げられた<sup>26)</sup>。ワークショップの様子を図10～13(コロナ禍前の写真)に示す。ワークショップでは前述のカードゲームとは別の「X(クロス)」(金沢工業大学)<sup>27)</sup>や「SDGsババ抜きカード」(笑下村塾)<sup>28)</sup>を用いるグループや、朝日新聞・読売新聞・毎日新聞・日本経済新聞・産経新聞の5紙(五大紙)や地元の奈良新聞を用いるグループもあった。「2030SDGs」に似た独自のカードゲームを作製しグループワークに臨んだグループもあった。学生にとっては企業技術者と触れ合う良い刺激になり、企業技術者ならではの視点での話を聞ける良い機会となった。グループによっては学生が企業技術者にSDGsを説明する場面もあり、知識の定着も認められた。企業技術者にとっては学生の思惑のない純粋なアイデアが聞けたことや、一緒に学んで対等にディスカッションできたことに高評価をいただいた。報告のテーマ名および該当するSDGs項目を表4にまとめる。最後に報告のテーマ名に沿って420文字以内の新聞記事風のレポートを作成する。レポート内容は朝日新聞2020年3月19日付SDGs授業記念版として発行された<sup>29)</sup>。



図 10 ワークショップ業の様子(1)



図 11 ワークショップ業の様子(2)



図 12 ワークショップ業の様子(3)



図 13 ワークショップ業の様子(4)

表 4 学生目線の SDGs

第1グループ		第6グループ	
SDGs 項目	17：パートナーシップで目標を達成しよう	SDGs 項目	11：住み続けられるまちづくりを
テーマ名	SDGs を広めるためには	テーマ名	環境問題への一つのアプローチ
第2グループ		第7グループ	
SDGs 項目	4：質の高い教育をみんなに 5：ジェンダー平等を実現しよう 9：産業と技術革新の基盤をつくろう	SDGs 項目	5：ジェンダー平等を実現しよう 7：エネルギーをみんなにそしてクリーンに 8働きがいも経済成長も 14：海の豊かさを守ろう
テーマ名	真の女性の社会進出を目指すには	テーマ名	高専生と SDGs
第3グループ		第8グループ	
SDGs 項目	5：ジェンダー平等を実現しよう 8：働きがいも経済成長も 10：人や国の不平等をなくそう	SDGs 項目	11：住み続けられるまちづくりを 17：パートナーシップで目標を達成しよう
テーマ名	人権あってこそそのビジネス	テーマ名	製品を通してつながる地域と企業のあり方
第4グループ		第9グループ	
SDGs 項目	2：飢餓をゼロに 13：気候変動に具体的な対策を	SDGs 項目	3：すべての人に健康と福祉を
テーマ名	食品廃棄物の利用について	テーマ名	菓の自動移動販売機の提案
第5グループ			
SDGs 項目	6：安全な水とトイレを世界中に		
テーマ名	SDGs 認知度拡大の重要性		

第1グループは、SDGsの認知度と二酸化炭素排出量の観点から報告している。カードゲームを用いたことによりSDGsが身近に感じられ楽しく取り組むことができたことから、SDGsの認知度向上についてまとめた。

第2グループは、高専や企業問わず特に機械工学分野の女性比率の低さに着目し報告している。高専のみならず、工学分野に興味のある若年層を発掘し育成する方法を提案した。

第3グループは、時代とともに移り変わる男女の仕事観や性同一性障害の観点から報告している。社会全体を変えるにも、まず個人が変わらないと社会も変えられないと提唱している。

第4グループは、SDGsと工学について、食品ロスの観点から報告している。これまでに学んできた電気工学、熱工学、生産システム工学、最適化問題、などの知識をいかしかかわりを考察した。

第5グループは、いわゆる大企業と中小企業におけるSDGsの認知度と取り組みについて報告している。SDGsの理解を深めれば中小企業の取り組みもSDGsに貢献することをまとめた。

第6グループは、企業の持つ技術と社会制度の観点から

報告している。優れた技術であっても高価なものであれば普及は見込めないで、ESG投資や公的な助成制度についても言及した。

第7グループは、2社の技術者の意見を集約し報告している。討論を進めるにつれ2社とも現状の事業がSDGsに直結していることに気づき、物事の見方について考察した。

第8グループは、地域の電気自動車用給電装置の観点から報告している。地域住民、市役所、企業の「三方よし」が実現する方法を提案し、古くからの日本のビジネスモデルがSDGsに関連していると考察した。

第9グループは、高齢化や過疎化と工学を結び付けて報告している。高専は幅広い分野が密に連携している場であるので、新たな解決法を提案することに最適であると考察した。さらに、工学だけでなく法整備や世界的な協力についても言及した。

## 5 SDGs に関する意識調査

企業技術者との合同ワークショップ受講後アンケートの結果を表5～6にまとめる。ワークショップ参加学生は36名である。

表5 学生への意識調査（もっとも関心のあるSDGs項目）

6件(17.6%)	9.産業と技術革新の基盤をつくろう
6件(17.6%)	11.住み続けられるまちづくりを
3件(8.8%)	12.つくる責任つかう責任
3件(8.8%)	2.飢餓をゼロに
3件(8.8%)	8.働きがいも経済成長も
2件(5.9%)	15.陸の豊かさを守ろう
2件(5.9%)	5.ジェンダー平等を実現しよう
2件(5.9%)	10.人や国の不平等をなくそう
1件(2.9%)	13.気候変動に具体的な対策を
1件(2.9%)	14.海の豊かさを守ろう
1件(2.9%)	16.平和と公正をすべての人に
1件(2.9%)	1.貧困をなくそう
1件(2.9%)	3.人々に保健と福祉を
1件(2.9%)	6.安全な水とトイレを世界中に
1件(2.9%)	7.エネルギーをみんなに、そしてクリーンに

表6 学生からのコメント

今回行ったような企業と学生が触れあえる機会が必要
勉強会の実施・勉強する場の提供
まずはその関連企業が全て集まる会を開いてみんなで足並みや方向性をそろえることが大切だと思う
積極的に交流していくことが大事
気候変化に関する学生発表を行う
新聞などで取り上げられたら少しでも価値がある
関係する製品の開発
今回のような勉強会を定期的実施する
SDGsゲームの機会を増やすべき

参加した企業技術者からも一定のポジティブなコメントが示された<sup>30)</sup>。以下にその一例を示す:SDGsの課題は教育・仕事を含めた人の生き方にかかわるもの、自然体で一生付き合っていきたい、教育機関は助成金の拡充を国に要請し産業界はそれを活用する、学生と企業とが一緒になって考える事が大事だと思う、営利を求める企業と学ぶ学生とは考えに大きな差があるのでその差を埋めていく努力をすれば近づける、今回のような取組みを段階的に継続、SDGsに無関心な会社は就職斡旋しないとしてしまえば企業側は考え方を変えざるを得ない。

## 6 おわりに

本稿ではSDGsの達成と工学の貢献について探究した授業について報告した。教育研究の場でSDGsが導入されることは、学生が暮らし、仕事、社会におけるつながりと意識づけがなされ、ゴールに向けた行動指針がとれると考えられる。機械工学教育においては、SDGsのゴールに向けた目標を学生が持つことで、機械工学の発展に寄与するだけでなく社会経済の発展にもつながることが示唆された。一方で、教育研究を管理する側のSDGsの正しい知識や解釈が必要であると考えられる。一般的に学校は普遍的な物事について教授する場であると考えられるが、SDGsのような比較的新しい概念と結びつけることによって、新たに生み出す価値の探究ができると考えられる。また、学生にとって「考える力」を身に着けるにはSDGsは実践的なテーマであると考えられる。コロナ禍によって社会は一層VUCA、すなわち激動し(Volatility)不確実(Uncertainty)かつ複雑(Complexity)で曖昧さ(Ambiguity)が増している。VUCA時代に求められるプロフェッショナルエンジニアとは、専門領域における豊富な知識や経験をベースに、従来の枠にとらわれない自由な発想や提案ができる視野の広い人材であると考えられる。未来観が求められるSDGsにおいてはバックキャストで物事をとらえることが近道であると言われる。従来のPDCAサイクル(Plan(計画)・Do(行動)・Check(評価)・Action(改善))よりOODAループ(Observe(観察)・Orient(仮説構築)・Decide(意思決定)・Act(実行))の方が親和性が高いと考えられる。SDGs, ESD, ESG, コロナ禍で見えたパラダイムシフトに対応できる人材を育成するよう、このような取組みを今後も継続実施する。さらにSDGsの達成に工学がいかに貢献するかを研究調査し続ける。最後に、SDGsの理解を深める手助けになる書籍など<sup>31)~51)</sup>を紹介する。

## 謝辞

本取組の一部は公益社団法人日本設計工学会研究調査分科会B種「SDGsのための工学および工学教育に関する研究調査分科会」の助成を受けたものです。

## 参考文献

- 1) 外務省：持続可能な開発のための2030アジェンダ(仮訳)。
- 2) Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G., Woelm, F.: The Sustainable Development Goals and COVID-19. Sustainable Development Report 2020, Cambridge University Press (online), available from <https://s3.amazonaws.com/sustainabledevelopment.report/2020/2020\_sustainable\_development\_report.pdf>, (accessed 2020-08-21).
- 3) 首相官邸：持続可能な開発目標(SDGs)実施指針の概要。
- 4) 外務省：(ODA)ミレニアム開発目標(MDGs), (online), available from <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/doukou/mdgs.html>, (accessed 2020-08-21).
- 5) United Nations: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, General Assembly, (2015).
- 6) 国連広報センター：SDGsのポスター・ロゴ・アイコンおよびガイドライン, (online), available from <https://www.unic.or.jp/activities/economic\_social\_development/sustainable\_development/2030agenda/sdgs\_logo/>, (accessed 2020-08-21).
- 7) 一般社団法人日本経済団体連合会：企業行動憲章, (2017).
- 8) 株式会社朝日新聞社：SDGsが掲げる目標を達成するうえで欠かせない中小企業の取り組みをリード、朝日新聞GLOBE+ (online), available from <https://globe.asahi.com/article/11964796>, (accessed 2020-08-21).
- 9) 株式会社日刊工業新聞社：経済同友会のSDGsの提言がもっとも経営者にわかりやすい、ニュースイッチ (online), available from <https://newswitch.jp/p/20709>, (accessed 2020-08-21).
- 10) 一般社団法人日本機械学会：第96期会長就任のご挨拶, (online), available from <https://www.jsme.or.jp/about/greeting/greeting-from-the-past-presidents/greeting96/>, (accessed 2020-08-21).
- 11) 一般社団法人電気学会：令和元年度(第106代)電気学会会長 中川 聡子, (online), available from <https://www.iee.jp/blog/greeting\_106/>, (accessed 2020-08-21).
- 12) 公益社団法人応用物理学会：会長あいさつ, (online), available from <https://www.jsap.or.jp/about\_jsap/president>, (accessed 2020-08-21).
- 13) UNESCO: Education for sustainable development: a roadmap, Digital Library (online), available from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>, (accessed 2020-08-21).
- 14) 文部科学省：教委135-1-2 平成29年3月31日公示新学習指導要領等における持続可能な社会づくりに関連する主な記載(抜粋)。
- 15) 独立行政法人国立高等専門学校機構：高専Webシラバス, MCC Web Syllabus (online), available from <https://syllabus.kosen-k.go.jp/Pages/>

- PublicSchools/>, (accessed 2020-08-21).
- 16) 東京都立産業技術高等専門学校: シラバス (授業案内), (online), available from <<https://www.metro-cit.ac.jp/major/syllabus.html>>, (accessed 2020-08-21).
  - 17) 学校法人育英学院サレジオ工業高等専門学校: Syllabus (シラバス), (online), available from <<http://www.salesio-sp.ac.jp/main/syllabus/>>, (accessed 2020-08-21).
  - 18) 神戸市立工業高等専門学校: シラバス, (online), available from <<http://www.kobe-kosen.ac.jp/education/syllabus/>>, (accessed 2020-08-21).
  - 19) 学校法人金沢工業大学国際高等専門学校: カリキュラム & シラバス / Curriculum and Syllabus, (online), available from <<https://www.ict-kanazawa.ac.jp/curriculum/>>, (accessed 2020-08-21).
  - 20) 学校法人近畿大学近畿大学工業高等専門学校: シラバス, (online), available from <<https://www.ktc.ac.jp/dept/kyomu/syllabus/>>, (accessed 2020-08-21).
  - 21) 公立大学法人大阪大阪府立大学工業高等専門学校: シラバス (本科) Syllabus, Regular Course, (online), available from <<http://www2.ct.osakafu-u.ac.jp/%E3%82%B7%E3%83%A9%E3%83%90%E3%82%B9%E6%9C%AC%E7%A7%91%E3%80%80syllabus-regular-course/>>, (accessed 2020-08-21).
  - 22) 須田敦, 室巻孝郎: SDGs のための工学および工学教育に関する研究調査 (第1報: SDGs のための設計工学の実践授業), 日本設計工学会関西支部令和元年度研究発表講演会, pp.85-90(2020).
  - 23) 一般社団法人イマココラボ: カードゲーム「2030 SDGs」の紹介, (online), available from <<https://imacocollabo.or.jp/games/2030sdgs/>>, (accessed 2020-10-26).
  - 24) 朝日新聞社: NIE, (online), available from <<https://www.asahi.com/corporate/nie>>, (accessed 2020-10-26).
  - 25) 奈良工業高等専門学校: 「機械工学科学生と企業等とのSDGs勉強会」を開催しました, (online), available from <<https://www.nara-k.ac.jp/contribution/2020/01/sdgs.html>>, (accessed 2020-10-26).
  - 26) 須田敦, 室巻孝郎: SDGs のための工学および工学教育に関する研究調査 (第2報: 学生から見たSDGsと工学の関連性), 日本設計工学会2020年度秋季研究発表講演会, pp.83-84(2020).
  - 27) 金沢工業大学: SDGs推進センター, (online), available from <<https://www.kanazawa-it.ac.jp/sdgs/application.html>>, (accessed 2020-02-21).
  - 28) 笑下村塾: SDGsへの取り組み, (online), available from <<https://www.shoukasonjuku.com/aproachtosdgs>>, (accessed 2020-02-21).
  - 29) 奈良工業高等専門学校: 本校機械工学科におけるSDGsの取り組みを紹介します, (online), available from <<https://www.nara-k.ac.jp/information/2020/03/sdgs-1.html>>, (accessed 2020-10-26).
  - 30) 須田敦, 室巻孝郎: SDGsのための工学および工学教育 (企業技術者と学生の合同ワークショップおよび意識調査), 第21回システムインテグレーション部門講演会 (SI2020), pp.2390-2392(2020).
  - 31) Think the Earth: 未来を変える目標 SDGs アイデアブック, 紀伊國屋書店, (2018).
  - 32) SDGs 市民社会ネットワーク: 資料, (online), available from <<https://www.sdgs-japan.net/toolkit>>, (accessed 2020-02-21).
  - 33) 日能研教務部: SDGs 国連 世界の未来を変えるための17の目標 2030年までのゴール, みくに出版, (2017).
  - 34) 事業構想大学院大学出版部: SDGsの基礎, 宣伝会議, (2018).
  - 35) 足達英一郎, 村上芽, 橋爪麻紀子: ビジネスパーソンのためのSDGsの教科書, 日経BP, (2018).
  - 36) 田中治彦, 三宅隆史, 湯本浩之: SDGsと開発教育: 持続可能な開発目標ための学び, 学文社, (2016).
  - 37) Times Higher Education: University Impact Rankings 2019, (online), available from <[https://www.timeshighereducation.com/rankings/impact/2019/overall#!/page/0/length/25/sort\\_by/rank/sort\\_order/asc/cols/undefined](https://www.timeshighereducation.com/rankings/impact/2019/overall#!/page/0/length/25/sort_by/rank/sort_order/asc/cols/undefined)>, (accessed 2020-02-21).
  - 38) 一般社団法人英語4技能・探究学習推進協会: 大学のSDGsへの取り組みがわかる「THE大学インパクトランキング2019」が発表される, (online), available from <<https://esibla.or.jp/info/the-impact-rankings-2019/>>, (accessed 2020-02-21).
  - 39) 有限会社インフォワード: 企業のCSRレポート、環境報告書、アニュアルレポート、会社案内の無料請求サイト, エコほっとライン (online), available from <<https://www.ecohotline.com/>>, (accessed 2020-02-21).
  - 40) 株式会社ブレインズ・ネットワーク: CSRレポート、環境報告書、統合報告書の検索・閲覧サイト, CSR図書館.net (online), available from <<http://csr-toshokan.net/>>, (accessed 2020-02-21).
  - 41) グローバル・コンパクト・ネットワーク・ジャパン: SDG Industry Matrix 日本語版, (online), available from <<http://ungcjp.org/activities/topics/detail.php?id=204>>, (accessed 2020-02-21).
  - 42) 独立行政法人国際協力機構: 「地球上みんなの幸せ」のために世界が合意した17の目標 SDGs入門.
  - 43) 独立行政法人国際協力機構: その技術、世界が待っています 中小企業・SDGsビジネス支援事業.
  - 44) 神奈川県: SDGsアクションブックかながわ, (2019).
  - 45) 国際連合広報局: SDGsを広めたい・教えたい方のための「虎の巻」, 我々の世界を変革する: 持続可能な開発のための2030アジェンダ.
  - 46) Jeffrey D. Sachs, Christian Kroll, Guido Schmidt-Traub, Guillaume Lafortune, Grayson Fuller, Finn Woelm: Sustainable Development Report, (online), available from <<https://www.sdginde.org/>>, (accessed 2020-

- 02-21).
- 47) 国際連合広報センター, 公益財団法人地球環境戦略研究機関 (日本語訳): 国際連合 持続可能な開発に関するグローバル・レポート 2019 未来は今: 持続可能な開発を達成するための科学<抄訳版>.
- 48) 国連広報センター: すぐろくでSDGsを学ぼう, (online), available from <[https://www.unic.or.jp/activities/economic\\_social\\_development/sustainable\\_development/2030agenda/go-goals/](https://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/go-goals/)>, (accessed 2020-02-21).
- 49) 認定NPO 法人国際協力 NGO センター: SDGs 理解促進ツール ひとつと多い張り紙, (online), available from <<https://www.janic.org/world/sdgstool/>>, (accessed 2020-02-21).
- 50) 独立行政法人国際協力機構: 持続可能な開発目標 (SDGs) を学べる教材, (online), available from <<https://www.jica.go.jp/hiroba/teacher/material/sdgs.html>>, (accessed 2020-02-21).
- 51) Michael Green: How We Can Make the World a Better Place by 2030, YouTube TED Talks (online), available from <<https://www.youtube.com/watch?v=o08ykAqLOxk>>, (accessed 2020-02-21).

# 施設園芸用パイプハウスの風被害に関する研究

## (3D モデルを用いた解析による検討)

森川建太\*, 高尾春花\*\*, 須田敦, 野林多美子\*\*\*, 榎真一\*\*\*\*, 室巻孝郎\*\*\*\*\*, 吉岡剛志\*\*\*\*\*

A study for wind damage in Greenhouse Horticulture  
(Examination by analysis using 3D model)

MORIKAWA Kenta\*, TAKAO Haruka\*\*, SUDA Atsushi, NOBAYASHI Tamiko\*\*\*, ENOKI Shinichi\*\*\*\*, MUROMAKI Takao\*\*\*\*\*, YOSHIOKA Tsuyoshi\*\*\*\*\*

施設園芸用パイプハウスについて、現在普及しているパイプハウスやその補強方法、パイプハウスについて過去に行われた研究などの調査を行う。また、パイプハウスの台風時の挙動を調べるために、パイプハウスの3Dモデルを用いて流体解析、構造解析、およびそれらの連成解析を行う。解析の結果より、台風時のパイプハウスの挙動を概ね再現することが可能であることが確認できた。今後の予定として、台風時のパイプハウス強度に地盤の状態が及ぼす影響について明らかにするために、より実際のパイプハウスに近い解析モデルを用いて地盤の状態を考慮した解析を行う必要がある。

### 1 緒言

我が国において野菜や果樹などの園芸作物は農業産出額の約39%を占め、食料の支出金額に占める割合が最も高く、消費者ニーズに応えるためには施設園芸による周年安定供給が必須である(農林水産省, 2020a)。園芸作物の生産において風雨や寒さから作物を守るために温室などの施設が用いられる。その1種のパイプハウスは施工費が安価であることや、農家が自力で組み立てできるという施工性の高さから多く用いられる。一方で、パイプハウスは強度が低く台風などの強風や大雪の被害をたびたび受ける。本稿ではこのパイプハウスの自然被害について、現在普及しているパイプハウスやその補強方法、パイプハウスについ

て過去に行われた研究などを調査し、その結果とともにパイプハウスの自然被害の対策としてパイプハウスの3Dモデルを用いたCFD解析を行い、その結果や今後の方針について報告する。

### 2 パイプハウス

#### 2.1 パイプハウスの概要

園芸作物の生産において、風雨や寒さから作物を守るために農業用ハウスが用いられる。農業用ハウスには、図1に示す鉄骨の骨組みにガラスを張り合わせた鉄骨ハウスや、図2に示すアーチ状の鋼管(パイプ)で構成された骨組みをビニールで覆ったパイプハウスなどがある。



図1 鉄骨ハウス  
(株式会社アグリテック東北)



図2 パイプハウス

\* システム創成工学専攻機械制御システムコース1年, \*\* 元機械工学科学生, \*\*\* きららか支援員(研究支援員), \*\*\*\* 大阪産業大学工学部機械工学科, \*\*\*\*\* 舞鶴工業高等専門学校機械工学科, \*\*\*\*\* 徳農種苗株式会社

このうち、パイプハウスは施工費が安価であることや、農家が自力で組み立てできるという施工性の高さから多く用いられ、日本国内の園芸施設総設置面積の約76%を占める(農林水産省, 2018)。一方で、パイプハウスは低コスト化や日射透過率の観点から部材数や部材寸法は最低限に抑えられる必要があり構造的な強度は低くなる。パイプハウスの構造について日本施設園芸協会が構造指針を発行しているが、これはあくまで指針であり、法的な構造規定は存在しない。そのため、構造や補強方法などは設置者やメーカーの判断に委ねられ、台風などの強風や大雪の被害をたびたび受ける。2019年に発生した台風15号では農林水産関係被害額の半分以上である約476.8億円を農業用ハウスなどが占め、被害件数は23,766件を超える(農林水産省, 2020b)。このような現状から、パイプハウスの被害対策として様々な補強方法の考案や、ハウス構造についての研究が行われている。

## 2.2 パイプハウスの固定具

パイプハウスの骨組みは複数のパイプから構成されてお

り、それぞれのパイプは結束金具によって固定されている。

図3に実用新案権に登録されているパイプハウスにおけるパイプどうしの結束金具を示す。この金具は十字に交差したパイプを結合するための金具で、U字形の側板と楔板から構成される。

図4に実用新案権に登録されているビニールハウスの骨材接続金具を示す。この金具は湾曲状に成形したパイプとそれに交差するパイプを結合するための金具で、断面門型の接続具と楔から構成される。

図5に実用新案権に登録されているパイプ交差連結用金具を示す。この金具は交差する2本のパイプを所定の間隔をあけて連結固定するための金具である。この金具は、パイプ間に介在させる金属角形筒状体と線状係着部材から構成され、特にねじれに対して優れた抵抗強度を有する。

## 2.3 パイプハウスの補強

パイプハウスの台風による主な被害パターンを図6に示す。図6(a)はアーチパイプの鋼材が圧力に耐えることができずに曲がり、ハウス全体が倒壊するパターンである。図

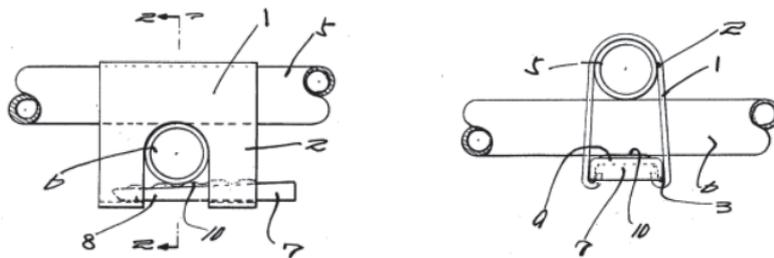


図3 パイプハウスにおけるパイプどうしの結束金具 (青木, 1973)

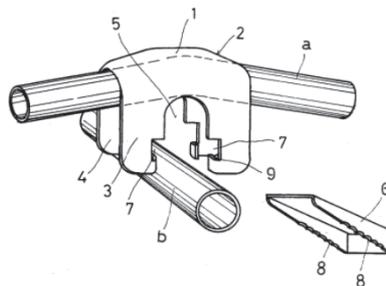
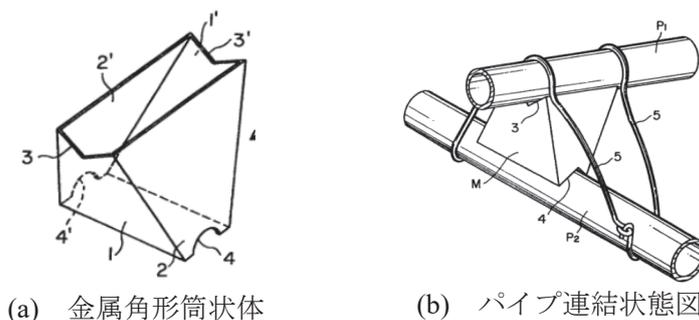


図4 ビニールハウスの骨材接続金具 (大家, 1973)



(a) 金属角形筒状体

(b) パイプ連結状態図

図5 パイプ交差連結用金具 (村上, 1991)

6(b)はハウス内に風が吹き込むことによりハウス内の圧力が大きくなり、アーチパイプが外側に跳ね上がるパターンである。図6(c)は強風が妻面から奥行方向に吹いた場合に、妻面が傾きアーチパイプが押されてドミノ倒しのように奥行き方向に倒壊するパターンである。図6(d)は一度建物などに当たり上昇した風が下方へ吹き下ろすとき、障害物から離れたハウスの屋根が陥没するパターンである。

これらの被害の対策として補強部材がしばしば用いられる。図7に一般的に用いられる補強方法を示す。図7(a)に示すタイバーによる肩部補強方法は部材を棟および軒上部に逆T字に取り付ける方法で、耐風速は約1.2倍となる。図7(b)に示すX型補強は肩部から棟部の左右に斜材を取り付ける肩部強化方法である。X型補強はタイバーによる補強方法よりも効果的とされ、耐風速は約1.3倍となる。図7(c)に示す筋交いによる補強方法は妻面上部から桁行方向に部材を取り付けることで、妻面から奥行き方向への風に対しアーチパイプの横倒しを防ぐ効果がある。これらの補強以外にも、雪荷重のような上方向からの力による変形を防ぐための支柱、ハウスの浮き上がりを防止するための基礎部の強化、肩部分をワイヤーなどで外側からひっぱり固定する、などの補強が行われている。また、台風の接近によりハウスの耐風速を超える風が予想される場合は、事

前にハウスを覆うビニールを取り除くなどの対策が行われる場合がある。

### 3 パイプハウスに関する先行研究

パイプハウスの自然被害の対策として様々な研究が行われている。黒住ら(1999)は台風によるパイプハウスの強風被害について調査を行い、パイプ構造や被覆フィルムなどの素因と被害程度との関係についての考察を行っている。また、森山ら(2003)は台風による被害事例を詳細に調査し、事例ごとに破壊メカニズムの推察を行っている。台風以外の被害調査として、奥島ら(2003)は2012年に発生した竜巻による被害を調査し、台風被害との近似性を明らかにしている。これらの被害調査では各地点での正確な風速を把握する必要がある。そこで、福本ら(2008)はLAWEPSによる風況シミュレーションを用いて中山間地の風速推定を行っている。しかし、近年の異常気象の増加により台風発生予測や風向き、風速の判定は難しく、パイプハウスの常設的な強度が必要と考えられる。

ハウス構造の観点から、長利ら(1980)はパイプハウスの断面形状について風・雪荷重下で最も大きな抵抗力が得られる形状を計算によって求めている。また、ハウス強度に

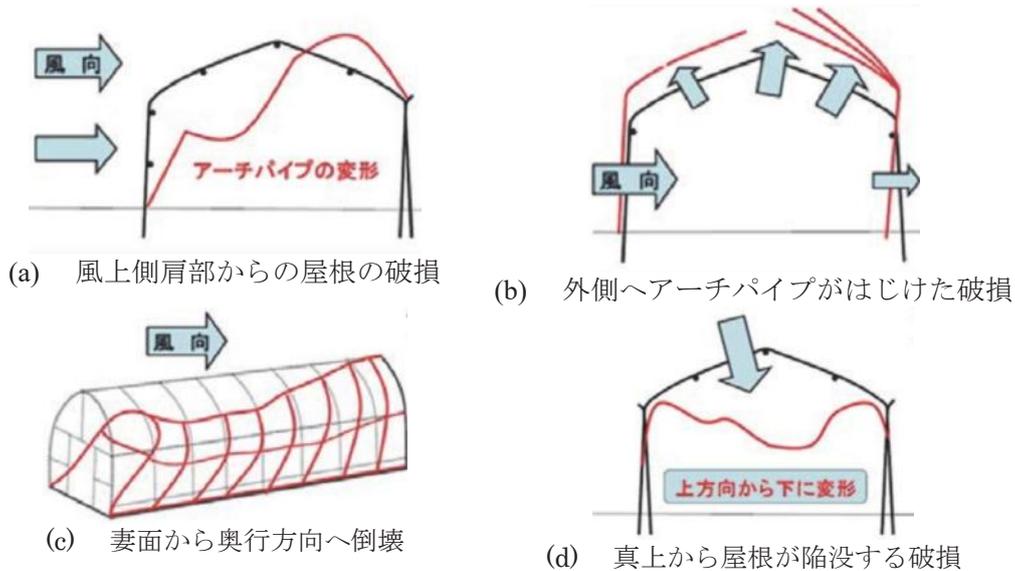


図6 パイプハウスの主な被害パターン (京都府農林水産部農産課, 2019)

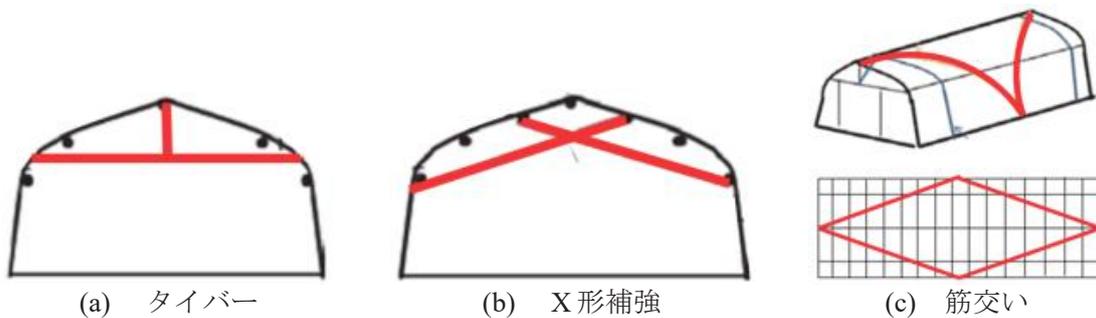


図7 パイプハウスの補強方法 (京都府農林水産部農産課, 2019)

ついて、小川ら(1989)は実物大強度実験を行いその耐力を求め、理論解析との適応性について考察している。さらに、構造解析を用いた研究として、Mearsら(2003)は有限要素法解析(以下「FEM解析」と呼ぶ)によって応力解析および座屈解析を行い、荷重試験との比較により設計における座屈解析の必要性を明らかにしている。また、Davidら(2008)はFEM解析による許容雪荷重の測定により雪荷重下での補強法やパイプ断面の最適値を明らかにしている。これらの既存のハウス形状についての研究に対して、Banら(2016)は新たに提案したハウス構造に対して固有値解析を行いその剛性を明らかにしている。

ハウスの台風被害について、台風時のハウス周りの風荷重の様子を調べるために風洞実験が用いられる。森山ら(2008)は、ハウスの1:20スケールのモデルを使用した風洞実験によって風圧係数の計測を行い、風向きや妻面開口部の影響を明らかにしている。風洞実験ではなく数値流体解析によって風圧係数を求める試みもある。ピッチの異なる建物についてCFD解析による風圧係数の測定を行った研究では風洞実験の結果との比較によってCFD解析の適応性を明らかにしている。また、Kimら(2017)は連棟型温室についてCFD解析による風圧係数の測定を行い、CFD

解析によって得られた風荷重を用いた構造解析の必要性を提示している。FEM解析とCFD解析の組み合わせた研究として、高橋・植松(2016)は風・雪荷重を受けるハウスが崩壊するまでの過程を二次元モデルに対するFEM解析とCFD解析の連成によって再現している。さらに、2018年には同様の方法を三次元モデルに対して行い、ハウスの一般的な設計法の安全性や補強方針を示している。これらの研究から、風荷重に対するハウスの正確な強度を知るためにはFEM解析による応力解析や座屈解析に加えて、CFD解析による風圧係数の測定を行うことは重要であると考えられる。

高尾(2019)は特に農業用パイプハウスに当たる台風の風に焦点を当て、台風の風によって倒壊する農業用パイプハウスの被害を抑えるための装置を提案し、装置周りの流体解析を行っている。図8に提案された5種類の装置を示す。

(a)から(d)の装置はそれぞれのデザインを風見鶏のように屋根部に取り付けることで負揚力を発生させてパイプハウスを浮き上がらせる力を相殺させることを目的としている。また、(e)の装置はパイプハウス側面に配置することで表面のくぼみにより乱流が発生しやすくなり、物体表面から気流の剥離を防ぐ狙いである。図9に傘型装置、図

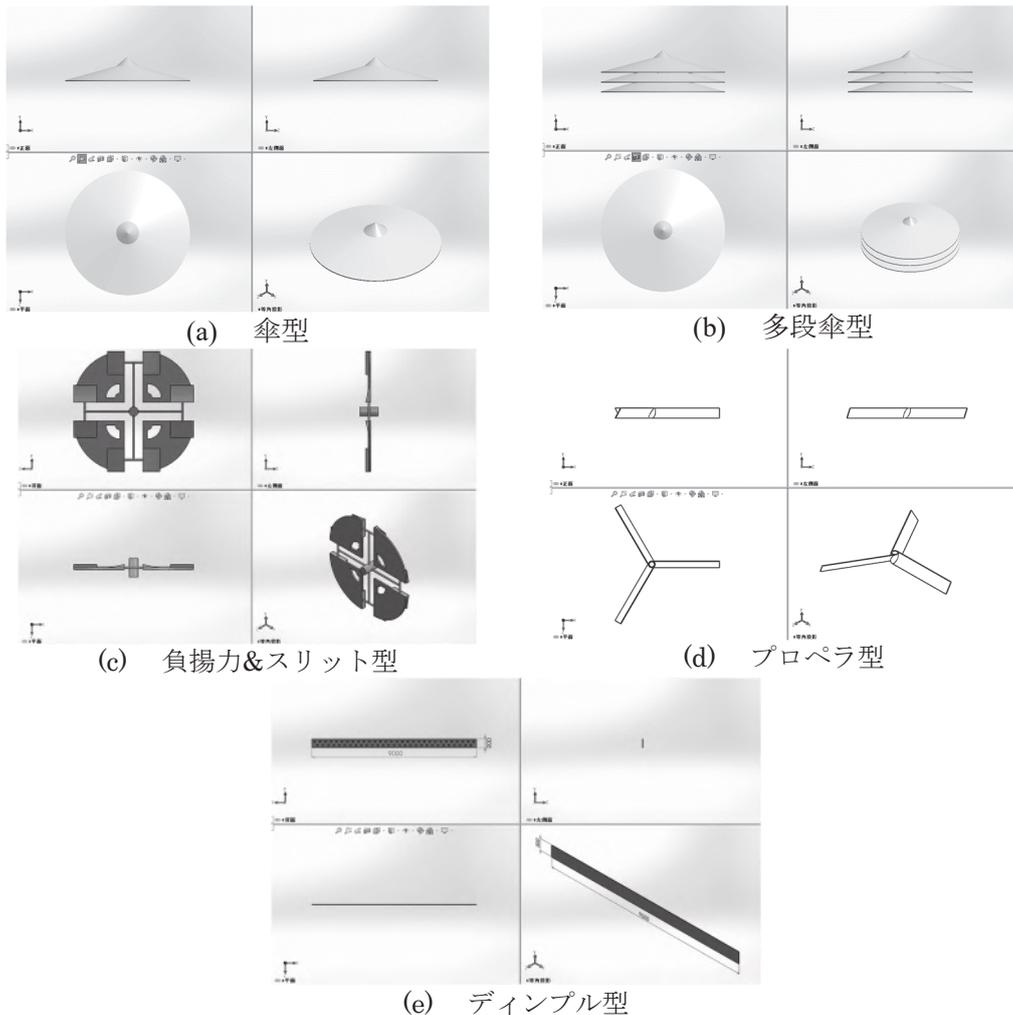


図8 提案された装置

10に多段傘型装置, 図11に負揚力&スリット型装置, 図12にプロペラ型, 図13にディンプル型装置の流体解析結果の一例を示す。

各装置の流体解析の結果として, 風見鶏型機構の各デザインにおいては, 負揚力の発生がみられなかったため, 台風による被害の対策効果は見込めないと考えられる。対してディンプルを応用した形状においては, パイプハウ

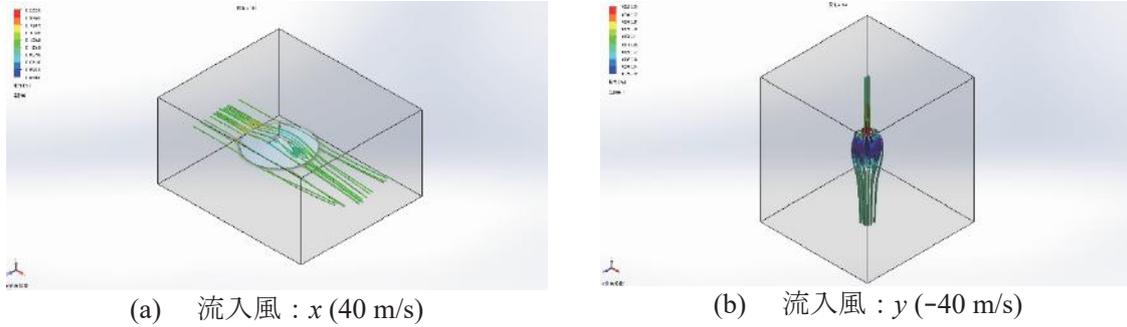


図9 傘型装置の解析結果

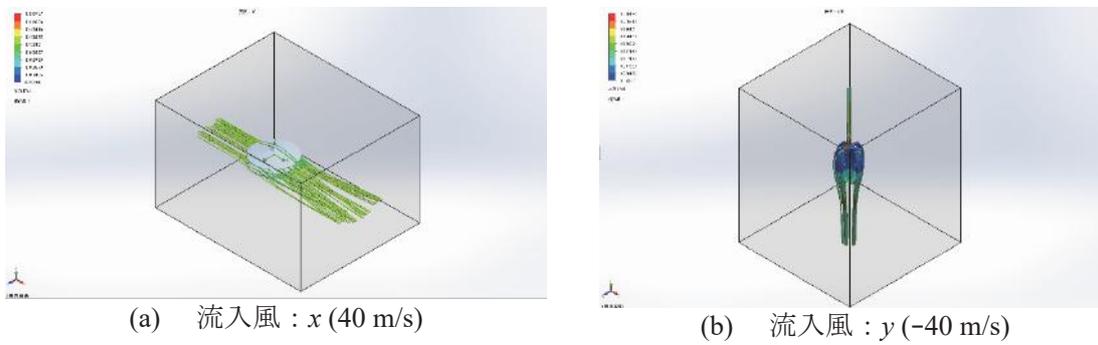


図10 多段傘型装置の解析結果

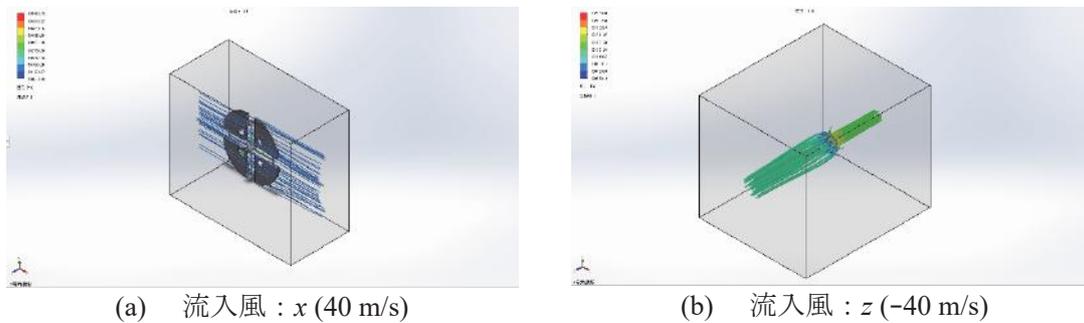


図11 負揚力&スリット型装置の解析結果

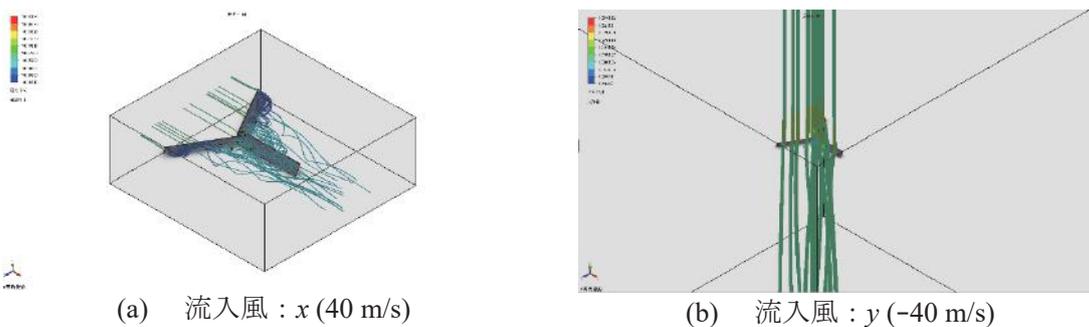


図12 プロペラ型装置の解析結果

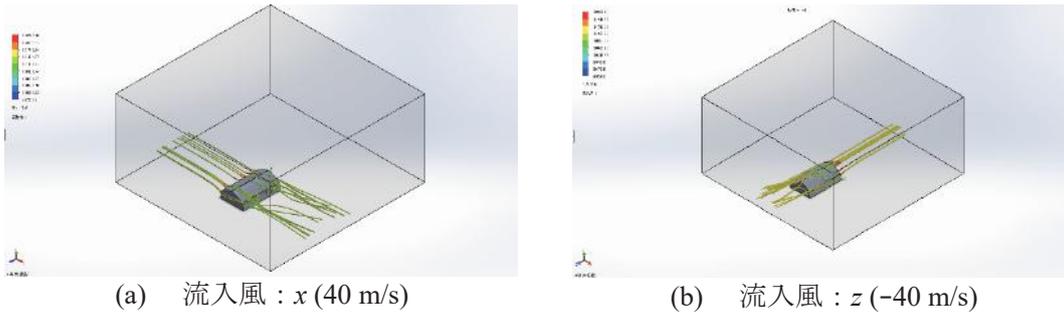


図 13 ディンプル型装置の解析結果

スに結合させることにより妻面方向および桁行方向から受ける風圧のうち約 100 Pa 以上緩和することがわかったことから、パイプハウスにかかる圧力の緩和、渦の軽減に成功したといえる。よってディンプルを応用した形状は、台風風の風による被害の対策効果があると考えられる。

4 パイプハウス強度に地盤の状態が及ぼす影響についての研究

4.1 研究の目的

パイプハウスの強度について地盤の状態に注目すると、ハウスの地盤支持条件に着目した研究 (Kim et al, 2017) はあるが地面の性質等の変化を考慮した解析を行う研究はあまりされていない。実際の台風では、強風とともに降雨による地盤の軟化が発生し、土壌の含水比の上昇につれて地耐力は低下する (町田, 1968)。よって、より正確な解析を行うには地盤性質の考慮が必要と考えられる。したがって、本研究ではパイプハウスの強度に対する地盤状態の影響を明らかにすることを目的とし、CFD 解析によってパイプハウスの周りの風圧係数を測定し、地盤の性質を

考慮した FEM 解析によって応力解析を行う。さらに、簡易的な地盤実験や風洞実験によって各解析の妥当性の検証を行う。

4.2 3D モデルを用いた解析

本研究では、パイプハウスの台風時の強度の把握を目的とした解析を行う。まず、パイプハウス周りの風圧分布を調べるために数値流体解析を行う。図 14 に SolidWorks で作成した解析に用いるパイプハウスの 3D モデルを示す。数値流体解析は SolidWorks2018 の SolidWorks Flow Simulation で行う。解析の条件として台風を想定し、風速を 30 m/s とし、風向きを桁行方向に垂直に設定する。メッシュはモデル近傍に向けて細くなるように設定し、最大メッシュを 10000 mm、最小メッシュを 10 mm とする。また、図 15 に解析領域、表 1 にその他の解析条件を示す。

図 16 にモデル表面の風圧分布、図 17 にハウス周りの流跡線の結果を示す。図 16 に示す結果より、桁行方向に垂直な方向から風が当たると、風上側の地表から肩部にかけて約 30 Pa の圧力が作用し、棟部付近に約 -50 Pa 圧力が発生することがわかる。これにより、台風時には風上側に

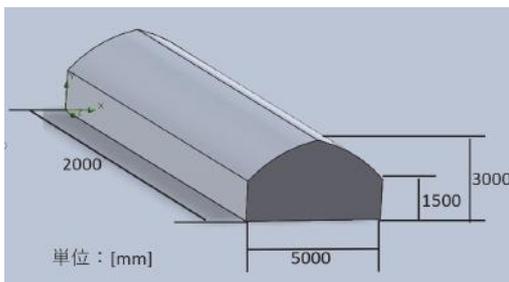


図 14 CFD 解析の 3D モデル

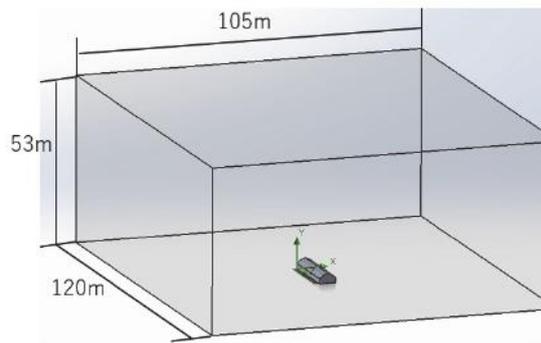


図 15 CFD 解析での解析領域

表 1 CFD 解析の解析条件

設定項目	設定条件および値
解析タイプ	外部流れ
流体	空気 (気体)
流れタイプ	層流及び乱流
圧力	101325 Pa
温度	293.2 K
乱流強度	0.10 %
乱流長さ	0.03001 m

押しつぶす力が発生し、棟部に浮き上がらず力が発生する  
と考えられる。図 17 に示す結果より、ハウス後方(風下側)  
に渦が発生していることがわかる。このように、流体解析  
を行うことで台風時のパイプハウス周りの風の様子や、作  
用する力の様子の把握が可能であることを確認した。

流体解析で得られた結果のうち、ハウス中央に作用する  
相対圧力の値を用いて台風時の中央アーチの変形の様子を  
SolidWorks simulation によって調べる。図 18 に構造解析  
に用いる 3D モデルを示す。解析モデルはソリッドボディ  
で材質を炭素鋼板とし、解析条件としてパイプ端を固定と  
する。図 19 に流体解析によって計算された圧力を作用、  
変形させたときの x 方向の変位の結果を示す。図 19 に示  
す結果より、桁行方向に垂直な方向から風が当たると肩部  
付近の水平変位が最も大きくなることがわかる。また、棟  
部付近は負圧により上方向に引き上げられることがわか  
る。この変形形状は図 6(a) に示す被害パターンの傾向に近  
いことがわかる。よって流体解析によって得られた結果を  
用いた構造解析によってパイプハウスにかかる力やおおよ

その倒壊形状の把握が可能であることを確認した。

つづいて、台風時のパイプハウスの全体の形状変化を流  
体解析と構造解析の連成を SolidWorks 上で行うことで調  
べる。図 15 に示す流体解析の結果を構造解析の外部荷重  
として適用し、モデル底面を固定とした構造解析を行う。  
ここで、モデルはソリッドボディで材質はポリ塩化ビニル  
である。図 20 に連成解析の結果を示す。このように、  
流体解析と構造解析の連成によって、台風時のパイプハウ  
スの全体のおおよその形状変化の様子を調べることが可能  
であると考えられる。

### 4.3 今後の研究方針

現時点での研究結果より、流体解析、構造解析、および  
それらの連成解析によって台風時のパイプハウス周りの圧  
力分布や変形の様子把握が可能であることが分かった。  
今後の予定として、台風時のパイプハウス強度に地盤の状  
態が及ぼす影響について明らかにするために、解析モデル  
をより実際のパイプハウスに近づけるとともに、アーチパ

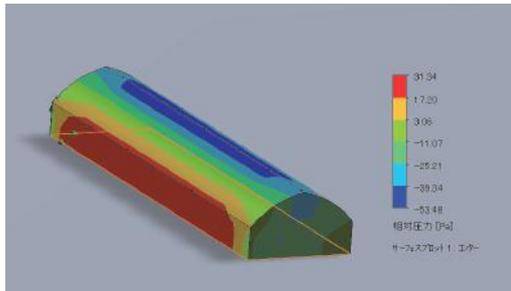


図 16 モデル周りの圧力分布

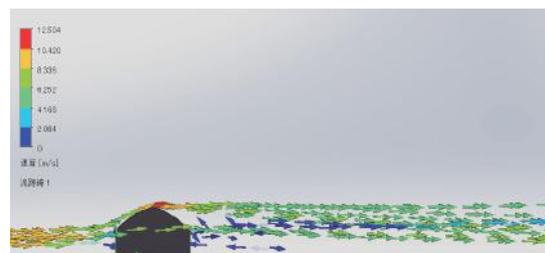


図 17 ハウス周りの流跡線

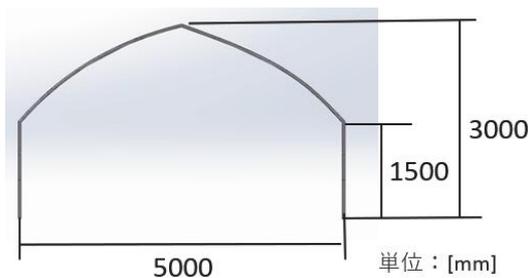


図 18 構造解析モデル

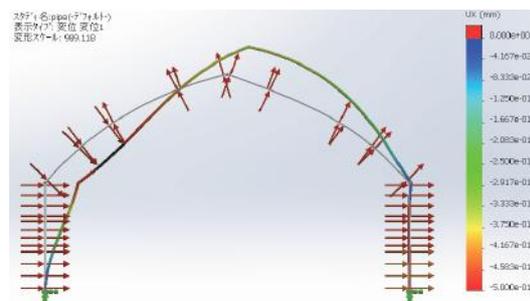


図 19 構造解析の結果 (水平変位)

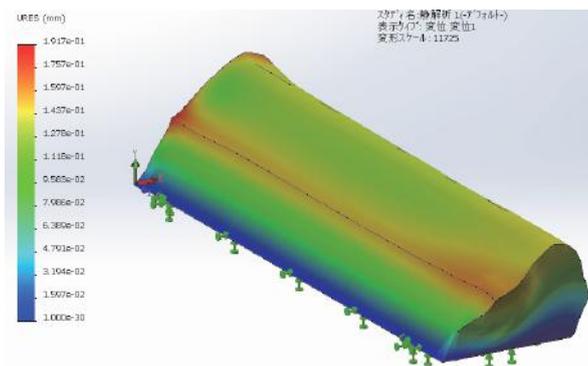


図 20 連成解析による風速 30 m/s での水平変位

イブを地面に差し込んだ状態のモデルを用いて、地面の性質などの解析条件を変化させた解析を行うことが必要だと考える。

#### 4 結言

施設園芸用パイプハウスについて、現在普及しているパイプハウスやその補強方法、パイプハウスについて過去に行われた研究などの調査を行った。また、パイプハウスの台風時の挙動を調べるために、パイプハウスの3Dモデルを用いて流体解析、構造解析、およびそれらの連成解析を行った。解析の結果より、台風時のパイプハウスの挙動を概ね再現することが可能であることが確認できた。今後の予定として、台風時のパイプハウス強度に地盤の状態が及ぼす影響について明らかにするために、より実際のパイプハウスに近い解析モデルを用いて地盤の状態を考慮した解析を行う必要がある。

#### 文献

- 青木彰, パイプハウスにおけるパイプどうしの結束金具, 特開昭 46-104858(1973).
- 株式会社アグリテック東北, “鉄骨農業ハウス”, 商品ラインナップ, AgritecTOHOKU(online), available from <<http://agritec-tohoku.jp/lineup/index.html>>, (参照日: 2020年10月11日).
- Ban, M., Hira, T., Ouchi, S., Imanishi, K., Nomura, H., Enoki, S., Estimate Of Rigidity Of Greenhouses Made Of Steel Pipes, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 166(2016).
- 福本昌人, 柴田昇平, 吉村亜希, LAWEPSによる台風時のパイプハウス地点の風速推定, システム農学, Vol. 24, No. 2, p. 85-92, 2008.
- Hideki, M., Sadanori, S., Yasushi, U., Tomoharu, Y., Wind Pressure Coefficient of a Pipe-Framed Greenhouse and Influence of the Side Gable Openings Using a Wind Tunnel, J. SASJ, Vol. 38, No. 4, pp.237-248, (2008).
- H.W. Lee, S.G. Lee, J.W. Lee, C.S. Kwak, experimental study on the ground support conditions of pipe ends in single span pipe greenhouse, ISHS Acta Horticulturae 893(2009).
- Kim, R., Hong, S., Lee, I., Kyeong, K., Evaluation of wind pressure acting on multi-span greenhouses using CFD technique, Part 2: Application of the CFD model, biosystems engineering I64, pp.257-280(2017).
- 黒住徹, 角山正吉, 大辻純一, 台風7号による園芸施設被害の要因と今後の対策, 奈良農業試験場研究報告, 大30号, pp.33-42(1999).
- 京都府農林水産部農産課, 園芸ハウス台風対策マニュアル, p.4-17(2019).
- 長利洋, 山下進, パイプハウスの断面形状と強度について

- (I), 農業土木試験場技法 .A, 土地改良 (1980).
- 町田武美, 地耐力と機械走行の研究: 第1報地耐力の経時変化, 茨城大学農学部学術報告 (16), pp.43-49, (1968).
- 農林水産省, “施設園芸をめぐる情勢”, 2020a
- 農林水産省, “園芸用施設の設置などの状況”, 2018
- 農林水産省, “令和元年台風15号に係る被害状況”, 2020b.
- 森山英樹, 佐瀬勘紀, 小綿寿志, 石井雅久, 台風0221による千葉県・茨城県下の園芸施設構造の被災状況と考察, 農業施設, 34巻3号, 199-212(2003).
- 森山英樹, 奥島里美, 佐瀬勘紀, 石井雅久, 竜巻の3次元風向および風速がパイプハウスの破壊モードに及ぼす影響, 農業施設, Vol. 43, No. 4, pp.152-159(2012).
- H. Moriyama, D. R. Mears, S. Sase, H. Kowata, M. Ishi, Design Considerations for Small-Scale Pipe Greenhouses to Prevent Arch Buckling Under Snow Load, An ASAE Meeting Presentation, Paper Number: 034047(2003).
- M. Hideki, David R. M., S. Sadanori, I. Atsuo, Y. Tomoharu, Reinforcement for Pipe-Framed Greenhouse under Snow Load and Design Optimization Considering Steel Mass, J. SASJ, Vol. 38, No. 4, pp.263-274(2008).
- 村上克介, パイプ交差連結用金具, 特開昭 59-18845(1991).
- 大家武, ビニールハウスの骨材接続金具, 特開昭 47-27143(1973).
- 小川秀雄, 津下一英, 佐藤義和, 干場信司, 山下進, パイプハウスの強度に関する実験的研究 (I), 農業施設, Vol.19, No.3(1989), pp.29-38.
- Y.Tominaga, S.Akabayashi, T.Kitahara, Y.Arinami, Air flow around isolated gable-roof buildings with different roof pitches: Wind tunnel experiments and CFD simulations, Building and Environment, Vol.84, 204-213(2015).
- 高橋和也, 植松康, 園芸用パイプハウスの風荷重および雪荷重による崩壊過程, 農業施設, Vol.47, No.1, pp. 1-8, (2016).
- 高橋和也, 植松康, 園芸用パイプハウスの風荷重による崩壊過程と補強効果の三次元解析による検討, 農業施設, Vol.49, No.2, pp.77-85(2018).
- 高尾春花, パイプハウスの台風対策, 奈良高専卒業論文 (2019).

#### References

- Aoki, A., Bundling metal fittings between pipes in a pipe house, Japanese patent disclosure S46-104858 (1973).
- Agritec Tohoku Co., Ltd., "Steel Agricultural House", Product Lineup, AgritecTOHOKU (online), available from <<http://agritec-tohoku.jp/lineup/index.html>>, (accessed on 11 October, 2020)
- Ban, M., Hira, T., Ouchi, S., Imanishi, K., Nomura, H., Enoki, S., Estimate Of Rigidity Of Greenhouses Made

- Of Steel Pipes, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 166(2016).
- Fukumoto, M, Shibata, S, Yoshimura, A, Wind speed estimation at pipe house points during typhoons by LAWEPS, System Agricultural Science, Vol. 24, No. 2, p. 85-92(2008).
- Hideki, M., Sadanori, S., Yasushi, U., Tomoharu, Y., Wind Pressure Coefficient of a Pipe-Framed Greenhouse and Influence of the Side Gable Openings Using a Wind Tunnel, J. SASJ, Vol. 38, No. 4, pp.237-248, (2008).
- H.W. Lee, S.G. Lee, J.W. Lee, C.S. Kwak, experimental study on the ground support conditions of pipe ends in single span pipe greenhouse, ISHS Acta Horticulturae 893(2009).
- Kurozumi, T., Kakuyama, M., Otsuji, J., Factors of damage to horticultural facilities caused by typhoon No. 7 and future countermeasures, Nara Agricultural Experiment Station Research Report, No.30, pp.33-42, 1999.
- Kyoto Prefecture Agriculture, Forestry and Fisheries Department, Agricultural Products Division, Horticultural House Typhoon Countermeasure Manual, p.4-17, (2019).
- Nagatoshi, H, Yamashita, S, Cross-sectional shape and strength of pipe house (I), Agricultural Civil Engineering Experiment Station Technique. A, Land Improvement(1980).
- Machida, T., Study of bearing capacity and machine running: 1st report Changes in bearing capacity over time, Academic Report of Faculty of Agriculture, Ibaraki University (16): pp.43-49( 1968).
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, "Damage to Typhoon No. 15 in the first year of Reiwa", (2020b).
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, "Situation Concerning Facility Horticulture"(2020a).
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, "Status of installation of horticultural facilities"(2018).
- Moriyama, H., Sase, K., Kowatari, H., Ishii, M., Damage to the structure of horticultural facilities in Chiba and Ibaraki prefectures and consideration by typhoon 0221, Agricultural facilities, Vol. 34, No. 3, pp.199-212, (2003).
- Moriyama, H., Okushima, S., Sase, K., Ishii, M., Effect of 3D wind direction and speed of tornado on the destruction mode of pipe house, Agricultural facilities, Vol. 43, No. 4, pp.152-159(2012).
- Moriyama, H., D. R. Mears, Sase, S., Kowata, H., Ishi, M., Design Considerations for Small-Scale Pipe Greenhouses to Prevent Arch Buckling Under Snow Load, An ASAE Meeting Presentation, Paper Number: 034047(2003).
- M. Hideki, David RM, S. Sadanori, I. Atsuo, Y. Tomoharu, Reinforcement for Pipe-Framed Greenhouse under Snow Load and Design Optimization Considering Steel Mass, J. SASJ, Vol. 38, No. 4, pp.263-274, (2008).
- Murakami, K., Metal fittings for crossing pipes, JP-A-59-18845 (1991).
- Oya, T, Aggregate connection fittings for greenhouses, Japanese patent disclosure S47-27143 (1973).
- Ogawa, H., Tsushita, K., Sato, Y., Hoshihara, S., Yamashita, S., Experimental Study on Strength of Pipe Houses (I), Agricultural Facilities, Vol. 19, No. 3(1989).
- Tominaga, Y., Akabayashi, S., T.Kitahara, Arinami, Y., Air flow around isolated gable-roof buildings with different roof pitches: Wind tunnel experiments and CFD simulations, Building and Environment, Vol.84, 204-213(2015).
- Takahashi, K., Uematsu, Y., Collapse process due to wind and snow loads of horticultural pipe houses, Agricultural facilities, Vol. 47, No. 1, pp. 1-8(2016).
- Takahashi, K., Uematsu, Y., Examination by three-dimensional analysis of decay process and reinforcement effect due to wind load of horticultural pipe house, Agricultural Facilities, Vol. 49, No. 2, pp.77-85(2018).
- Takao, H., Typhoon Countermeasures for Pipe House, Nara National Insutitute of College Graduation Thesis(2019).
- Kim, R., Hong, S., Lee, I., Kyeong, K., Evaluation of wind pressure acting on multi-span greenhouses using CFD technique, Part 2: Application of the CFD model, biosystems engineering 164, pp.257-280(2017).

# 認知症予防を目的とした握力低下防止機器の開発 —奈良高専学生アイデアチャレンジにおける機器設計および開発—

門田大陸\*, 末永共助\*\*, 福田泰士\*\*\*, 林航平\*, 宮本拓歩\*, 松本高輝\*, 須田敦, 谷口幸典

Development of Preventing Decreased Grip Strength Apparatus  
Aims to Prevent of Dementia  
- Design and Development by Student Idea Challenge -

Riku MONDEN\*, Kyosuke SUENAGA\*\*, Taishi FUKUDA\*\*\*, Kouhei HAYASHI\*,  
Takuho MIYAMOTO\*, Kouki MATSUMOTO\*, Atsushi SUDA, Yukinori TANIGUCHI

本取組は奈良工業高等専門学校内の学生向け活動支援「学生アイデアチャレンジ（以下、SICと略す）」の支援のもと、本校機械工学科主導の有志集団 MeCafe（Mechanical+Cafeの造語、メカフェ）を活動母体として、認知症の予防を目的とした製品の開発を行った。製品開発は、握力と認知症の関性に注目し、3D-CADやArduinoを用いて行った。本取組および製作した成果物は、平成31年度（2019年度）文化祭で展示をおこなった。また本取組および製品は、簡単かつユニークな認知症予防法として評価され、「JIDF学生文化デザインコンテスト2019」にて協賛会社6社のうち3社より賞を授与された。なお、本取組で作成する認知症予防機器は簡易的な認知症予防につながるため、SDGsの第3項目「すべての人に健康と福祉を」の達成に貢献する。

## 1 はじめに

近年、日本における高齢者の認知症患者数の増加が問題視されている。また少子化の影響は、この問題の重大性を高めている。例えば、認知症患者の介護をおこなう者の高齢化が進行していることは、少子化に伴う課題である。以上のように、少子高齢化が進む日本において、この問題は今後も向き合わなければならない課題である。

本取組は、認知症患者の増加を抑止することを目的として、日常的に認知症予防が可能な機器の開発をおこなった。本稿は、製作した認知症予防機器と期待される効果および製作過程について論ずる。また、本取組を「JIDF学生文化デザインコンテスト2019」において発表したもので、それについても報告する。

## 2 2019年度『奈良高専学生アイデアチャレンジ』

### 2.1 概要

奈良高専学生アイデアチャレンジ（以下、SIC）は、学生が実践能力や課題解決能力を高める人間に成長することを目的とした枠組である。本枠組は課外活動の一環とし、学生チャレンジ部門およびイノベティブアイデア創出部

門の2部門で構成される。以下にSICにおける2部門の内容を示す。

#### (1) 学生チャレンジ部門

学生が提案する「挑戦的」な課題又は「学校環境の改善」、「広報のアイデア」等に係る課題で、客観的に成果を期待できるものに対して、単年度の活動支援を行うものである。

#### (2) イノベティブアイデア創出部門

地域イノベーションコンソーシアム会員企業（以下、イノコン企業と略す）との共同教育の一環として実施される。イノコン企業が提示する課題を解決するアイデアを募集し、コンテスト形式で審査および表彰が行われる。実際の企業における問題解決を通して、学生が習得した知識の活用方法や斬新な発想を実践的に養うことを目的としている。学生チャレンジ部門同様、単年度の活動支援が行われる。

本活動は上記に示す2部門のうち、(1)の学生チャレンジ部門に応募する。

### 2.2 審査概要および審査結果

学生チャレンジ部門は、書類審査による一次審査および

\* 機械工学科4年, \*\* システム創成工学専攻機械制御システムコース1年, \*\*\* 阪神高速技術株式会社（元奈良高専学生）

プレゼンテーション形式による二次審査によって採択の可否が決定される。書類審査では、活動の趣旨や予算等が問われる。また、プレゼンテーションは学生がSIC担当教員に対して行い、活動の内容についてより具体的な説明が求められる。

本取組は審査の結果、SIC学生チャレンジ部門として採択された。そのため、本取組は単年度の予算支援を受け、活動を行った。

### 3 認知症患者の増加と対策

#### 3.1 高齢化にともなう認知症患者の増加

現代の日本において、少子高齢化は大きな問題として取り上げられている。総務省は、日本の総人口が2011年以降継続して減少していることを報告している。また、2018年の統計は、前年より27万人もの減少が確認されていることを明らかにしている。

少子化が進む中で、高齢化の進行は顕著に現れている。65歳以上の高齢者は2017年から2018年にかけて44万人増加している。2018年における65歳以上の割合は約28%であり、2040年には約35%にのぼると報告している<sup>1)</sup>。また、図1に示す内閣府の資料によると、65歳以上における認知症患者数は2012年で15%、2060年には25%を占め、日本の総人口の約10%に至ると推測されている<sup>2)</sup>。これら2件の報告から高齢者の増加に伴い、認知症患者数は増加すると考えられる。

認知症患者の増加により、介護者に対する負担はより大きくなると考えられる。認知症の症例として徘徊や暴言および暴力が挙げられる。警察庁の発表によると、2018年における認知症患者の行方不明者数は約17000人と報告され、この数は行方不明者全体の中の20%であり、行方不明になる原因の中で最も多い割合である<sup>3)</sup>。これは2012年に対して7000人近く増加している。この数は、今後の高齢者の増加に従ってさらに増加すると考えられる。介護者は、このように予測不可能な行動をとる認知症患者に対して、適切な介護を行うことが求められる。また、認知症患者は自分の記憶が一致しないことに対する恐怖感から、

身近な介護者に対して暴言や暴力などを振るう場合がある。その場合、介護者は日々耐え難い心身の負担を抱えながら介護を行うことになる。このような症例を示す認知症患者の増加にともない、介護者一人当たりの負担はより大きくなることが予想される。しかし、少子化の進行により、認知症患者に対する介護者は減少傾向にあることが問題になっている。そのため、認知症患者の増加を抑止することが求められている。

#### 3.2 認知症の予防策

国立長寿医療研究センターは、握力と認知症の間に関係があることを明らかにしている。握力が26 kgf未満の男性および18 kgf未満の女性の場合、認知症発症の確率は2.1倍になることが報告されている<sup>4)</sup>。この報告より、握力の低下を防止することで、認知症発症の確率を軽減させることができると考えられる。また、機会があれば認知症予防に取り組みたいと関心を示す健康な高齢者は30%~40%程いる。その中には、何らかの認知低下の自覚があり、認知症への不安を持っている人たちが多くと考えられる。さらに、認知検査では認知機能の低下が見られないものの、認知機能低下の自覚をもつ者は、将来認知症になる可能性が高いことが知られている<sup>5)</sup>。以上のような報告は、高齢者が簡単に認知症の予防に取り組む機会を増やすことが必要であることを示している。

### 4 認知症予防機器の設計および製作

#### 4.1 機器概要

3章で述べたように、握力と認知症の間には関係があることが明らかにされている。そこで、握力の低下を防止することで認知症を予防する機器の開発を試みた。図2に、製作した認知症予防機器を示す。本機器は、グリップ部を握る強さに応じて音を出力する楽器である。図2中の左に示す楽器部および右側のスティック部により構成される。フレームは、3Dプリンタ（フュージョンテクノロジー製L-DEVO M2048, M3145）を用いて印刷した。また、マイコンの一種であるArduino (UNO R3)を用いて制御をお

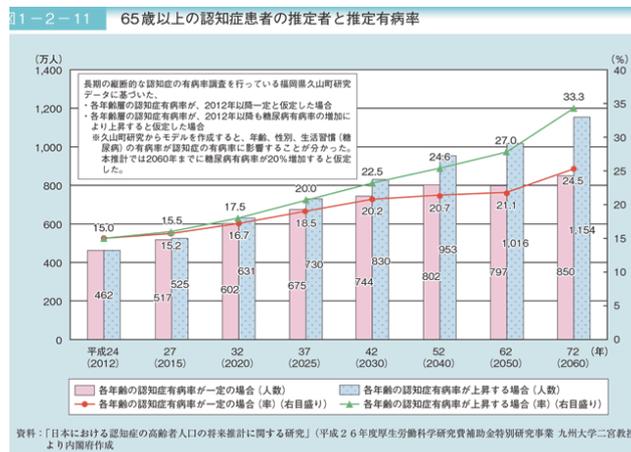


図1 65歳以上における認知症患者数の推移<sup>1)</sup>

こなった。Arduino は力センサ (タイコエレクトロニクス製 SENSOR RORCE LOAD CELL 100LBS) を介して握る力を読み込み、その力に応じた音を出力する。音を出力する場合、使用者は出力ボタンを押下した上でグリップを握る必要がある。本機器は演奏モードと楽曲モードの2種類のモードがあり、スティック下部のモード切替スイッチで切り替えが可能である。演奏モードは、握力に応じてド (523 Hz) ~ シ (1976 Hz) の単音を出力することができる。また、楽曲モードは握力に応じて指定した曲を出力するモードである。本認知症予防機器を用いることで、日常的に楽しみながら握力の低下を防止することができると考えられる。以下より本機器の詳細を示す。

#### 4.2 ハードウェアの設計および製作

図3に3D-CADを用いて設計した本機器のフレームの断面モデルを示す。図3に示すモデルの設計は3D-CADソフトであるSolidWorksを用いた。図3(a)は楽器部の断

面モデル、図3(b)はスティック部の断面モデルである。図3(a)中に示すa部はArduinoを内蔵するための窪みである。また、b部はスピーカーを内蔵するための窪みである。c部が示すグリップ内を垂直に通る穴は、Arduinoと接続する配線を通すためのものである。d部の穴は、力センサを内蔵する目的で設けられている。図3(b)中のe部は電池を内蔵するための窪みである。f部が示す穴は、楽器部のArduinoと電池を接続する導線を通すために設けられている。

#### 4.3 ソフトウェアの設計・製作

4.1節で述べたように、本認知症予防機器の制御にはArduinoを用いた。Arduinoはハードウェアである「Arduinoボード」と、ソフトウェアである「Arduino IDE」から構成されるシステムである。図4に、本機器に用いたArduinoボードである「Arduino UNO R3」を示す。Arduino UNO R3は長辺が69 mm、短辺が53 mmである。

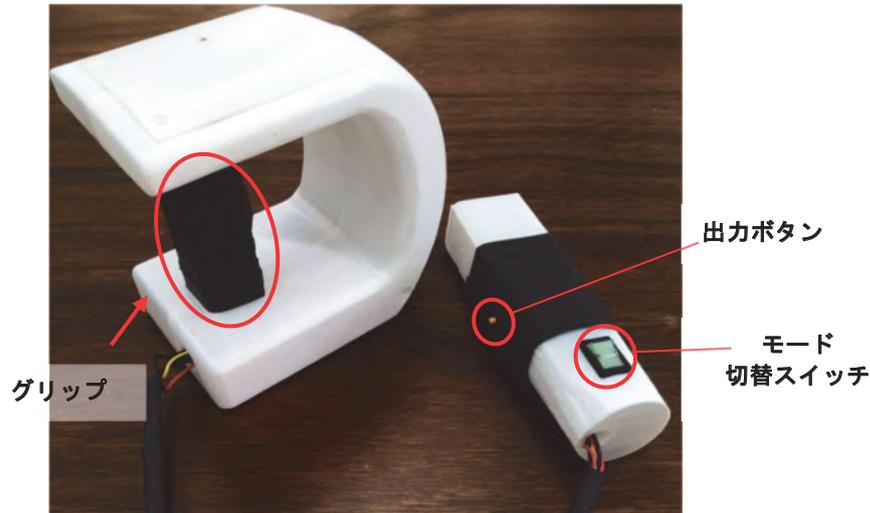
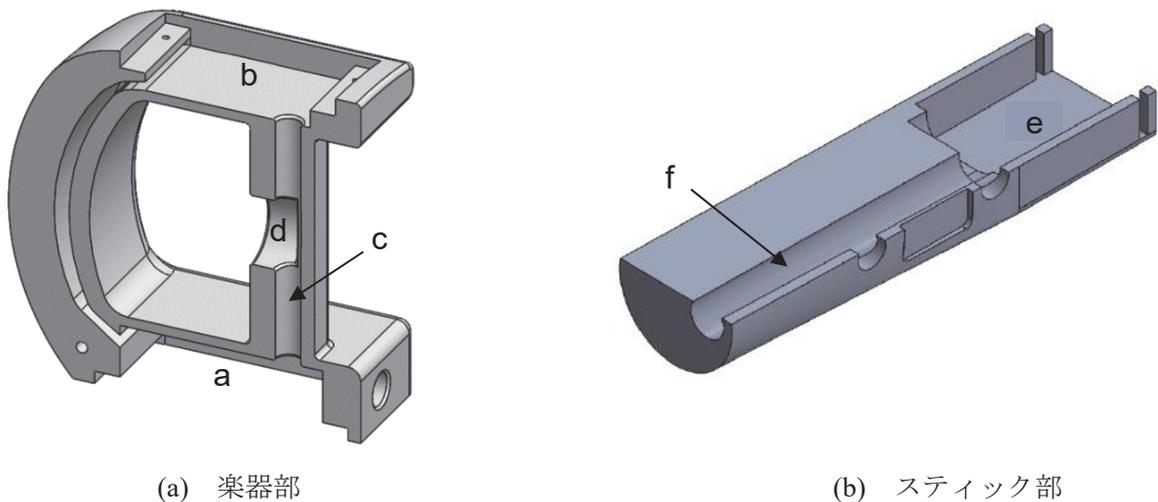


図2 製作した認知症予防機器



(a) 楽器部

(b) スティック部

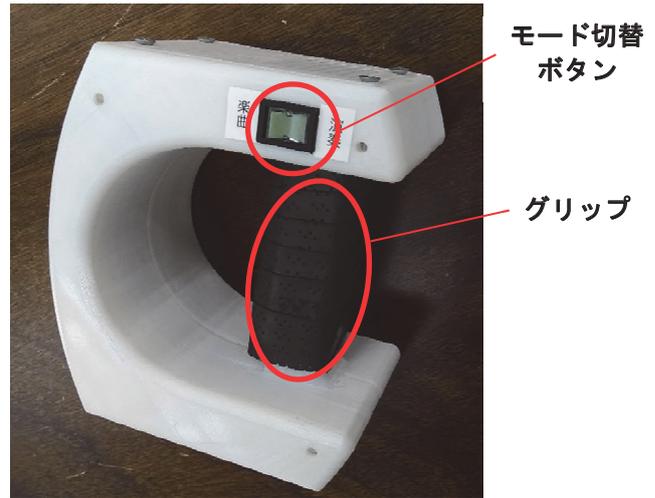
図3 フレームのCADモデル

本機器に用いたプログラムは、グリップ部を握る力に応じた音出力されるように作成した。表1に、必要とされる握力と出力される音および曲の対応を示す。

4.4 機器の改良

図2に示した認知症予防機器は改善点が多数見受けられたため、改良をおこなった。図5に改良後のモデルを示す。図2に示す改良前のモデルは両手による操作が必要であった。このモデルを文化祭で展示したところ、高齢者が使用することを考えたとき、両手を必要とする操作は複雑であるという意見を頂いた。そのため操作性の向上を目的として、片手のみで操作できるよう改良を行った。また図5に示す機器は、上部に図2のモデルにないLEDランプが搭載されている。LEDランプは、グリップを握る強さに応じて点灯する数が増えるよう設計されている。これは、高齢者は聴覚が衰えている場合があるため、音以外の刺激も付与させたほうがよいという意見を頂いたためである。

このように、本機器は容易に改良できるため、今後も目的や要望に応じた改良が可能であると考えられる。



(a) 機器全体図



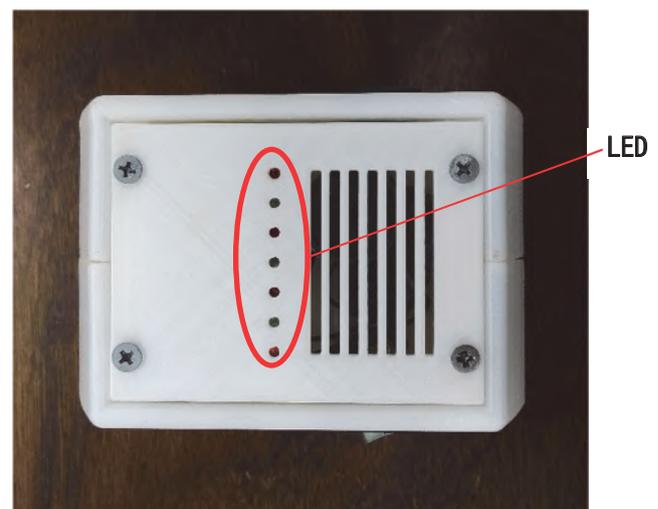
(b) 機器使用時



図4 Arduino UNO R3

表1 握力と出力される音および曲

握力[kgf]	音階	曲
15.2	ド	ジングルベル
16.4	レ	お正月
17.6	ミ	大きな古時計
18.8	ファ	赤とんぼ
19.9	ソ	こいのぼり
21.1	ラ	もろびとこぞりて
22.3	シ	故郷 (ふるさと)
23.5	ド	/
24.6	レ	
25.8	ミ	
27.0	ファ	
28.6	ソ	
29.3	ラ	
30.5	シ	



(c) 機器上面

図5 改良後の機器

## 5 日本文化デザインフォーラム 学生文化デザインコンテスト 2019

### 5.1 コンテスト概要

日本文化デザインフォーラム（以下、JIDF）学生文化デザインコンテスト 2019 は、日本文化デザインフォーラムが主催するコンテストである。当該コンテストは、これからの時代を担う若者たちが、どのようなことを考え、取り組んでいるのかに着目し、その考えや取り組みを応援したいとの思いで昨年創設されたとされる。学生を対象とし、「世界をもっとクリエイティブにするプロジェクト」を募集している<sup>6)</sup>。審査は、書類選考による一次審査の後、プレゼンテーションによる二次審査が行われる。これらを通して、優秀と認められた取組に賞が授与される。

### 5.2 コンテスト結果

本取組は、JIDF 学生文化デザインコンテスト 2019 に応募した結果、一次審査を通過した。その後、2019 年 11 月 15 日に LOFT9 Shibuya にて JIDF 会員の立ち合いの下、プレゼンテーションをおこなった。プレゼンテーションの様子はインターネットによって全世界に配信されている<sup>7)</sup>。図 6 に、プレゼンテーションの様子を示す。二次審査には 6 グループが残った。二次審査の結果、本取組はコンテスト協賛会社 6 社のうち、株式会社乃村工藝社、株式会社ティー・ワイ・オーおよび株式会社丹青社より賞を授与された。3 社より賞を授与されたため、会場は活況を呈した。本結果は 2019 年 12 月に奈良高専後藤校長に報告している<sup>8)</sup>。

本取組は、認知症患者の増加を抑止することを目的として、日常的に認知症予防が可能な機器の開発を試みた。開発にあたり調査を行なった結果、握力が低い者ほど認知症発症のリスクが高いことが明らかになった。そこで本取組は、この事実を元に、握る強さに応じて出力される音に変化する認知症予防機器を開発した。開発にあたって、製作機器は高齢者が使用することを想定し、簡易な操作で動作するように心がけた。また、製作の際は部品が微細であるため接合や組立に苦労した。今後の改良点としては、握力

測定や多人数で一緒に演奏できるといった新たな機能の追加、さらに毎日の握力データを表示および測定し、記録する機能の追加が挙げられる。他にも、現在は握力 23.5 kgf 以上において音楽が流れない仕様になっているため、今後は男性も女性も握力の低下防止を楽しむことができるように、それ以上の握力で流れる曲を追加することを検討する。これによって、使用者が飽きず、継続的に楽しみながら認知症予防を行うことができる製品になると期待できる。

### 謝辞

本稿を終えるにあたり、「奈良高専学生アイデアチャレンジ」および「MeCafe」のご支援に心より感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 総務省, 統計局統計トピックス No.113 統計からみた我が国の高齢者 - 「敬老の日」にちなんで -, 1. 高齢者の人口, <https://www.stat.go.jp/data/topics/topi1131.html>, (参照日 2020 年 2 月 10 日).
- 2) 内閣府, 平成 29 年版高齢社会白書 (概要版), 高齢者の健康・福祉, [https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/html/gaiyou/sl\\_2\\_3.html](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/html/gaiyou/sl_2_3.html), (参照日 2020 年 2 月 10 日).
- 3) 警察庁, 平成 30 年における行方不明者の状況について, <https://www.npa.go.jp/safetylife/seianki/fumei/H30yukuehumeisha.pdf>, (参照日 2020 年 2 月 10 日).
- 4) 荒井秀典, 介護予防ガイド, [https://www.ncgg.go.jp/cgss/news/documents/yobo\\_guide.pdf](https://www.ncgg.go.jp/cgss/news/documents/yobo_guide.pdf), (参照日 2020 年 2 月 10 日).
- 5) 厚生労働省, 認知症予防・支援マニュアル (改訂版), [https://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1h\\_0001.pdf](https://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1h_0001.pdf) (参照日 2020 年 9 月 22 日).
- 6) JIDF, 学生文化デザイン賞 2019, <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000011.000026246.html>, (参照日 2020 年 9 月 22 日).
- 7) jidflabo, INTER-DESIGN FORUM TOKYO 2019, YouTube, <https://youtu.be/jQrHBGkXFCM?t=4152>, (参照日 2020 年 9 月 22 日).
- 8) 奈良工業高等専門学校, 本校学生が JIDF 学生文化デザイン賞 2019 で協賛社賞を 3 件受賞しました, <https://www.nara-k.ac.jp/information/2020/03/jidf20193.html>, (参照日 2020 年 9 月 22 日).



図 6 プレゼンテーションの様子

# 小径白金球のポリマー水溶液中への浸漬時の強制対流膜沸騰におけるMHF点温度と蒸気膜崩壊様相

島岡三義 中村篤人 池田修啓\*

MHF Point Temperature and Behavior of Vapor Film Collapse under Forced Convection Film Boiling Due to Quenching of Small Platinum Sphere into Polymer Aqueous Solution

Mitsuyoshi SHIMAOKA, Shigeto NAKAMURA and Nobuhiro IKEDA

It is necessary to improve the repeating characteristics of the immersion quenching experiment in the rotary-arm-type quenching test system. The vapor film around the Pt sphere at the tip of the rotary-arm collapses not only due to the temperature, but also due to the surrounding flow conditions. Therefore, the authors have been examined whether the vapor film can be forcibly collapsed by shaking or rotating the arm, or whether the repeatability of the immersion quenching experiment can be improved. Using a polymer with an aqueous solution concentration of 20 vol.% by volume as a coolant, and the rotating arm was rotated in five swing patterns at a tangential velocity in the range of 30 to 180 mm·s<sup>-1</sup>. In the case of the tangential velocity is 180 mm·s<sup>-1</sup>, on the arm swing patterns that are the maximum rotation angle of 120° and the return angle of 60° (type A), and the maximum rotation angle of 100° and the return angle of 20° (type D), MHF point temperatures were relatively good agreement. In the case of the arm swing pattern A, the MHF point temperature was increased with the tangential velocity. In addition, the relatively good agreement of MHF point temperature was confirmed in the tangential velocities of 70 mm·s<sup>-1</sup> and of 180 mm·s<sup>-1</sup>. The collapse of the vapor film around the Pt sphere was often observed at a location other than the connecting point of the Pt sphere and the arm. In the case of the tangential velocity of 30 mm·s<sup>-1</sup>, as the collapse type of vapor film, not only the ruptured type but also the turned up type, which is more interesting, was observed.

## 1. はじめに

筆者らは、金属材料の焼入れ用冷却剤の冷却特性を把握するための、小型で操作が簡便で、しかもメンテナンスが容易な試験装置の開発を進めてきた<sup>(1)</sup>。この装置によって、回転半径100mmのアームの先端に直径4mmの白金球を取り付け、白金球を所定の温度に加熱した後に、アームを回転させて冷却剤中に浸漬急冷し、白金球に挿入した熱電対によって白金球の急冷開始温度その他の冷却剤の冷却特性を調べている。アームの回転角速度を任意に設定可能なため、冷却剤中での白金球の移動速度を変化でき、白金球支持アーム軸と重力方向とのなす角度が時々刻々変化することから、多様な蒸気膜崩壊挙動が観察されている<sup>(2)</sup>・<sup>(8)</sup>。なお、アーム回転用のモーターの回転が滑らかでなく回転ムラがある場合（回転角度分解能が1.8degree/revolution）は、揺動振動により蒸気膜が強制的に崩壊さ

れることが観察され、回転角速度が小さい場合により顕著であった<sup>(1)</sup>・<sup>(3)</sup>。そのため、アーム回転用モーターの回転角度分解能を192000pulse/revolutionに高めて揺動振動が生じないようにした<sup>(4)</sup>。

ところで、白金球を加熱する際に熱伝導によって支持アームも加熱されるが、アームの直径が0.5mmなので、アームまわりの蒸気膜が白金球まわりの蒸気膜より先行して崩壊することから、白金球まわりの蒸気膜崩壊起点は白金球とアームの接続部になり、爆発的に崩壊すると考えられる。しかし、ポリマー水溶液においては、高速度ビデオカメラによる観察から、蒸気膜崩壊起点は接続部に限らず、蒸気膜形成が冷却剤の沸点近傍まで保持される場合は、蒸気膜が白金球面で捲れるように崩壊することもあった<sup>(6)</sup>・<sup>(8)</sup>。筆者らは種々のアームの回転角速度およびアーム回転停止角度で浸漬急冷実験を行ってきたが、蒸気膜がアーム回転中に崩壊する場合もあれば、アーム停止後に崩壊する

\* 大同化学工業（株）奈良生産技術事業所技術研究所

場合もあるものの、いずれも自発的な崩壊であった。同一条件で複数回実験したときの白金球の急冷開始温度、すなわち、特性温度にはばらつきが生じることが避けられず、ばらつきの原因を探ってきている。特性温度はばらつきが、膜沸騰段階の冷却曲線は良く一致しており、蒸気膜崩壊起点がアーム接続部に限らないことから、ばらつきの原因を解明できていない。

そこで本研究では、特性温度がばらつき原因の一つは、自発的に蒸気膜が崩壊することであると考え、蒸気膜を強制的に崩壊させることで特性温度のばらつきを抑制することを試みた。

## 2. 実験装置および実験方法

白金（純度 99.95 wt%, Pt）球（直径  $d = 4\text{mm}$ ）に直径が  $0.5\text{mm}$  の貫通穴をあけ、Pt 球の保持と温度測定用 K 型シース熱電対（素線径が  $0.08\text{mm}$ 、シース外径が  $0.25\text{mm}$ ）を保護するための Pt 管（外径  $0.5\text{mm}$ 、内径  $0.3\text{mm}$ ）を通してレーザー溶接した。さらに、反対側から Pt 小球中心部まで Pt 棒を挿入して端面をレーザー溶接して球面に研磨した。液体冷却剤の Pt パイプ内への進入を阻止するために、いくつかのステンレス製金具で構成した。熱電対シース部だけでは Pt 球を支えきれないため、熱電対の保護管とそれを支える管を二重にして回転アーム（支持棒体）とした。

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。アーム回転用モーターの回転軸に取り付けたフレームに、高速度ビデオカメラを設置し、フレームレートを、 $FR = 2000\text{fps}$ 、シャッター開放時間を  $0.5\text{ms}$  として回転移動する Pt 球まわりの蒸気膜形成並びに崩壊挙動を観察した。対向設置したハロゲンランプヒーターで Pt 球を加熱し、 $870^\circ\text{C}$  に達した後に Pt 小球が冷却液体表面上  $1\text{mm}$  の位置までは Pt 球中心の周

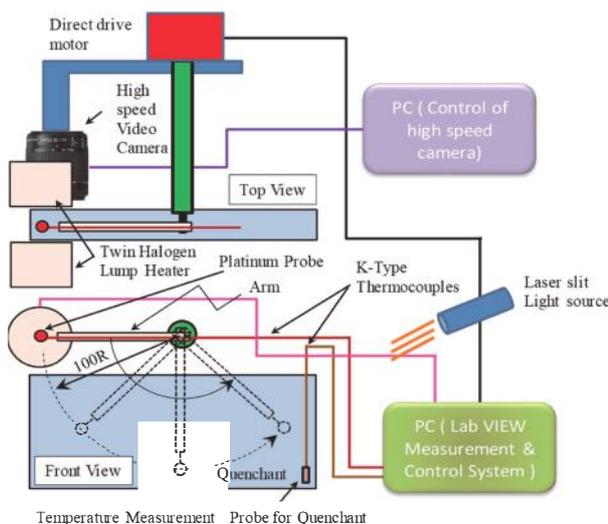


Fig. 1 Schematic illustration of the experimental apparatus.

速度（以後、「接線速度」と記す）を  $V_0 = 140\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$  で回転させ、 $850^\circ\text{C}$  に低下した後にポリマー水溶液（大同化

学工業（株）製、水溶性焼入れ液ソリュブルクエンチ、ZN-04、20 vol.% 水溶液、 $640\text{cc}$ 、 $30$  ( $29 \sim 34$ )  $^\circ\text{C}$ ) 中に浸漬、急冷した。蒸気膜を強制崩壊させるために、Fig. 2 に示すように、アームを振り子のように回転させた。Pt 球の接線速度は  $V = 5 \sim 180\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$  の範囲とした。Pt 球中心温度と表面温度には無視しがたい温度差が生じると考えられるが、本研究では特性温度に相当する膜沸騰極小熱流束（Minimum Heat Flux, MHF）点温度に着目することから、便宜的に集中熱容量近似して冷却曲線、冷却速度、熱流束および熱伝達率を求めることとした。なお、こ

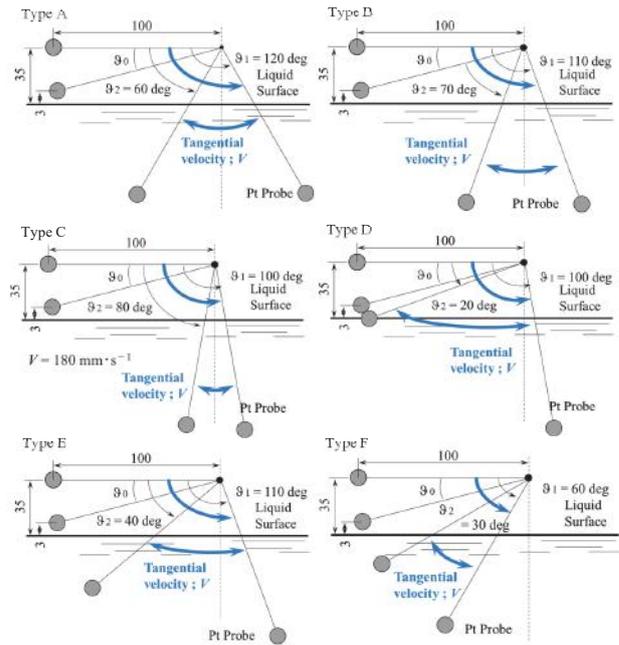


Fig. 2 Swing patterns of the rotary-arm.

れらの計算においては、Pt の密度と定圧比熱に温度依存性を持たせた<sup>(1)</sup>。同一条件での浸漬実験を 10 回実施して実験の繰り返し特性も調べた。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 $V = 30\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ の場合の冷却過程

Pt 球の接線速度が  $V = 30\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$  の場合、アームを水平位置から  $120^\circ$  程度以上回転させると蒸気膜が崩壊した。アーム最大回転角度が  $120^\circ$ 、戻し角度  $60^\circ$  の Type A での冷却曲線を Fig. 3 に示す。アーム回転角度が  $120^\circ$  に到達以前に Pt 球の温度低下が急変しているのは、自発的に蒸気膜が崩壊していることを示す。  $120^\circ$  で折り返して蒸気膜が崩壊しているケースが多いが、温度低下の急変、すなわち、MHF 点温度は  $200 \sim 120^\circ\text{C}$  の範囲にばらついており、この程度の接線速度ではアームを振り子のように振って蒸気膜を強制的に崩壊させることはできないことがわかった。なお、蒸気膜が崩壊する以前の膜沸騰段階の冷却曲線は一致しており、Pt 球の冷却剤突入時の空気の巻き込みやアームまわりの蒸気膜の形成・崩壊挙動に大きな違いはないものと考えられる。

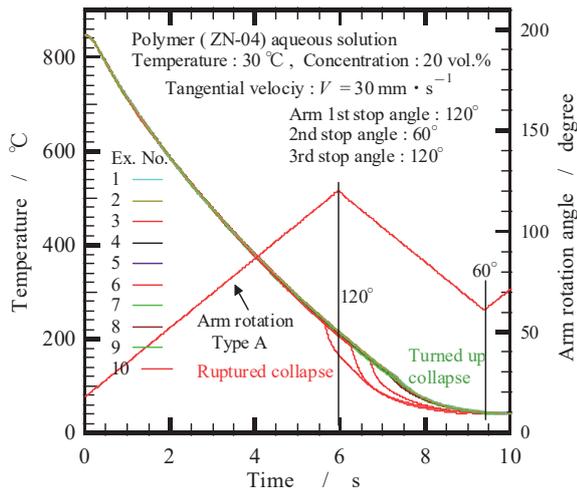


Fig. 3 Cooling curves at  $V = 30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  and in the arm swing type A.

$V = 30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  ではアームの停止の衝撃では蒸気膜を崩壊させることはできないことがわかったが、アーム最大回転角度が  $60^\circ$ 、戻し角度  $30^\circ$  の Type F では、Fig. 4 に示すように、最初のアーム回転の折返しでは蒸気膜が崩壊しないものの、アーム回転振幅が小さいために、MHF 点温度のばらつきは小さくなっている。

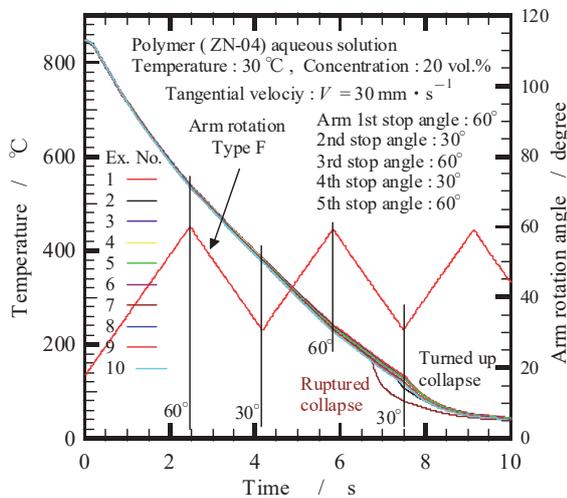


Fig. 4 Cooling curves at  $V = 30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  and in the arm swing type F.

また、この接線速度では MHF 点温度は  $200^\circ\text{C}$  程度以下になると考えられ、蒸気膜が何らかの外乱で崩壊する場合は爆発的あるいは破裂的崩壊（崩壊音を伴う）と言えるもので、崩壊温度が低くなるほど捲れ型崩壊（崩壊音は伴わないか極めて小さかった）であった。

MHF 点温度が約  $189^\circ\text{C}$  の爆発的崩壊の様相を Fig. 5 に示す。崩壊起点は Pt 球進行方向下部で Pt 球とアームの接続部ではないことがわかる。蒸気塊が激しく攪拌しながら縮小していき、Pt 球面を覆った微小な蒸気泡が徐々に凝

縮して消滅していった。

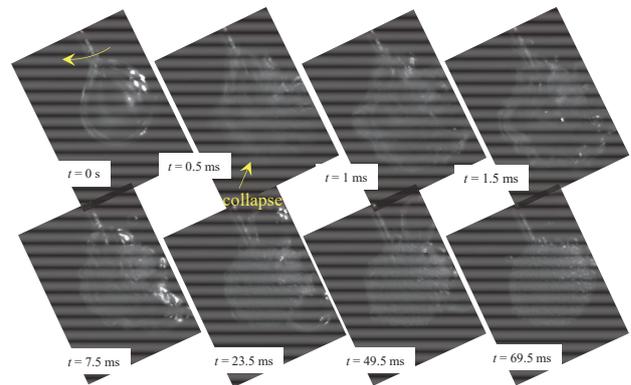


Fig. 5 High speed video images of vapor film formation and its ruptured type collapse pattern at  $V = 30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

一方、MHF 点温度が約  $123^\circ\text{C}$  の場合は、Fig. 6 に示すような捲れ型崩壊であった。この場合の蒸気膜崩壊起点もアーム接続部ではなく、Pt 球進行方向下部からアーム接続部に向かって、蒸気膜が剥がれるというよりは捲れるような感じで崩壊していた。Pt 球面上の蒸気膜の消滅は早かったが、蒸気膜の崩壊が冷却剤の沸点近傍であり、冷却剤との温度差も小さいために、アームに付着した蒸気塊の凝縮には時間を要していた。なお、図中の時間経過を示す  $t$  は蒸気膜崩壊直前を起点にしており、以下の蒸気膜崩壊様相図においても同様である。

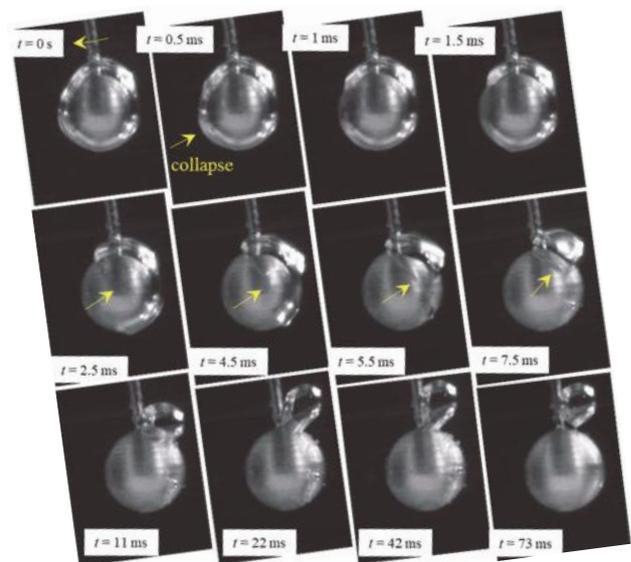


Fig. 6 High speed video images of vapor film formation and its turned up type collapse pattern at  $V = 30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### 3.2 アーム回転振動が Type A における MHF 点温度に及ぼす接線速度の影響

接線速度の増大に伴ってアームの折返し前後の減速度や

加速度が大きくなるので、Pt 球まわりの蒸気膜の強制崩壊が起こりやすいと考えられる。接線速度が  $V = 70 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  の場合、Fig. 7 に示すように、蒸気膜崩壊は3度目の折返し点近傍で生じていて MHF 点温度のばらつきも非常に小さくなっている。浸漬急冷実験の繰り返し特性が極めて良好であるが、MHF 点温度は  $200^\circ\text{C}$  付近であり、 $V = 30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  の場合より高くなっており、蒸気膜崩壊パターンは爆発的で、捲れ型崩壊は観察されなかった。

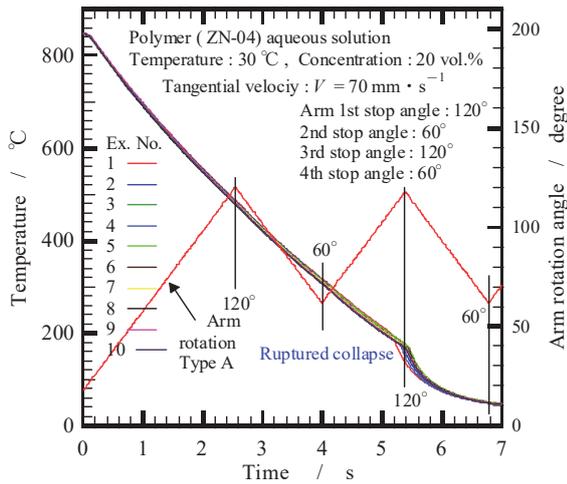


Fig. 7 Cooling curves at  $V = 70 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  and in the arm swing type A.

蒸気膜の崩壊様相を Fig. 8 に示すが、Fig. 5 と同様の崩壊様相であり、蒸気塊の攪拌の激しさは温度的には膜沸騰を維持できるのに、アームの停止から急移動の衝撃による強制崩壊であることを示すものと言える。

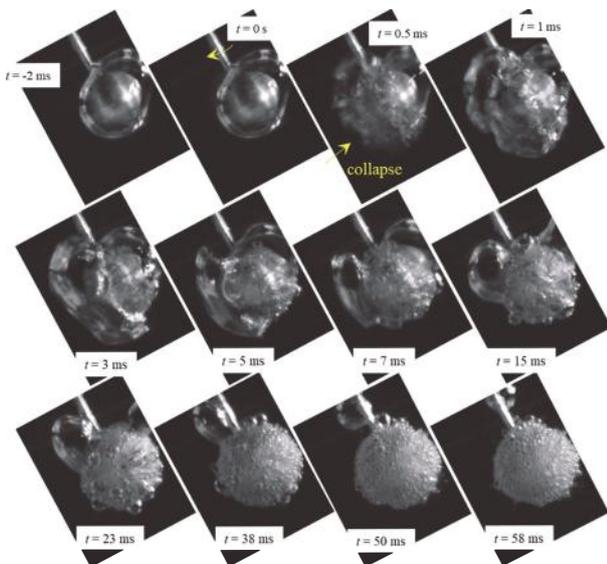


Fig. 8 High speed video images of vapor film formation and its ruptured type collapse pattern at  $V = 70 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ .

接線速度が  $V = 100 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  の場合の冷却曲線と熱伝達率曲線を Fig. 9 に示す。蒸気膜崩壊のタイミングがアーム回転の2度目の折返し後、3度目の折返し後および4度目の折返し後の3パターンが現れるようになった。MHF 点温度が約  $405^\circ\text{C}$ 、約  $279^\circ\text{C}$  および約  $176^\circ\text{C}$  での蒸気膜崩壊様相を Fig. 10 ~ Fig. 12 に示す。当然のことながら、膜沸騰段階の冷却過程に違いがほとんどないので、蒸気膜の崩壊が早いほど MHF 点温度が高くなっているが、崩壊温度が高いほど Pt 球の蒸気塊の存在時間が長くなってい

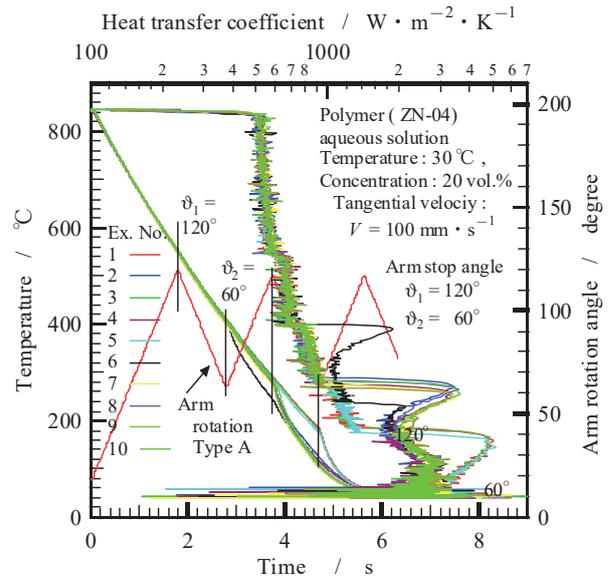


Fig. 9 Cooling curves and heat transfer coefficients at  $V = 100 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  and in the arm swing type A.

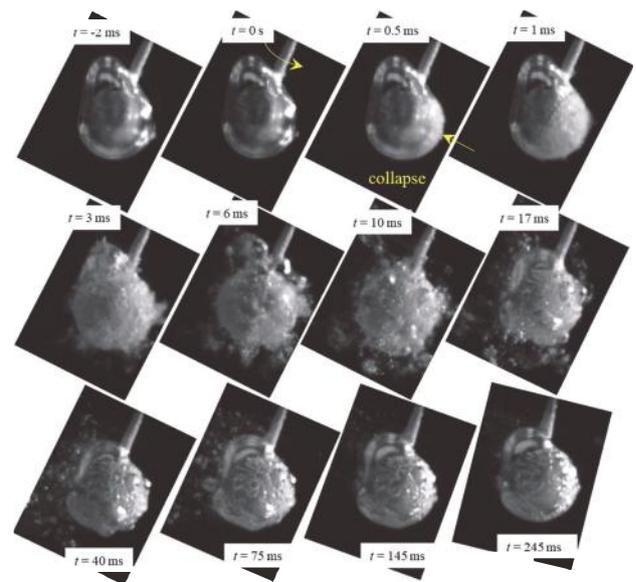


Fig. 10 High speed video images of vapor film formation and its ruptured type collapse pattern at  $V = 100 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  (I, MHF point temperature is  $405^\circ\text{C}$ ).

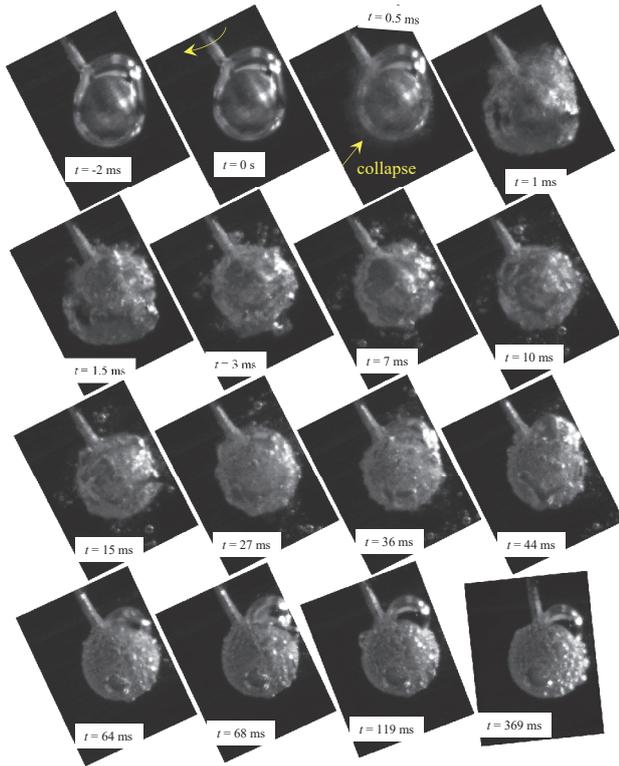


Fig. 11 High speed video images of vapor film formation and its ruptured type collapse pattern at  $V = 100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  (2, MHF point temperature is  $279^\circ\text{C}$ ).

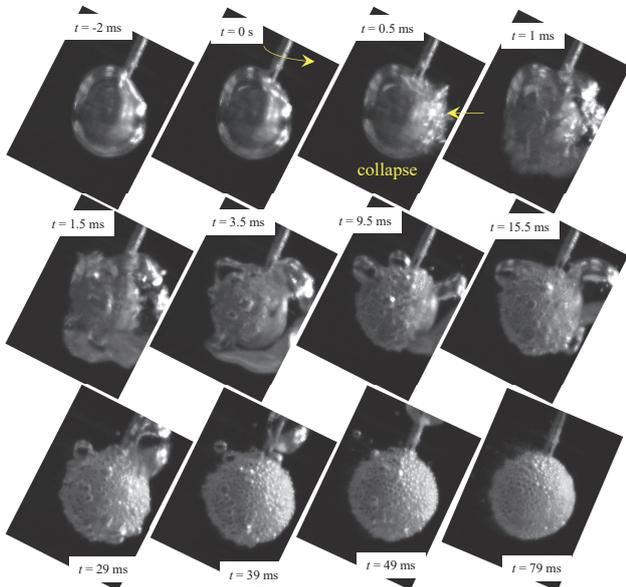


Fig. 12 High speed video images of vapor film formation and its ruptured type collapse pattern at  $V = 100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  (3, MHF point temperature is  $176^\circ\text{C}$ ).

た。

接線速度が  $V = 140 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  の場合の冷却曲線と熱伝達率曲線を Fig. 13 に示すが、 $V = 100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  の場合と同様のタイミングで蒸気膜が崩壊していた。MHF 点温度

は蒸気膜崩壊が遅い順に約  $280^\circ\text{C}$ 、約  $384^\circ\text{C}$ 、約  $488^\circ\text{C}$  となっており、それぞれの蒸気膜崩壊様相を Fig.14 ~ Fig.16 に示すが、崩壊温度が高いほど蒸気膜の破裂が激しく、活発な核沸騰時間が長くなっていた。接線速度の増大に伴い、強制対流の効果を受けて膜沸騰段階の冷却が速くなっており、MHF 点温度は  $V = 100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  の場合よりいずれの崩壊のタイミングにおいても約  $100^\circ\text{C}$  程度上昇していた。

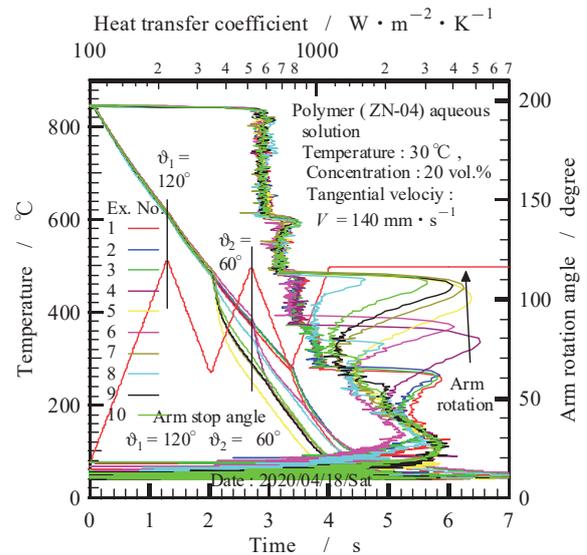


Fig. 13 Cooling curves and heat transfer coefficients at  $V = 140 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  and in the arm swing type A.

なお、蒸気膜崩壊後の蒸気塊は  $V = 100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  の場合より大きくはなく、固液接触が活発と思われる、核沸騰極大熱伝達率は高くなっていた。

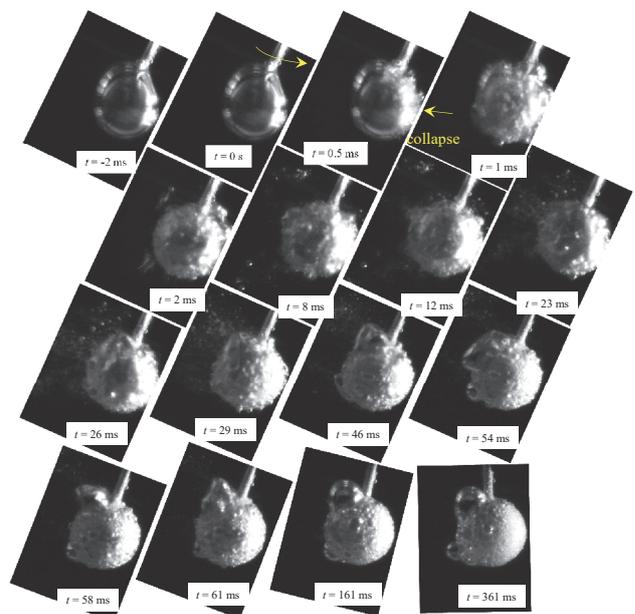


Fig. 14 High speed video images of vapor film formation and its ruptured type collapse pattern at  $V = 140 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  (1, MHF point temperature is  $488^\circ\text{C}$ ).

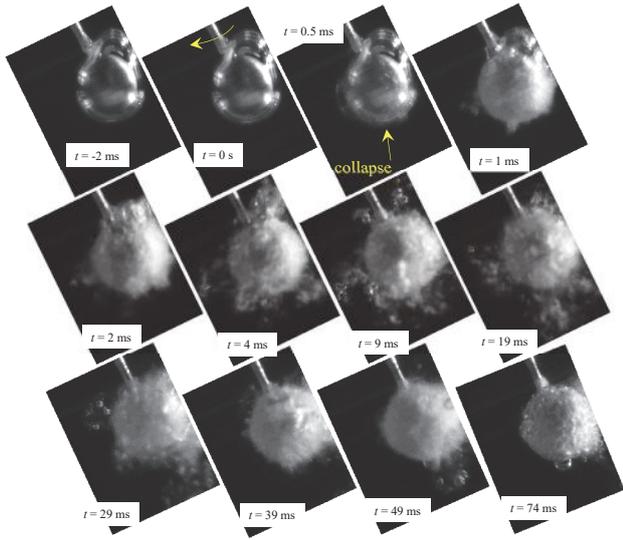


Fig. 15 High speed video images of vapor film formation and its ruptured type collapse pattern at  $V = 140 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  (2, MHF point temperature is  $384^\circ\text{C}$ ).

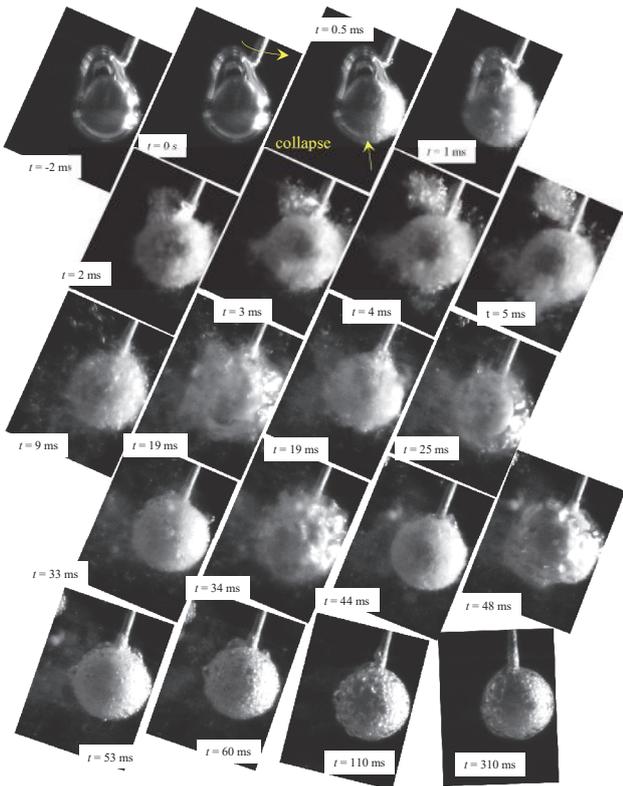


Fig. 16 High speed video images of vapor film formation and its ruptured type collapse pattern at  $V = 140 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  (3, MHF point temperature is  $280^\circ\text{C}$ ).

接線速度が最も大きい  $V = 180 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  の場合の冷却曲線と熱伝達率曲線を Fig. 17 に示す。この接線速度になると蒸気膜の崩壊のタイミングはアーム回転の2度目の折返し後だけになっていた。接線速度が  $100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  以上になると、アーム回転の最初の折返し時に蒸気膜の揺らぎ

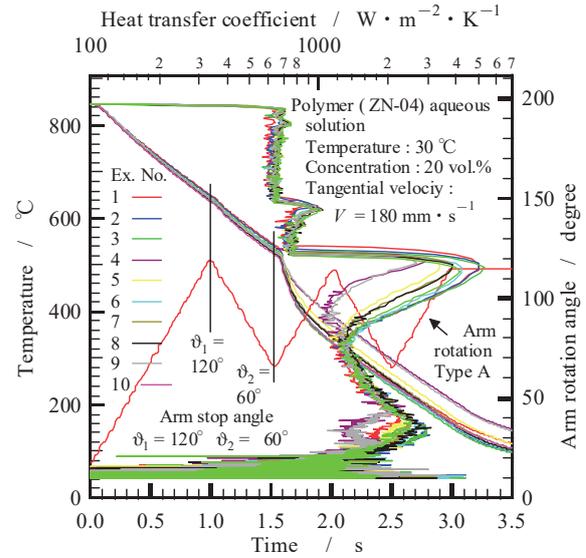


Fig. 17 Cooling curves and heat transfer coefficients at  $V = 180 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  and in the arm swing type A.

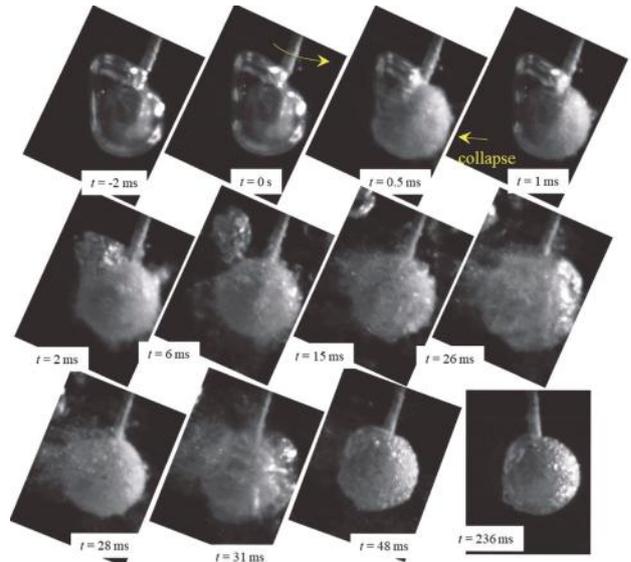


Fig. 18 High speed video images of vapor film formation and its ruptured type collapse pattern at  $V = 180 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

による熱伝達率の一時的な増大が見られるようになったが、接線速度の増大に伴い熱伝達率の増大が顕著になっている。また、Fig. 18 に示す蒸気膜崩壊様相と Fig. 17 から、蒸気膜崩壊後も蒸気塊の拡張が観察され、アームの回転の折返しの際に冷却曲線の変動が認められた。Fig. 18 の MHF 点温度は約  $524^\circ\text{C}$  であり、本実験範囲では最も高い。

Type A における接線速度と MHF 点温度の関係を Fig. 19 に示す。接線速度の増大に伴って MHF 点温度が上昇している。このことは、焼入れ時に焼入れ材を攪拌急冷する場合に、攪拌の仕方によって MHF 点温度、すなわち、急冷開始温度である特性温度を制御できることを示唆している。しかしながら、接線速度が  $100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  と  $140$

$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$  の場合は MHF 点温度が複数存在することから、冷却剤の冷却特性を評価するには適切な接線速度が存在すると言える。

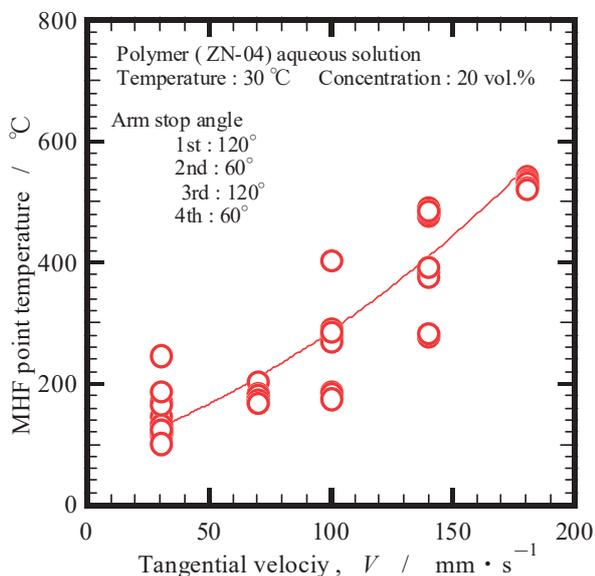


Fig. 19 Effect of tangential velocity on MHF point temperature in the arm swing type A.

### 3.3 MHF 点温度に及ぼすアーム回転揺動パターンの影響

アーム回転揺動パターンが Type A の場合, Fig. 19 から, MHF 点温度のばらつきが  $V = 70 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  と  $V = 180 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  において小さくなることがわかった。そこで  $V = 180 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  の場合で, アーム回転揺動パターンがどのタイプであれば MHF 点温度のばらつきが小さくなるかを調べた。その結果を Fig. 20 に示す。最も MHF 点温度の

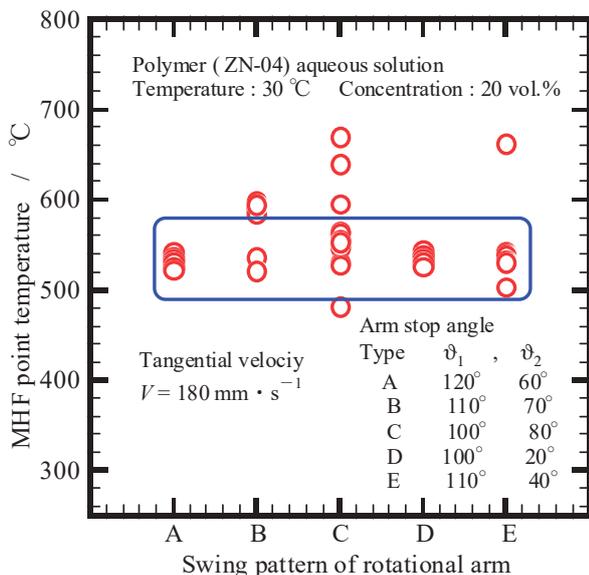


Fig. 20 Change in MHF point temperature at  $V = 180 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  due to arm swing type.

ばらつきが小さいのは Type A (最大回転角度が  $120^\circ$ , 戻し角度  $60^\circ$ ) と Type D (最大回転角度が  $100^\circ$ , 戻し角度  $20^\circ$ ). 戻し角度が  $20^\circ$  では Pt 球が冷却剤液面近傍まで戻ることになるが, 設定角度を超えないようにモーター制御を行っているため, 接線速度が  $180 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  では  $25^\circ$  程度で折り返しており, Pt 球は完全に冷却剤中で冷却されている。)であった。また,  $V = 180 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  ではアーム回転揺動パターンをどのように設定しても, MHF 点温度は  $500^\circ\text{C}$  を下回らないものと考えられる。

## 4. おわりに

回転アームの先端に取り付けた Pt 球を冷却剤に浸漬する試験装置を用い, ポリマー, ZN-04, 20 vol.% 水溶液を試料として, アームを揺動回転させた場合の回転揺動パターンと MHF 点温度の関係, Pt 球接線速度と MHF 点温度の関係並びに, 高速度ビデオ観察による蒸気膜崩壊様相を調べた。本浸漬急冷実験範囲において得られた結果を以下に示す。

(1) アームを揺動回転させて折返し時に生じる急停止と急移動の衝撃により, 蒸気膜を強制的に崩壊させることができることを確認した。

(2) アーム回転揺動パターンが Type A (最大回転角度が  $120^\circ$ , 戻し角度  $60^\circ$ ) と Type D (最大回転角度が  $100^\circ$ , 戻し角度  $20^\circ$ . 戻し角度が  $20^\circ$ ) で MHF 点温度のばらつきが小さくなることがわかった。

(3) Type A において, 接線速度の増大に伴って MHF 点温度が高くなる傾向があった。蒸気膜が受ける浮力を考えれば, 冷却特性の評価には Type D より, 鉛直軸を対称軸としてアームを揺動させる Type A が望ましいと考えられる。

(4) 接線速度が  $30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  では蒸気膜は破裂的な崩壊ではなく捲れ型崩壊となるばあいがあり, 捲れ型の崩壊の MHF 点温度が最も低かった。蒸気膜の崩壊起点は Pt 球とアームの接続部であると考えられたが, 破裂型崩壊と捲れ型崩壊のいずれにおいても Pt 球とアームの接続部である場合は少なく, Pt 球のよどみ点側が崩壊の起点になる場合が多かった。

最後に, 本研究を進めるにあたり (有) アリモテック取締役の有本享三氏, また, 高周波熱錬 (株) 研究開発本部の生田文昭氏の両氏に有益なご助言を頂いた。ここに記して深甚の謝意を表す。

## 参考文献

- 島岡三義, 中村篤人, 第 54 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, pdf file No. 1840 (2017-5).
- 島岡三義, 中村篤人, 奈良工業高等専門学校研究紀要, 53 (2017), pp. 24-29.
- 島岡三義, 吉田大志, 生田文昭, 中村篤人, 第 55 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, CD-ROM 版, 講演番号 G111(2018-5).
- 島岡三義, 吉田大志, 生田文昭, 中村篤人, 日本機械

学会熱工学コンファレンス 2018 講演論文集, No. 18-29  
(2018), 電子データ pdf File No. 0013.

- (5) 島岡三義, 中村篤人, 奈良工業高等専門学校研究紀要, 54(2018), pp. 21-26.
- (6) 島岡三義, 吉田大志, 生田文昭, 池田修啓, 中村篤人, 第 56 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, USB 電子データ版, 講演番号 B321.
- (7) 島岡三義, 吉田大志, 生田文昭, 池田修啓, 中村篤人, 日本機械学会 2019 年次大会講演会論文集, J05201(2019-9).
- (8) 島岡三義, 中村篤人, 池田修啓, 奈良工業高等専門学校研究紀要, 55(2019), pp. 21-27.

## 19世紀英国におけるバドミントンの普及に関する研究 — 『フィールド』紙 (1873～1877年) の記事 及び広告の概要について—

松井 良明

Historical Study on the Spread of 'Badminton' into 19<sup>th</sup>-century Great Britain  
: An Overview of Articles and Advertisements on 'The Field' between 1873 and 1877

Yoshiaki MATSUI

It's not well known of the details on the beginning and the spreading of Badminton in Great Britain. In this paper I show some new facts relating to the above matter and the historical issues in the future through the examination of the articles and the advertisements on 'The Field' between 1873 and 1877.

We cannot find out the description of 'Badminton' as a name of the 'new' game on the above newspaper by 1873. The first reference was a query to ask the readers about 'particulars as to the manner in which it [Badminton] is played, what implements are required'.

I examined 19 articles making reference to 'Badminton' in this period including the above query. There were 4 Indian local rules included in 1873. And there were 9 articles referring the game in 1874. And I found the record of a Ladies' Badminton Tournament held at Teignmouth in Sept., 1876.

In regards to the advertisements on Badminton in the time, the number of retailers that had advertised the equipment or some books of the game was 9 including James Lillywhite, Parkins and Gotto's, Cremers, Jefferies', Millikin and Lawley's, E. Pearson, and J. Buchanan.

The number of the advertisements and the articles referring to Badminton in the period didn't increased drastically but that did gradually. So, it is incorrect to say that Badminton replaced the superiority of Croquet in Great British and Lawn Tennis became a new British national pastime by 1877, but Badminton had become known as one of the new games for both sexes between 1873 and 1877 in the country. We need to continue researching the spreading of the game in south England especially and the historical relationships between Croquet, Lawn Tennis and Badminton of the same period.

### 1. 本研究の目的

バドミントン協会がイングランド南部のサウスシーで設立されるのは1893年のことであるが、それ以前の英国でのバドミントンの普及過程については不明な点が多い。

たとえば、アダムズはバドミントンの誕生と普及について、「バドミントンと呼ばれる他と異なるゲームがいつ出現したか、その日付を特定することはおよそ不可能なことだが、あらゆる証拠が示唆しているのは、ウイングフィールド少佐が1874年に『スファイリスティックないしはローンテニス』を売り出すより前に、インドと英国の両方でバドミントンが一つのゲームとしてアイデンティティを確立していたということである。それゆえ、バドミントンは1年ないしは2年古いゲームだったと主張することができる」と述べている。<sup>1)</sup>

これに対し、ギランは1873年5月31日付の『フィールド』紙に「バトルドアのバドミントン・ゲーム」に関する質問記事とそれに対する回答が数多く寄せられていたこと、1873年10月にはインドに赴任していたフォーズ少佐による独自のルールを掲載した『バドミントン・ハンドブック』(カルカッタで刊行)の内容、さらに別の読者が送ったインドのナグポール Nagpore (現ナグプール)、マレー Murree、パンジャブ Punjab のローカルルールが『フィールド』紙で紹介されていたことを指摘している。<sup>2)</sup>

また松井は、1873～1874年に英国で刊行された新聞の記事と広告を検討し、以下の指摘を行っている。

① 1873年6月7日付の『チェルトナム・ルッカー・オン』紙にジェイムズ・リリーホワイトによる「インディアン・ローン・ゲーム、バドミントンないしはローン・ラケット」の広告が掲載されている(図1を参照)。

図1.



ジェームズ・リリーホワイトによる広告  
『チェルトナム・ルッカー・オン』紙  
(1873年6月7日付、p.355)

- ② 同年7月23日付の『トーントン・クーリエ&ウェスタン・アドヴァタイザー』紙に「バドミントン」を「バトドア&シャトルコック」の「新ゲーム」として紹介する記事が掲載されている。
- ③ 同年12月に、グラント・ブラザース（エクセター）、ジャック&サン（ロンドン）、A・T・リーズ（レスター）による「新ゲーム」バドミントンの用具の広告が掲載されている。<sup>3)</sup>

松井は、このような英国における新聞広告の出された時期とともに、同年10月22日付の『ウェスタン・デイリー・プレス』紙（4頁）に掲載された下記の論説も参照したうえで、1873年には英国で「新ゲーム」バドミントンの内容を詳しく知る者はまだそう多くはいなかったものの、同年には英国本土での普及が始まっていたとする見解を示している。

「オックスフォード主教が教会会議において説教を行い、牧師たるものは民衆の遊戯とは一線を画すよう勧めた。しかしながら、支持されるべき娯楽の特徴については一切話されていない。……(中略)……

牧師にふさわしい娯楽は狐狩り、クローケー、バドミントン、屋内ではビリヤード(かつてフィッツハーディング卿は彼が地方の牧師と真夜中に試合をしたと我々に話した)、ホイストゲーム、そしてベジークだといわれる。イングランドの民衆は狐を追うハンターではないし、彼らはクローケーにはほぼ無関心であり、多くの者はバドミントンが何を意味するかを知りはしない。平凡な娯楽は通常の屋外ゲームに、ボートレース、競馬、またいくつかの地域では、レスリング、闘鶏とねずみつかみによりさまざまな機会を加えたものである。もしもオックスフォード主教が許可されるスポーツと遊戯のリストを提供していたなら、何が正しい事で何が正しくない事が分かり、彼が説教を行う牧師や関係者の役に立っていたことだろう。」<sup>4)</sup>

松井は「新ゲーム」バドミントンの英国での普及が本格化するのには1873年以降のことと見ているが、これとほぼ同様の見解を示しているのがテニス史家のロバート・T・

エヴァリットとリチャード・A・ヒルウェイである。彼らは『ローンテニスの誕生』の中でこう述べている。

「英国の新聞記事が示唆するのは、1873年にはほとんどの英国人はまだ新奇なバドミントンというゲームが何であるか気づいていなかったということだ。」<sup>5)</sup>

たとえば、『英国の田園スポーツ (British Rural Sports)』はそこで数百にも及ぶ英国のスポーツとゲームを記載しているが、1868年版にはバドミントンの記載がなかったという。

エヴァリットはローンテニス「誕生」する1874年の1年前、すなわち1873年に『フィールド』紙でインドのルールが紹介されたのに加え、バドミントンの得点方法がラケット競技 rackets からの借用であったこと<sup>6)</sup>、やはり1873年の夏に『フィールド』紙が「クローケーの衰退」に関するコラムを掲載し、それに代わる「新ゲーム」としてバドミントンへの関心が持たれていたものの、「バドミントンのルールは何か。1873年のほとんどの英国人はそのルールを知らなかった」と述べている。<sup>7)</sup>

周知のように、『フィールド』紙と、後にローンテニスを採用し、ウィンブルドンでオープン選手権大会を開催することになるオール・イングランド・クローケー・クラブ(以下、AECC)との間には浅からぬコネクション(人的関係)があった。同紙編集長のジョン・H・ウォルシュはAECCの設立時からの役員であり、後に特別記者となる「キャベンディッシュ」(ヘンリー・ジョーンズ)もクラブ設立時からの会員の一人だったからである。そのため、当時のバドミントンとクローケー、ローンテニスとの歴史的関係を検討する上で、同紙はきわめて重要な史料の一つと捉えることも可能だろう。そこで本研究では、英国本土でバドミントンが本格的に紹介され始める1873年からウィンブルドンでローンテニス選手権大会が開催される1877年までの5年間を対象に、同紙に掲載されたバドミントン関連の記事と広告の概要を提示し、今後の研究課題を示すことにする(図2を参照)。<sup>8)</sup>

## 2. 『フィールド』紙の記事と広告

### (1) 記事

管見では、先行研究で指摘された『フィールド』紙におけるバドミントン関連の記事は1873年5月31日から1874年3月21日までの6件だったが(表1)、本研究ではこれらを含む計19件の記事を検討した(表2)。先行研究が挙げる記事の内容は複数のルールを含み、当時の英領インドにおけるバドミントンの実施内容と英国本土での普及、とくにAECCによるバドミントンの受容を含む重要な記事といえる。しかしながら、同紙にはその後もバドミントンに関わる記事やバドミントンへの言及が見られる記事が複数掲載されており、その件数は1874年だけで9件に及んだ。ただし1875年以降、バドミントンへの言及は減少し、1877年には該当する記事を見つけることはできなかった。



記事の概要を整理すると、1873～1876年までの4年間でバドミントンに言及した記事の多くは、「キャベンディッシュ」が担当する〔娯楽 Pastimes〕欄での記事であり、全部で11件あった。それ以外の記事は、いわゆる〔投書〕欄における記事が多かったが、別のスポーツ（クリケット、射撃、釣り）に関する記事の中でも言及が見られた。

とくに本研究に関して重要と考えられる事項をまとめると、以下のとおりとなる。

#### 1) ルールを含むゲーム内容の紹介

表2の①及び②で紹介されたバドミンントンのルールの特徴をまとめたのが表3（『フィールド』紙に掲載されたルール）である。これらはいずれもインドで行われていた「新ゲーム」のルールである。コートの大さは横が15～20フィートで縦が28～39フィート、形は長方形型ないしは長方形を基本とする砂時計型である（現在は20×44フィートの長方形）。中央に張られるネットないしはロープの高さは4～5フィート6インチ（現在は5フィート）で、ダブルスをもっとも一般的だが、トリプルス、クオドラブルスも可能とされた。得点方法はいわゆるサイドアウト制（インニング制）の15点ゲームで、13点オールの場合は5点、14点オールの場合は3点のセッティング（タイブレーク）を行うことが認められていた。ちなみにフォーズ少佐はこの得点方法がラケット競技からの借用であり、公平性を保つうえでも有効だと述べている。カルカッタ、ナグポール、マレーのルールに共通していたのは、ゲーム開始時のサーブ権が1人にしか与えられないとする規定であった。プレイヤーが個々に用いる用具はバトルドアとシャトルコックであるが、ナグプールのゲームについてはバトルドアの記載がなく、ラケット用のラケットが使用された可能性もある。

#### 2) 施設と用具

対象資料において、バドミントンは屋外でも屋内でも行えるゲームとして紹介されていた。先行研究でも指摘されているように、③の寄稿者はつぎのように述べている。

「わたしは大いに興味をもってフォーズ少佐の記事とバドミンントンのゲームのルールを読みました。湿潤な気候のところでカントリーハウスを所有する他の者たちは、私自身がそうであるように、屋内でできる女性と男性のための運動量が多いエクササイズを伴うゲームは大いなる掘り出し物になるだろうとしばしば感じてきたことは疑いありません。もし読者の何人かが私たちにバドミンントンのゲームがいつか屋内でプレイされるか、そしてわたしたちの求めに敵った他のちょうどいいゲームについて教えてくれるなら、彼らは大いなる利益をもたらしてくれるでしょう。まわりに何もなく、屋根で守られた30フィート×40フィートの平らなセメントのフロアないしは舗床は100ポンド以下で建てられるでしょう。雨除けの下で、誰かの来客を健康的な運動、そして多くの楽しみと喜びによって雨の日の多くの時間を過ごせるかもしれません。」

⑧は、『クイーン』紙に掲載されたバドミンントンの記事に言及したものであり、「バドミンントンはラインを描く際にプレイヤーがつかずくのを避けるため、ロープを釘で打ち付けることはせず、それはローンテニスについてもあてはまる」との記載があった。また⑩は、「軽いネットを用いることで、コートは少しの時間でローンテニス・コートにもバドミンントン・コートにもなる」と述べている。いずれも、ローンテニスとの施設面での類似性が垣間見える興味深い記事である。逆に⑬は、AECCのヘイルが「クローケーの衰退」について投稿した際、彼自身、バドミン

表1. 先行研究に見る『フィールド』紙におけるバドミンントン関連の記事

<p>1873年</p> <p>①「バトルドアのバドミンントン・ゲーム」に関する質問記事が投稿される。[5/31] (<i>Guillain</i>, p.48)</p> <p>②フォーズ少佐がカルカッタで出版したバドミンントンのハンドブックが掲載される。[10/11] (<i>Everitt &amp; Hillway</i>, p.33)</p> <p>③インドのマレー（パンジャブ州）で採用されていたルールが掲載される。また、これとは別にジェイムズ・リリーホワイトがゲームの解説とルールを印刷していたことが示される。[10/18] (<i>Jacobs</i>, 松井 [2015, 2016], <i>Everitt &amp; Hillway</i>, p.27)</p> <p>④「全天候型」のコートを設える経費は100ポンドに満たないとするある記事が掲載される。[10/18] (<i>Guillain</i>, p.51)</p> <p>⑤バドミンントンを「レディース・テニス」と呼んではどうかとの意見記事が掲載される。[11/8] (<i>Everitt &amp; Hillway</i>, p.33)</p> <p>1874年</p> <p>⑥ジョン・H・ヘイル (All England Club) が「クローケーの衰退の兆し」への投稿の中で、「ローンテニス」と「バドミンントン・ゲーム (the game of Badminton)」をクラブ内で導入する可能性について言及する。[3/21] (<i>Todd</i>, p.38)</p>
---

表2. 『フィールド』紙におけるバドミントン関連記事 (1873～1877年)

<p>1873年</p> <p>① [カントリーハウス短信と質問] で、バトルドアの「バドミントン・ゲーム」に関する質問と回答2件が掲載される。 [5/31, 6/7, 6/28] (表1 ①)</p> <p>② [娯楽 Pastime] の「バドミントンのゲーム」で、カルカッタ、ナグプール、マレーのルールが記載される。また、ジェイムズ・リリーホワイトによるルールへの言及がなされる。 [10/11, 10/18] (表1 ②③)</p> <p>③ [娯楽] で、「屋内のバドミントン」が掲載される。 [10/18] (表1 ④)</p> <p>④ [投書] で、バドミントンを「レディース・テニス」と呼ぶ提案が掲載される (ラケットよりもテニスに似ているとの理由) [11/8] (表1 ⑤)</p> <p>1874年</p> <p>⑤ [娯楽] に掲載された「クローケーの衰退」で、バドミントンへの言及あり。 [3/21 (表1 ⑥), 3/28]</p> <p>⑥ [投書] で、バドミントンのルールについては、上記②の記事を参照する旨の回答あり。 [6/6]</p> <p>⑦ [クリケット] で、リッチモンド・クラブとサリー・クラブの試合結果を伝える記事で、会場に「クローケー、ローンテニス、バドミントン用グラウンド」が設営されていたとの言及あり。 [6/13]</p> <p>⑧ [娯楽] に掲載された「ローンテニス」に関する記事で、バドミントン・コートのラインの引き方について言及。 [7/25]</p> <p>⑨ [娯楽] の「ローンテニス」で、バドミントンが「より女性向きである」との言及あり。 [8/1]</p> <p>⑩ [娯楽] の「スファイリスティックないしはローンテニス」で、ウィングフィールド少佐がバドミントンに言及 [8/15]</p> <p>⑪ [射撃] の「ムーアズ The Moors [ノース・ヨークシア]」に関する記事でバドミントンへの言及 [8/15] 「狩猟会は規模が大きくなり、ライチョウを撃ち殺すこと以外に小規模の娯楽がゲストに提供される。荒野に設えられた高価な小屋にはビリヤード台、クローケー、バドミントン、ローンテニスのための施設、小劇場などあらゆるものがある。」</p> <p>⑫ [娯楽] の「ローンテニス」で、バドミントンに言及 [10/24] 「軽いネットを用いることで、コートはちょっとした時間でローンテニス・コートにもバドミントン・コートにもなる。」</p> <p>⑬ [娯楽] の「ローンテニス」で、ジョン・H・ヘイルがバドミントンに言及 [12/12] 「その時、わたしはバドミントンがシャトルでプレイされるゲームであることを知らずにそのゲームをバドミントンと呼んでいました。」</p> <p>1875年</p> <p>⑭ [釣り] の「あなご釣り」に関する記事で、バドミントンに言及 [1/16] 「8月のイースト・ハム East Ham で娯楽を見つけるのはたいへん難しかった。クローケーはまだ先だし、バドミントン (飲み物の別名) とローンテニスは夢で想うことさえなかった。」</p> <p>⑮ [娯楽] の「ローンテニスとバドミントン」で、「オール・イングランド・クローケー・クラブの理事会 Committee がウィンブルドンのクラブ用グラウンドの一部をローンテニスとバドミントンに供する決定を行った」との記事 [4/17, 4/24]</p> <p>⑯ [娯楽] の「ローンテニス、バドミントン、クローケー」で、オール・イングランド・クローケー・クラブの1875年のプログラム内容 (ローンテニスとバドミントンを含む) が紹介される [4/24]</p> <p>⑰ [通信欄] バドミントンのルールは②を参照できるが、ローンテニスのルールについては、複数のバリエーションがあるため、メルルボーン・クリケットクラブのテニス協議会に調整を依頼したとの記事 [5/8]</p>
---

1876 年 ⑱ [総説] の「スケートリンクの社会的側面」で、バドミントンとクローケーの「発明」に言及[4/15] ⑲「レディース・バドミントン・トーナメント (テインマス)」の試合結果の記事 [9/2]
1877 年 該当記事なし

表3. 『フィールド』紙に掲載されたルール

投稿者名 〔地名〕	J. H. F. W. 〔不明〕	Major Forbes, S.C. 〔カルカッタ〕	Ladies' Rackets 〔ナグポール〕 8/10 付	W. M. 〔マレー〕 8/20 付
コート	大きさは記載なし 〔屋内〕	28 フィート×20 フィート 〔長方形〕	30 フィート×15 フィート (ダブルス用) 〔長方形〕	39 フィート×20 フィート 〔砂時計形(ネット部分のみ)〕
人数	4	4、6、8	4 (6、8)	4
ネット (ロープ)の高さ	4 フィートないしはそれ以上	5 フィート 6 インチ	5 フィート	5 フィート
スコア	15 点制	15 点制	15 点制	15 点制、2 ゲーム先取
セッティング	記載なし	セッティング(13 点オールの時は 5 点、14 点の時は 3 点)	セッティング (13 点オールの時は 5 点、14 点の時は 3 点) を行える	セッティング (13 点オールの時は 5 点、14 点の時は 3 点) を行える
その他	・バトルドアとシャトルコック	・バトルドアとシャトルコック ・最初のサーブ権は 1 人のみ ・シャトルがバットに当たらなければ、サーブは 3 回試みる ことができる ・女性のための「特別ルール (男性にサーブのやりなおしを要求できる)」	・シャトルコック ・最初のサーブ権は 1 人のみ ・ミックスダブルスを想定	・バトルドアとシャトルコック ・最初のサーブ権は 1 人のみ
出典	07 June 1873, Vol. 41, p.541 (p.19 of 56)	11 October 1873, Vol.42, p.371 (p.17 of 44)	11 October 1873, Vol.42, p.371 (p.17 of 44)	18 October 1873, Vol. 42, p.409 (p.31 of 44)

注記) “clean over the net” (レットはなし) [マレー・ルール]; ジェイムズ・リリーホワイトによるルールはマレー・ルールとほぼ同様だが、コートがやや狭かった。(18 October 1873, Vol. 42, p.409 (p.31 of 44))

トンがボールではなくシャトルコックを打ち合うゲームであるとの認識を持っていなかったことを開陳しており、こちらはバドミントンとローンテニスの違いについての認識がまだ曖昧さを含んでいた1874年3月当時の状況を垣間見ることができる。

### 3) 名称と特性

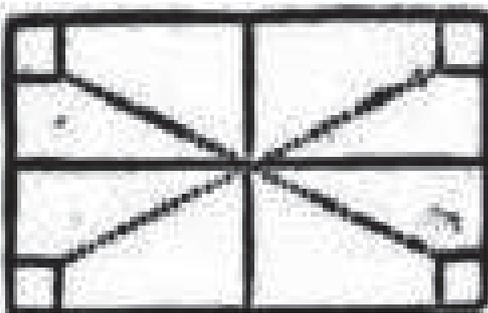
上述のこととも関連するが、④1873年11月8日の記事は、ウィングフィールド少佐がローンテニスを発売する前に書かれたもので、当時のバドミントンへの期待が見て取れるとともに、バドミントンという名称がまだ十分に定着していなかったことを示唆している。

「上記の優れたゲームを『レディース』テニスと呼ぶことを提案させて下さい。それはテニスのゲームを改良したもので、ラケットよりも断然テニスに似ています。そのゲームをバドミントンと呼ぶのはこのゲームにはまったくあてはまりませんし、たいへん人気のある清涼飲料水の名前を奪うことになります。」

⑤は、先ほどふれたAECCのヘイルが寄稿したクローケーの代替となるゲームとして、バドミントンの名を掲げた最初の記事である。その中で、彼はつぎのように述べている。

「我々はどのようにして今や閑散としたクローケー場での幸福な再会の集いを再生すべきなのか。クローケーが途絶えることはないだろうが、クローケー場の古参がたとえ観客としてであっても参加したくなる何か新しいものが求められている。4、5年前、わたしはクローケー用具を用いてプールでもピラミッドでもプレイできるすばらしいゲームを発見した。『ビリヤード台』と呼ばれる境界線はテープで規定され、大きさは30フィート×20フィートである。だが、大きさはプレイヤーの数によって変更しても良い。これらのゲームをクローケー場の一方で行っていたなら、もう一方で我々はバドミントン・ゲームを導入しても良かったかもしれない。バドミントンのゲームは、インド・ゴム製の2インチ大の中空のボールを使用することでより進歩するかもしれない。テニスのように返球されるために、サーヴィスは図のようにそれぞれのコーナーにある3フィート四方に立って打たれる。ネットの高さはプレイヤーによって調整されるべきである。——5フィートが一般的には十分な高さであ

図3.



る。」(図3を参照)

またこの記事には編集部からの注記が付されてもいた。内容は以下のとおりである。

「おそらく、他の記事で記述されたテニスが改良されたものが投稿者の趣旨に対する回答となるかもしれない。」

他方、ローンテニスとの比較を通してバドミントンの特性として語られていたのが、バドミントンが「より女性向きである」との言説であった(⑨)。また、この記事の2週間後の1874年8月15日には、ウィングフィールド少佐自身が、ローンテニスでバトルドアを使用してはどうかという別の読者からの提案に対し、「サロピアン氏はバドミントンと取り違えているに違いない」と述べている(⑩)。

最後に1876年4月15日付の『フィールド』紙に掲載された記事を見ておきたい(⑪)。これは「スケートリンクの社会的側面」に注目した記事で見られたもので、この記事では、バドミントンとクローケーがともに「発明品」として言及されていた。この日の〔総説〕の冒頭で、筆者はこう述べている。

「我々の記憶の中で、ローラースケート(skating upon wheels)の場合ほど急速かつ強固に定着した遊戯はない。クローケー、バドミントン、その他の普通に男女で実施できる運動の発明は連合王国中の町で相次ぐスケート場での突然の大騒ぎの前に色あせてしまった。」

もちろん、この記事だけでじっさいにバドミントンの普及に陰りがみられたとするのは早計であろう。逆に1875年1月16日の〔釣り〕欄に掲載された次のような記述もあり、ここでは、「バドミントン」がゲームの名称として広く認識されるようになったという点のみ確認しておくことにしたい。(⑫)

「8月のイースト・ハム East Ham で娯楽を見つけないのはたいへん難しかった。クローケーはまだ先だし、バドミントン(飲み物の別名)とローンテニスは夢で想うことさえなかった。」

### 4) 普及と実施状況

次に見ておきたいのは、バドミントンの普及と実施状況に関する記述である。まずは、1874年6月13日に掲載されたクリケット試合の結果に関する記事である(⑬)。記事は、6月6日に行われたリッチモンド・クラブとサリー・クラブの試合結果を伝えた後、こう記述している。

「試合は大観衆により観戦され、クローケー、ローンテニス、バドミントン用グラウンド(the croquet, lawn tennis, and badminton grounds)はいずれもたいへんな賑わいだった。」

また、ゲストをもてなすためのバドミントン場の設置に

ついで、同年8月15日付の〔射撃欄〕ではこう記述された(⑩)。

「狩猟会は規模が大きくなり、ライチョウを撃ち殺すこと以外に小規模の娯楽がゲストに提供される。荒野に設えられた高価な小屋にはビリヤード台、クローケー、バドミントン、ローンテニスのための施設、小劇場などあらゆるものがある。」

つぎの記事も、ゲストのための措置ではあるが、上述の記事以上に重要な記事といえる。それは、のちにローンテニスのオープン・トーナメントを主催するAECCに関する記事だからである。

1875年2月、AECCは本拠地であるウィンブルドンのクローケー場の一部を、新たにローンテニスとバドミントンに提供する決定を行った。<sup>9)</sup>『フィールド』紙はそのニュースを同年4月17日と一週間後の24日の二度にわたって掲載している(⑪)。とりわけ興味深いのは、24日付の同紙には、1875年のプログラムが詳細に紹介されていた点である。以下は、同記事の抜粋である。

「AECCの1875年のシーズン・プログラムが編集部に届いた。同運営理事会が『クラブ選手権大会のプログラムとともに配付される規約のもと、シーズンを通してグラウンドがローンテニスとバドミントンのために準備される』との告示を確認した。このプログラムは4月8日付であるが、月曜日にだけ配付された。ローンテニスとバドミントンの規約は以下のとおりである。

『ボールとシャトルはグラウンド係(gardener)により保管され、代金はクラブ員から係員に支払われる。ロッカーはラケット、ボール、シューズ、フランネル着などを保管でき、一年間の使用料は5シリングである。クラブ員は提供されるラケット、シューズ、平底の靴以外でプレイしないよう強く求められる。クラブ選手権及びオープン選手権のためにグラウンドが使用されている期間は、ローンテニスないバドミントンは認められない。プレイしないクラブ員及びビジターによる支払いに関するルールはクローケーの場合と同様となる。』

これらについて述べておきたいのは、平らな靴底の使用についてのルールは絶対のもので、もっとも厳しい忠告を当てにすることが認められるべきではない。もしそうしなければ、悪意があるかあるいは思慮の足りないクラブ員ないしはビジターが、一時間の間に、一か月かけてもなしえないより大きなダメージを芝に与えるかもしれない。我々はまた、プログラムには記されていないが、少額の手数料を支払うことで、バスルームと特別の更衣室が提供されると聞いている。

・・・中略・・・

クラブ員に提供される娯楽へのバドミントンとローンテニスの追加、そして訪問者を案内する権利は疑いなく本クラブでの実質的な利益となるだろう。2ギニーの会費でいかに多くのことが得られるだろうか。」

最後にふれておきたいのは、1876年9月2日に掲載された「レディース・バドミントン・トーナメント(テインマス)」の記事である(⑫)。

「先の日曜日、A・サウジー氏より賞金が提供され、レディース・バドミントン・トーナメント大会が開催された。ゲームは概ね良い試合で、勝者は賞金を獲得するために奮闘しなければならなかった。準決勝と決勝はとくに接戦で、白熱した試合となった。」

記事によれば、トーナメントの勝者はF・A・ロビンソンとA・M・ブラインで、L・ウェップとM・ユールが2位となった。敗者復活戦はN・モリスとA・サウジーが勝利した。

管見では、これが1873年から1877年にかけて『フィールド』紙に掲載された唯一のバドミントン試合に関する記事である。

## (2) 広告

表4は、『フィールド』紙(1873～1877年)に掲載されたバドミントンに関わる広告をまとめたものである。広告主は全部で9つあったが、その内の3つは出版物に関する広告で、用具等を含むものは7件であった。この内、先行研究ですでにバドミントン用具を取り扱っていたことが指摘されているのは、ジェイムズ・リリーホワイト(小売店)、パーキンズ&ゴットー(小売店)、クレマー(製造業者)、ジェフリーズ商会(製造業者)、ジェイムズ・ブキャナン(製造業者)であり、リリーホワイト以外はいずれもロンドンの業者だった。これに対し、ミリキン&ラウリーとE・ピアソンは本研究によって初めて紹介される業者である。ミリキン&ラウリーは1875年5月22日以降、「ローン・ゲーム」として、テニス、バドミントン、クリケット、クローケー、アーチェリーなどの用具を記載しており、E・ピアソンは1876年4月29日以降、アーチェリー、ローンテニス、クローケー、バドミントンの用具を記載していた。両社とも店舗はロンドンにあった。

対象時期で最初にバドミントン用具の広告を掲載したのはジェイムズ・リリーホワイトだったが、その数は4件(1873年10月18日～同年11月8日)だけであった。それに対し、同年5月3日以降に広告を掲載し始めるパーキンズ&ゴットーは、最初はクローケー用具のみだったが、そこにジャックズ・アライヴとローン・ビリヤードが加わり(同年5月10日以降)、1874年4月25日には『屋外ゲームの説明書』の中にバドミントンが加えられた。さらに1875年5月8日以降は継続してバドミントン用具の広告を掲載していた。その後も、クレマー、ジェフリーズ商会、ミリキン&ラウリー、E・ピアソン、J・ブキャナンが順次、バドミントンの広告を掲載し始めた結果、バドミントン関連の広告及び広告主の数はゆるやかに増加した。

最後に用具関連広告においてとくに注目すべき事柄を指摘しておきたい。それは1874年9月19日から1875年の最終号まで掲載されていたジェフリーズ商会の広告において、同社の特許申請されたバドミントン用のシャトルコッ

クが「オール・イングランド・バドミントン・クラブ」で使用されているとの情報が記載されていた点である。同クラブの詳細は不明であるが、既述のように AECC は 1875 年以降、同クラブのクローケー場をローンテニスとバドミントンにも貸し出すことを決定しており、そこで同社のバドミントン用具が使用された可能性があり、たいへん興味深い。

つぎに出版物について見てみよう。先行研究ですでに指摘されているのは、複数のルールブックの存在である。松井は 1873 年 10 月 18 日付『フィールド』紙の記事から 1873 年 11 月までにジェイムズ・リリーホワイトが独自のルールを作成していた可能性が高いことを指摘しているが、ここで参照したリリーホワイトの広告にそれを示す具体的な記述は見当たらなかった。また、蘭が紹介しているのは印刷会社であるトーマス・デ・ラ・ルー商会から出版されたキャベンディッシュ(ヘンリー・ジョーンズ)著『ローンテニスとバドミントン(Lawn Tennis and Badminton)』、J・ブキャナン著『ニュー・ゲーム、ローンテニスとバドミントンのルール(Rules for the New Game Lawn Tennis

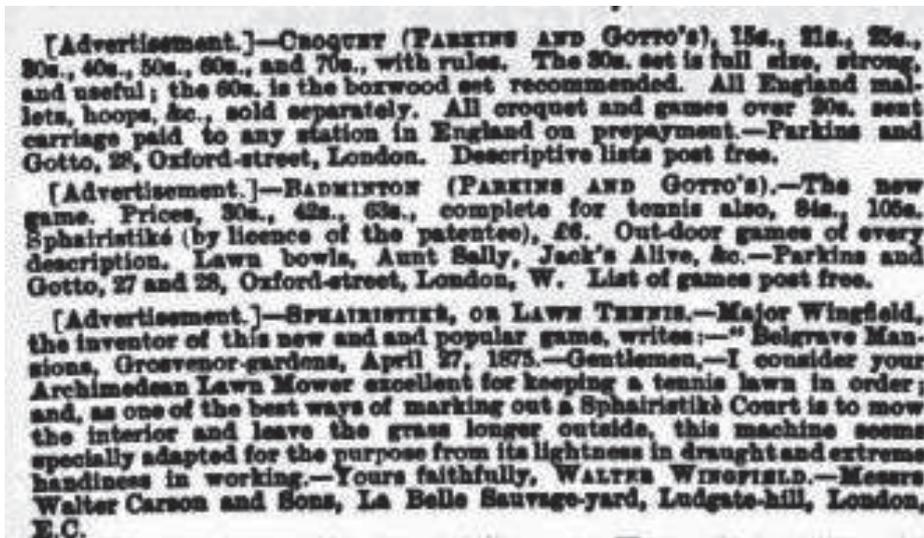
and Badminton)』であり、ともに 1876 年の刊行とされているが、前者の広告は 1875 年 12 月 18 日付の『フィールド』紙に掲載されてもいた。さらにパーキンズ&ゴットーが刊行していた『屋外ゲームの説明書』にバドミントンが加わるのが 1874 年 4 月 25 日付の広告からのことであり、ミリキン&ラウリーが 1875 年 5 月 22 日付以降の『新発明雑誌』にバドミントンを加えるようになっていた。そして、『ボイズ・OWN・ブック』1876 年版には、ローンテニス、バドミントン、ゴルフ、シンティが記載されるようになった[1876 年 12/9 付]。

1873~1877 年に掲載されたバドミントン関連の広告を見ると、その件数は爆発的ではないものの、この間、ゆるやかに増加していたことがわかる。『フィールド』紙の広告を見る限り、「バドミントン」という名称は 1874 年以降、定着していったように思われる。また 1875 年以降は、屋外で行われるゲームの一つとして、とくに 1876 年以降は、ローンテニスとバドミントンをセットにしたルールブックが刊行され、普及が促されていたことがうかがわれた。

表 4. 『フィールド』紙(1873~1877 年)に掲載されたバドミントン関連の広告主一覧

① パーキンズ&ゴットー[1873. 5/3]-ロンドンの小売店

最初はクローケー用具のみだったが、5/10 [1873] にジャックズ・アライヴとローン・ピリヤードが加わる。4/25 [1874] に『屋外ゲームの説明書』にバドミントンが加えられる。5/8 [1875] には以下の広告。



「BADMINTON (Parkins and Gotto's). — The new game. Price, 30s., 42s., 63s., complete for tennis also, 84s., 105s., Sphairistiké (by licence of the patentee), £6. Out-door games of every description. Lawn bowls, Aunt Sally, Jack's Alive, &c. — Parkins and Gotto, 27 and 28, Oxford-street, London, W. List of games post free.」 [08 May 1875, vol.45, p.450 (p.24 of 56)]  
8/12, 1876 にバドミントンへの記載がなくなる

## ② ジェイムズ・リリーホワイト (チェルトナム) [1873, 10/18, 10/25, 11/1, 11/8]



「The New Outdoor Indian Lawn Game

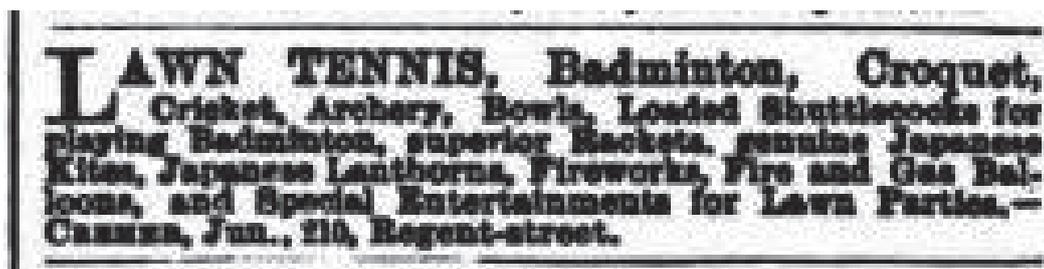
(Prettier, healthier, and merrier than Croquet)

BADMINTON, Or Lawn Racquets.

Sole Registered Proprietor for the British Isle,

James Lillywhite, 3, Queen's circus, Cheltenham」 [18 Oct. 1873, Vol. 42, p.410 (p.32 of 44)]

## ③ クレマー [1874, 7/11-] William Henry Cremer



「Lawn Tennis, Badminton, Croquet, Cricket, Archery, Bowls, Loaded Shuttlecocks for  
playing Badminton, superior Rackets...」 [11 July 1874, vol.44, (p.12 of 56)]

④ ジェフリーズ [1874, 9/19-1875]

・ラケット、クリケット、テニス、ローンテニスの製造業者

(1)



[19 September 1874, vol.44, p.322 (p.36 of 48)]

(2)

「ジェフリーズの名高いラケット、テニス・バット、特許登録されたケーン・ハンドル・ラケット、特許申請されたガットが巻かれたクリケット・ボール、特許申請されたバドミントン用のシャトルコック（オールイングランド・バドミントンクラブで使用される）、ラケット、ファイヴズ、テニスの最高級ボール、ラケット、ファイヴズ、体操の最高級シューズ 1, Lower Wood-street, Woolwich, S.E.」



「Patent Shuttlecock for Badminton, as used by the All England Badminton Club  
1, Lower Wood Street, Woolwich, S.E [26 December 1874, vol.44, (p.39 of 44)]

⑤ ミリキン&ラウリー [1875, 5/22-]

『新発明雑誌』に「バドミントン」の記載、テニスとバドミンントンのクラブ用セット他





**GAME of TENNIS, comprising four bats, two balls, two portable poles, net, boundary pegs, lines, and runners, hammer for driving in poles, and rules, in box, complete, £1. 2s.; superior quality, £1. 10s., 24. 6s., £1. 1s., £1. 6s.**

**CLUB SET of TENNIS and BADMINTON COMBINED.** Comprises four best finished bats, four covered balls, four loaded shuttlecocks, two portable poles, two feet for same (adjustable to any part of the ground, also forming court for indoor use or for playing game of Badminton), net, boundary pegs, lines, and runners, hammer and drill for driving in poles, and rules, in polished box, with lock and key, £7. 7s.

**BADMINTON, £1. 1s.,** comprises four bats, four shuttlecocks, net, two portable poles, cords, pegs, &c., and rules, in strong box, superior finish, £1. 1s. Larger sets, with six bats and six shuttlecocks, £1. 10s.; with eight bats and shuttlecocks, £1. 10s., £1. 6s., £1. 1s.

**SINGLE ARTICLES for BADMINTON and TENNIS.—SHUTTLECOCKS,** per dozen, 2s. 6d., 3s. 6d., 4s. 6d., 5s. 6d., 6s. 6d., 7s. 6d., 8s. 6d., 9s. 6d., 10s. 6d., 11s. 6d., according to quality. **TENNIS BALLS,** per dozen, 2s. 6d., 3s. 6d.; very superior, 4s. 6d. The above can be supplied in less quantities than by the dozen, if desired.

**BADMINTON NETS, white, 4s. 6d.,** 5s. 6d. **TENNIS NETS, straight, 7s. 6d., 10s. 6d., 12s. 6d.,** Tennis No. 2, with wings, 12s. 6d., 15s. 6d., £1. 1s. **RACQUET BATS,** each 2s. 6d., 3s. 6d., 4s. 6d., 5s. 6d., 6s. 6d., 7s. 6d., 8s. 6d., according to size and quality.

**CROQUET SET, 15s. 6d.,** comprising eight mallets, eight balls, ten hoops, clips, starting pins, and rules, in box, 15s. 6d.; superior quality, £1. 1s., £1. 10s., £1. 15s., £1. 2s., £1. 10s. **CHILDREN'S CROQUET SETS,** 2s. 6d., 3s. 6d., 4s. 6d.

## 「テニス・ゲーム・セット

(ラケット4本、ボール2球、持ち運び式支柱2本、ネット、くい、滑車、ライン及び支柱を打ち付けるためのハンマー、及びルールブック) 2ポンド2シリング、優良品3ポンド10シリング、4ポンド4シリング、5ポンド5シリング、6ポンド6シリング

## テニスとバドミントンのクラブ・セット

(上質ラケット4本、ボール4球、シャトルコック4個、持ち運び式支柱2本(いかなる地面に調整可能、また屋内での使用やバドミントンをプレイすることができる)、ネット、くい、ライン、滑車、支柱を打ち付けるためのハンマーと穴あけ器具、及びルールブックが入った鍵付き高級箱) 7ポンド7シリング

## バドミントン

1ポンド1シリング(ラケット4本、シャトルコック4個、持ち運び式支柱2本、ラインコード、くい等、及びルールブック)、優良品は1ポンド15シリング、ラーズ・セット(ラケット6本、シャトルコック6本)は2ポンド10シリング、ラケット8本とシャトルコック8個は3ポンド10シリング、4ポンド4シリング、5ポンド5シリング

## バドミントン用シャトルコックとテニスボール

シャトルコックは品質に応じて1ダース毎に3シリング6ペンス、4シリング6ペンス、5シリング6ペンス、7シリング6ペンス、10シリング6ペンス、12シリング6ペンス、15シリング6ペンス、18シリング6ペンス。テニスボールは1ダース毎に5シリング6ペンス、6シリング6ペンス、たいへん上質なものは12シリング6ペンス。ばら売りも可能。

## バドミントン用ネット

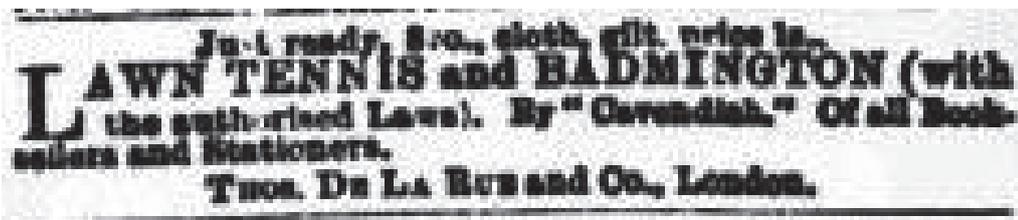
白色は4シリング6ペンス、色付きは5シリング6ペンス。テニスネット(ストレイト)は7シリング6ペンス、10シリング6ペンス、15シリング6ペンス、25シリング。ラケット・バットは大きさと品質に応じて1ペア毎に2シリング6ペンス、3シリング6ペンス、4シリング6ペンス、5シリング6ペンス、7シリング6ペンス、10シリング6ペンス、12シリング6ペンス、18シリング6ペンス、25シリング。

(以下、省略)」

[22 May 1875, vol.45, (p.15 of 58)]

## ⑥ デ・ラ・ルー [1875, 12/11-]

キャベンディッシュ著『ローンテニスとバドミントン』



[11 December 1875, vol.46, (p.8 of 51)]

⑦ E・ピアソン [1876, 4/29-]

**ARCHERY.—A Large Superior STOCK**  
 at **REDUCED PRICES**, worthy the notice of Clubs  
 and private purchasers. Price list on application.  
**LAWN TENNIS, Croquet, Badminton,**  
 Cricket, &c.  
**E. PEARSON** (successor to the late C. Bower), 42,  
 Baker-street, London, W.

「Archery, Lawn Tennis, Croquet, Badminton by E. Pearson, 42, Baker-street, London. W.」  
 [29 April 1876, vol.47, (p.13 of 56)]

⑧ 『ボーイズ・オウン・ブック』1876年版 [1876, 12/9]

ローンテニス、バドミントン、ゴルフ、シンティが記載される。

**THE BEST CHRISTMAS  
 PRESENT FOR A BOY.**

**THE BOY'S OWN BOOK: a complete**  
 Encyclopaedia of Sports and Pastimes, Athletic, Scien-  
 tific and Recreative. New and enlarged Edition for 1876,  
 including Lawn Tennis, Badminton, Golf, Shinty,  
 Velocipedes, La Crosse, Base Ball, &c. With more than  
 600 Illustrations and ten Vignette Titles, printed in  
 gold. Imp. 16mo., over 700 pages, handsomely bound  
 in cloth, price 2s. 6d., postage 7d. [Just published.]  
 "Not one amongst its rivals—not half a dozen of them  
 rolled into one—can match our old favourite. It is still  
 peerless. . . . More truly than ever the lawgiver of the play-  
 ground."—Sun.  
 "Its imitators have been but puny counterfeits. . . . The  
 edition just issued may bid defiance to them all."—Bailey's  
 Magazine of Sports.  
 "There has never been a better book than this for boys.  
 Time and thought have rendered it perfect."—Art Journal.

**CROSBY, LOCKWOOD, & CO.,**  
 7, STATIONERS' HALL COURT, E.C.

[09 December 1876, vol.48, (p.9 of 52)]

⑨ J・ブキャナン [1877, 4/28-] James Buchanan (1876年にルールブックを刊行 [先行研究])

**WINGLESS TENNIS.—J. BUCHANAN**  
 has a large supply of the fashionable game **LAWN  
 TENNIS** now on hand. Price complete, 2s, 4s, 6s, and 8s.  
 Any portion of the game can be had separate. Also Bad-  
 minton and Croquet. Patronised by the Royal Family,  
 English Nobility, and Courts of Europe. New patent,  
 seamless, uncemented, the felt-covered Tennis ball far  
 surpasses any yet brought out, price 12s. per dozen.—To be  
 obtained only of **J. BUCHANAN**, Patentee, Archery Manu-  
 facturer, 215, Piccadilly, London, W.

「Wingless Tennis. -J. Buchanan has a large supply of the fashionable game **LAWN  
 TENNIS** now on hand. Also Badminton and Croquet.」 「J. Buchanan, Archery Manufacturer,  
 215, Piccadilly, London, W.」

[28 April 1877, vol.49, (p.55 of 60)]



London.

8. Nicky Smith, *Queen of Games: The History of Croquet*, 1991, Trafalgar Square: Pomfret.
9. T. Todd, *The Tennis Players from pagan rites to strawberries and cream*, 1979, Vallancey Press: Guernsey.
10. 蘭 和真、蘭 朝子「初期のバドミントンのローカルルールに関する研究：1893年のバドミントン協会設立以前に考案されたルールの研究」、『東海女子大学紀要』15、15～36頁、1995年。
11. 蘭 和真「バドミントンの初期の歴史に関する一考察」、『東海学院大学紀要』4、11～17頁、2010年。
12. 松井良明「19世紀英国における新ゲーム『バドミントン』の誕生と普及に関する研究：1873年の動向について」、『奈良体育学会研究年報』20、17～33頁、2017年(a)。
13. 松井良明「19世紀英国におけるバドミントンの誕生と普及に関する研究：1874年の動向を中心として」、『奈良工業高等専門学校研究紀要』52、2017年(b)。

## 「湯山三吟」の新注解

New Commentary of Yunoyama - Sangin

Katsuhiko SETA

勢田 勝郭

「湯山百韻」については、既に『新潮日本古典文学集成 連歌集』（昭和四五年）や『宗祇名作百韻注釈』（昭和六〇年）などにおいて、先学による注解が施されているが、以後の連歌研究の進展の結果として、いずれも、今日では不十分な所の多いものとなっている。本稿は、それに対し、今日の研究レベルに則した新たな注解を提供しようとするものである。

テキストは『宗祇名作百韻注釈』所載のものを基礎とし、他本と校合して、仕立・付合・去嫌の面でもつとも問題がないと思われるものを設定して用いた。ただし、紙幅の都合上、その設定の過程について具体的に述べることは省略せざるを得なかった。また、寄合の指摘も連歌の注解では重要であるが、これも必要最小限とした。了解されたい。去嫌については、末尾に一覧表の形で示すこととした。それについては、拙稿「連歌去嫌の総合的再検討」（奈良工業高等専門学校「研究紀要」第五二号）を参照していただきたい。ネット上で見ることが出来る。一覧表の「凡例」も、そこに譲る。また、本百韻には多くの古注が存在し、その主要なものは『宗祇名作百韻注釈』に収載されている。本稿も大いにそれを参考とさせていただいた。学恩に深く感謝するものである。ただし、これも紙幅の都合上、一々に引用することができなかった。必要を感じたら、遡って確かめていただきたい。なお、本稿の目的はあくまで「今日の研究レベルに則した新たな注解を提供する」ことにあるので、作品・作者についての一般的説明は、一切、他に譲る所である。

延徳三年十月二十日

賦何人連歌

01 薄雪に木の葉色こき山路かな

肖柏

《解釈》初冬の山路を行く。雪が薄く降り積もり、それが、紅葉して散り落ちた木の葉を一層色濃く見せている。

※賦物は「何人」、句中の「山」により「山人」となる。

※『春夢草』（太田本四〇二）、『大発句帳』（陽明文庫本六八七五）に入集。

薄雪に木の葉色こき山路かな

02 岩もと芒冬やなほ見む

宗長

《解釈》初冬の山路を行く。雪が薄く降り積もり、紅葉して散り落ちた木の葉を一層色濃く見せている。岩のもとに枯れ立ち残る芒の姿も、秋よりも猶風情があるように感じられる。

岩もと芒冬やなほ見む

03 松虫にさそはれそめし宿出で、 宗祇

《解釈》始めて松虫の鳴く音を耳にして、それに誘われるように宿を出たのは、いつの頃だったろうか。その後、冬になった今も、松虫は、岩もとに枯れ立つ芒の下で、やがて死ぬ命を惜しむように、かすかな音を立てている。秋よりも猶、更にあはれは深い。

松虫にさそはれそめし宿出で、

04 小夜更けけりな袖の秋風 肖柏

《解釈》夕方から松虫が鳴きだした。それに誘われるように宿を出て、野辺を行く。夜は次第に更けて、秋風が袖に涼しい。

小夜更けけりな袖の秋風

05 露寒し月も光やかはるらむ 宗長

《解釈》秋の夜、風が袖を過ぎる。置かれた露もいかにも寒そうである。夜が更け行くにつれて、月はますます光を増し、それが露に映している。

露寒し月も光やかはるらむ

06 思ひもなれぬ野辺のゆくすゑ 宗祇

《解釈》旅はいつも辛いもの。行く先は遠く、野辺を行く道の途中で日が暮れ、野宿するはめになった。夜が更けて寒くなり、置かれた露に月が映じている。その月の光も、都で見た月とは全く違っているように感じられる。ひよつとしてそれは、私の涙のせいかも知れない。

思ひもなれぬ野辺のゆくすゑ

07 語らふもはかなの友や旅の空 肖柏

《解釈》旅の空で知り合った人。互いに道連れとなつて語りあうが、行く道が違えば、慣れ親しむこともなく、そこではかなく別れる。野の道はまだ続く。行く先は遠い。

語らふもはかなの友や旅の空

08 雲をしるべの峰のはるけさ 宗長

《解釈》旅の空、越えるべき峰は遥か向こうに見える。その峰の上に雲が浮かんでいる。道連れのいない一人旅、あの雲を、しるべをしてくれる友として語りあいながら行こうか。しかし、私がいくら話しかけても、雲は何も答えてくれない。何ともはかないことである。

雲をしるべの峰のはるけさ

09 憂きはたゞ鳥をうらやむ花なれや 宗祇

《解釈》春の終わり、遙か行く手の峰に雲がかかっている。その雲を目当てにするように、道を行く。行くにつれて、雲と見えたのは、高根の遅桜が散らずに残っているのだということが知れる。直ぐにでもその近くへ行つて、春の名残を惜しみたいと思う。しかし「高嶺の花」、鳥ならば飛んで行けるが、翼の無い身ではどう

しようもない。何とも鳥が羨ましく思われる。

※「雲」を「花」と見紛うのは、花が開花するすこし前か、散つて間もなくの時期である。「高嶺の花」は、平地より開花が遅れるのが普通だから、後者とした。

憂きはたゞ鳥をうらやむ花なれや

10 身をなさばやの朝夕の春 肖柏

《解釈》春爛漫の朝夕。各地の花は、今を盛りと競い咲いている。あちこちの花を漏らさず見届けたいと思うが、それは無理。鳥ならば空を飛んで行けるが、翼の無い身ではどうしようもない。何とも鳥が羨ましく思われる。

身をなさばやの朝夕の春

11 ふる里も残らず消ゆる雪を見て 宗長

《解釈》世間から見放され古里に侘びて住む身の上。生きていたとて、何の望みがあるろうか。春になって雪が消える。自分も、いつそその雪のように消え果ててしまいたいと思いつつながら朝夕を過しているのだ。

※「雪の消ゆるを見て、ふる里に住みわびたる人の、わが身も雪のごとく消えばやと述懐する心か」云々とある古注（太田武夫氏蔵本古注Ⅱ以下、太田本）に従つて解釈した。ただし、この注に対しては「古郷に籠居したる身上なれ共、雪の消ゆるを見て、春に身をなさばやと興じたる心也。此の句を雪消ゆるごとく身も消えばやと聞くは、よろしからずとぞ」という批判がある（神宮文庫『百韻連歌集』所収古注Ⅱ以下、神宮本）。どちらでも可であると私は思う。

ふる里も残らず消ゆる雪を見て

12 世にこそ道はあらまほしけれ 宗祇

《解釈》古里は、冬の間、雪に閉じ籠められていたが、春になって雪が消えて道があらわれ、他所と往来が出来るようになった。道が通つているということは、有りがたいことだ（それと同じように、道理の通る世の中であつて欲しいと願わずにはいられない）。

世にこそ道はあらまほしけれ

13 何をかは苔の袂に恨みまし 肖柏

《解釈》苔の袂に身を褰した身の上。今更、何の悔恨もない。ただ、政治が乱れず、道理の通る世の中であつて欲しい。残る思いは、それ一つだ。

※「苔の袂」の「苔」は比喻であるので、植物として取り扱わないのが古来の作法。従つて、第一五句の「木草」と指合にはならない。

何をかは苔の袂に恨みまし

14 すめば山賤人も尋ぬな 宗長

《解釈》苔の袂に身を褰した身の上。今更、世にも人にも何の恨みもない。山に隠棲すれば、もう木樵や柚人と同じだ。都人よ、あなたたちは、木樵や柚人をわざわざ訪ねたりはしないだろう。だから、私を訪ねることもしないで欲しい。

※近代の注釈は、この句を述懐とするが、「山に住む」「山に入る」というだけでは、述懐として取り扱われない。一例を挙げれば、宝徳四年千句・第二「何路」の第三一句で「身の昔わすられぬべき月の夜に」と述懐が詠まれた後、三句隔てるのみの第三五句で「思ひ入る山をば雲やへだつらむ」と詠まれている。述懐同士は五句以上を隔てねばならないから、第三五句は述懐としては取り扱われていないと考えられる。同様の例は他にも多数存在する。『新式』には「称述懐詞事、昔・古・老・生死・世・親子・苔衣・墨染袖・隠家・捨身・憂身・命等之類也。凡、雖為述懐之意、不露頭詞者、述懐不用来也」とある。この作法が適用されているというのが私の考えである。なお、この点については、以後一々指摘しない。

すめば山賤人も尋ぬな

15 名もしらぬ木草のもとに跡しめて 宗祇

《解釈》人里を離れ、様々の木や草に囲まれた場所に居を定める。そうすれば、もう山賤と同じ身の上。ただし、人よ、辺りの草や木の名を尋ねないでくれ。私はまだその名を知らないのだから、答えようがないではないか。

※太田本に「この付けやう、ことに面白き也。尋ぬなと云ふに、今度は大事なるを、人尋ぬなと也。住めば山賤とこそなれ、いまだ草木の名も知らぬなり」とあるのに従って解釈した。ただし「名もしらぬ木草のごとくに成りたる身を、昔は何がし誰がし殿にてましますらなど尋ねらるゝ事をいとふよし也」とする古注(天満宮文庫滋岡本古注Ⅱ以下、天満宮本)も存在する。いずれでも可であろう。

名もしらぬ木草のもとに跡しめて

16 あはれは月になほぞ添ひゆく 肖柏

《解釈》人里を離れ、名前も知らない様々の木や草に囲まれた場所に居を定める。とりわけ、夜になって、月影を受けて周囲の草木が幽玄微妙に浮かび上がるのを見れば、世のあはれは、より一層、身にしみて感じられる。

※天満宮本に「名月の方にはあらざるべし」とあるのに従って解釈した。勿論、「馴れぬ草木の陰にて月を見れば、猶面白き也」という注のごとく無難に解釈しても、可であろう。

あはれは月になほぞ添ひゆく

17 秋の夜もかたる枕に明けやせむ 宗長

《解釈》秋の夜、枕を交わし語り合う二人。夜が更けて月が出て、互いの思いは添い行くばかりで、言葉は尽きることがない。長いはずの秋の夜も、すぐに明けてしまふことだろう。

秋の夜もかたる枕に明けやせむ

18 思ひの露をかけしやしき 宗祇

《解釈》お互い好きで好きで堪らないのに、中々心に任せて逢うことができない二人の仲。稀の逢瀬に、語り合う言葉は尽きることがない。秋の夜は長いというが、

そんなことはない。もう間もなく夜が明ける。私は帰らなければならぬが、別れが辛くてならない。いっそ、最初にこの人に思いをかけることさえしなかつたら、こんな辛い思いをせずにすんだのにとさえ思ってしまう。

思ひの露をかけしやしき

19 誰がならぬあだの頼みを命にて 肖柏

《解釈》私はどうして、あの人に思いをかけてしまったのか。不実な人だということ、もう解っている。しかし、やはり私は、あの人を当てにしてしか生きて行くことができないのだ。最初にこの人に思いをかけることさえしなかつたら、こんな辛い思いをせずにすんだのにとさえ思ってしまうが、それは全て、私自身の心がしたことなのだ。

※「露」に「命」が寄合。他の例は「種の花にむすびし露消えて／人の命やさだめざるらむ」(紫野千句・第四「何物」二五／二六)など多数。証歌を挙げる必要はあるまい。

誰がならぬあだの頼みを命にて

20 さそふつて待つわび人ぞ憂き 宗長

《解釈》辛いことばかりの身の上、私はもうこの土地では暮らしてゆけそうにない。このままでは、辛いことが更に重なるばかり。誰でもいいから、別な場所に私を誘ってくれる人がいないかと、つくづく思う。そうすれば、私も人生をやりなおすことができるかもしれない。しかし、そんな人が現れる保証はどこにもない。そんな、当てにならないことを当てにして、私は生きています。

※「わびぬれば身を浮草の根をたえて誘ふ水あらば去なむとぞ思ふ」(古今・一八・九三八、小野小町)を踏まえた付合である。

さそふつて待つわび人ぞ憂き

21 すみ離れ今はほどさへ雲の路に 宗祇

《解釈》都を遠く離れ、雲の彼方の僻地に辛い日々を送る身の上。都のことが恋しくてならない。誰か、私を都へ誘ってくれる人が現れないかと、つくづく思う。

※付句は「忘るなよ程は雲居になりぬとも空ゆく月のめぐりあふまで」(拾遺・八・四七〇、たちばなのともた)を念頭に置いた仕立と思われるが、如何。

※『下草』(金子本五二四、続類従本四九六、東山御文庫本五二六)に入集。

すみ離れ今はほどさへ雲の路に

22 入りにし山よ何かさびしき 肖柏

《解釈》世間を離れての山中での独居生活。今では、都も遙か雲の彼方の存在になった。寂しさはもとより覚悟の上。それなのに、時々、寂しくてどうしようもない思いになるのは、一体何故なのだろうか。

※「何か寂しき」は、「寂しくない」ではない。「寂しくないはずなのに、時に、寂しくてどうしようもなくなる」のである。そのように解釈するのが、宗祇流の連歌

に対する正しい態度である。以上、若い人のため。

入りにし山よ何かさびしき

23 わきてその色やは見ゆる松の風

宗長

《解釈》道は山中に入る。松風が過ぎて行く。松はときわの常緑樹、(紅葉樹と違って、秋となっても)寂しく色を変えることはないはずなのに、この寂しさは一体何なのだろうか。

※「寂しさはその色としもなかりけり真木たつ山の秋の夕暮」(新古今・四・三六一、寂蓮法師)を念頭に置いた付合であることは、古注(天満宮本ほか)に指摘するとおり。

わきてその色やは見ゆる松の風

24 泉を聞けばたゞ秋の声

宗祇

《解釈》夏の終わりの庭。松風が涼しく袖を過ぎる。ただし、松は常緑樹。秋が近付いていることを感じさせる色の変化は特に見えない。それでも、庭の泉水の音は、もう既に秋となつていくかのように涼しげに聞こえてくる。

※視覚と聴覚を対比した付合で、「見ゆ」と「聞く」が寄り合う。「見れども飽かず難波江の浦／聞きてこそ古き都は恋しけれ」(顕証院会千句・第十「二字反音」六四／六五)など。

泉を聞けばたゞ秋の声

25 蛩とぶ空に夜深く端あして

肖柏

《解釈》夏の夜、涼を求めて、端居する。庭の泉水の音は、まるで秋のように涼しく、夜空には蛩が飛び違う。思わず夜が更けるのも忘れてしまった。

※『源氏物語』の中川の宿の面影を指摘する古注が存在する(天満宮本・神宮本)。本文を引用すると「風涼しくて、そこはかとなき虫の声／聞こえ、蛩しげく飛びまがひて、をかしきほどなり。人々、渡殿より出でたる泉にのぞきあて、酒のむ」(帚木)のごとくである。

蛩とぶ空に夜深く端あして

26 もの思ふ玉や寝むかたもなき

宗長

《解釈》夏の夜、あの人のことが思われ、眠ることができない。屋の縁に出て、夜空を眺めると、蛩が飛び交っている。あの蛩は、あの人と思う私の魂が、私の身を離れてさまよっているものかも知れない。

※「もの思へば沢の蛩も我が身よりあくがれにける玉かとぞ見る」(後拾遺・二〇、一一六二、和泉式部)を本歌とする付合。「蛩」と「玉」とが寄合。例は「飛ぶ蛩かげほの暗く照らす夜に／わが寝る玉や人に見ゆらむ」(応仁元年十二月五日「何路」一七／一八)など。

もの思ふ玉や寝むかたもなき

27 枕さへ知るとは知るな我が心

宗祇

《解釈》「人を恋していることは、枕さえもが知る」と言われているが、我が心よ、そんなことは忘れて気にしないようにしよう。それを気にしていたら、魂の落ち着いて寝る場所がなくなり、私の身体を離れてさまよふことになってしまうではないか。

※「枕が思ひを知る」という和歌の例は「わが恋は人知るらめやしきたへの枕のみこそ知らば知るらめ」(古今・一一・五〇四、読人しらす)など。

※「思ふ」に「心」、「寝る」に「枕」を対応させた付合。他の例は、「住みがたき庵と何と思ふらむ／我が心だに隠家ぞかし」(文和千句・第一「何人」七五／七六)、後者は「松風も寝られざりしに月を見て／更けて枕に近き虫の音」(永享九年三月二十一日「山何」一一／一二)など。共に、単独ならわざわざ挙げるまでもないレベルだが、組み合わせられると、ちよつとしたポイントとなる。

枕さへ知るとは知るな我が心

28 涙をだにもなぐさめにせむ

肖柏

《解釈》あの人を恋しくてならない。私はどうすればよいのだ。せめて、思い切り涙を流して泣けば、少しは心が休まるかも知れない。ただし、そんなことをすると涙が枕に降りかかり、私の恋を枕までもが知ることになるが、私の心よ、そんなことは、もう気にしないことにしよう。

※「枕」と「涙」とが寄合。他の例は「覚えすむすぶ手枕の露／いつとも身はならはしの涙にて」(文和千句・第三「何木」四六／四七)など。和歌では「涙川枕ながるゝ浮寝には夢もさだかに見えずぞありける」(古今・一一・五二七、読人しらす)など。

涙をだにもなぐさめにせむ

29 藤衣名残おほくも今日ぬぎて

宗長

《解釈》親しい人を亡くした悲しみは尽きぬものだが、服喪の期間には限りがある。今日、喪服を脱ぐことになるが、悲しみは尽きない。どうすればよいのだ。せめて思い切り涙を流して泣けば、少しは心が休まるかも知れない。

※「限りあれば今日ぬぎすてつ藤衣はてなきものは涙なりけり」(拾遺・二〇、一一九三、藤原道信朝臣)を本歌とする付合。「涙」と「藤衣」が寄合。他の例は「つさせぬものや涙なるらむ／たちかへて御被する日の藤衣」(明応四年九月晦日「十三仏名号」八二／八三)など。

※『壁草』(大阪天満宮本・二一九八、大東急記念文庫本・二二五二、続類従本・二四三八、書陵部本・二二七二)『六家連歌集』(雑一〇〇)に入集。

藤衣名残おほくも今日ぬぎて

30 出でむもかなし秋の山寺

宗祇

《解釈》親しい人を亡くした悲しみは尽きぬものだが、服喪の期間には限りがある。

心を残しながらも、今日、喪明けの法要を営み、喪服を脱ぎ捨て、山寺を出る。季節は秋、悲しさがあらためて身にしみる。

※古注（太田本）にも指摘する所だが、「秋の山寺」の「秋」の語の選択が絶妙である。他のどのことばを用いても、この句に及ばない。例えば「出でむも悲し峰の古寺」とか「出でむも悲し奥山の寺」などとすると、付合は一挙に凡庸となる。こういう所で、宗祇連歌のレベルの高さを実感して欲しいと思う。

出でむもかなし秋の山寺

31 鹿の音をあとなる峰の夕ま暮

肖柏

《解釈》参籠明けの日の夕暮、峰の寺を出る。背後から鹿の音があわれげに聞こえる。秋の情趣が深い。

鹿の音をあとなる峰の夕ま暮

32 野分せし日の霧のあはれさ

宗長

《解釈》野分が過ぎた日の夕暮、あたりの草木は強い風に吹き乱されたままである。霧に包まれた峰の方から、鹿の鳴く声が聞こえてくる。秋のあわれが、身にしみて感じられる。

野分せし日の霧のあはれさ

33 しづかなる鐘に月待つ里見えて

宗祇

《解釈》野分の通り過ぎた後の道。途中で日が暮れてしまった。闇夜で何も見えないが、霧が出ているのだろう、空気が湿っている。已むを得ず月の出を待っている、と、遠くから、静かに鐘の音が聞こえてきた。その方角を眺めると、夜霧を透して、里の灯がかすかに見える。里人も、月の出を待って、まだ寝ないでいるのだろうか。※ポイント「月待つ里」というレトリックの所以。鐘によって里の方向を知る。闇の中に灯が見える。里人はまだ寝ていない。何故寝ていないのかと推測するのである。平凡な付合のようだが、宗祇連歌の品位の高さが如実にうかがえるものである。研究者は、天満宮本に「本歌・由緒もなく、何とやら面白き句也とぞ。野分の眺望、身づから吟じて知るべし」とあるのに従って、それを理屈抜きで感じ取るべきであろう。

しづかなる鐘に月待つ里見えて

34 行きて心を乱さむも憂し

肖柏

《解釈》里の灯が見える。人は、まだ寝ずに、静かに月の出を待っているのだろうか。鐘の音が遠く響く。行ってみようか。いや、わざわざ訪れて静かに月の出を待っている人の心を乱すのも、無粋なことかも知れない。

行きて心を乱さむも憂し

35 我ならでかよふや人もしのぶらむ

宗長

《解釈》あの人の所には、私以外にも通う男がいるようだ。それが誰か確かめたいが、わざわざ行って問い詰めるのも、相手の気持ちを考えると、無粋なことだろう。

その男だつて、私と同じく、人目を忍んでいるだろうから。

※天満宮本に「我がとふ人に、また忍ぶ人あるべし。行きて見頭さんこそ本意なからめと、好色の人は、用捨あるもの也。物語などに、この心多し」とあるのに従って解釈した。ただし、「好色」などということに縁のない現代人である私には、素直には納得できない心理ではある。

我ならでかよふや人もしのぶらむ

36 旧き都のいにしへの道

宗祇

《解釈》旧都への往來の古道。ここを行く人は、私に限らず誰もが昔を懐かしく思いやることだろう。

※前句の「しのぶ」は、先の付合では「人目を忍ぶ」こと。それを「昔を偲ぶ」ことに取りなして句境を転じている。天満宮本に「行様珍重なるもの也」と評される所以である。

※「しのぶ」に対して「都」・「いにしへ」が共に寄合。例は、前者は「そのことなくしのぶ我が方／志賀の浦都はさても何時の頃」（応永二十八年五月二十九日「何目」八二／八三）など。後者は「しのぶ心はよわりもぞ行く／いにしへに立ち返るべき道ならで」（文明十四年二月二日「何人」四六／四七）など。証歌の必要はあるまい。

旧き都のいにしへの道

37 咲く花も思はざらめや春の夢

肖柏

《解釈》かつて都がおかれた地の春の古道。桜花は昔と変わらず美しく咲いている。この花も、きっと、夢のように過ぎ去った花やかだった時代のことを、回想していることだろう。

※語の寄合は、いくつかの組み合わせが考えられるが、「都」に「花」、「いにしへ」に「夢」と付けているとするのが適当と思われる。他の例は、前者は「いつの都ぞ志賀の名どころ／下水のさざ波に立つ花ちりて」（応永三十二年六月二十五日「何人」三八／三九）など、後者は「過ぎにし方は何もいにしへ／花を見る夢さへ覚むる朝ぼらけ」（応永三十一年九月二十七日「何船」六八／六九）など。証歌は挙げるまでもあるまい。※「夢」は、普通なら夜分の取り扱ひを受ける語であるが、「春の夢」「秋の夢」「夢の世」などは夜分とはされないのが古來の作法。従って、第三三句の「月」「鐘」、第四一句の「月」とも、指合にはならない。

咲く花も思はざらめや春の夢

38 桜といへば山風ぞ吹く

宗長

《解釈》桜の花が咲いたと思えば、途端に山風が吹いて花を散らす。所詮、自分が持てはやされるのも春のあいだの一瞬の夢のようなものだ、花自身も、きっと思っていることだろう。

※「桜」に「咲く」を利かした秀句仕立。「折りうゑし枝に桜と告げやらば散るや散らずやなどや尋ねむ」（二条太皇太后宮大弍集・二〇）など、和歌以来の手法である。

連歌では、「いざ桜とや風は吹くらむ」(文明八年正月十一日「何路」二二)など。

桜といへば山風ぞ吹く

39 朝露も猶のどかにて霞む野に

宗祇

《解釈》はかないものの代表のような朝露さえもが長閑に感じられるほどの春霞の野であるが、桜の花が咲いたと思えば、途端に山風が吹いて花を散らす。何とも口惜しいことではないか。

朝露も猶のどかにて霞む野に

40 うちながむるもあぢきな世や

肖柏

《解釈》霞たなびく春の野。はかないものの代表のような朝露さえもが、なお長閑に感じられる。それに比べて、世の人の有様はどうか。いつ長閑に感じられる時があるというのだ。残念だが、それが人の世の現実なのだ。

※「朝露は消えのこりてもありぬべし誰かこの世を頼みはつべき」(続後拾遺・一八・一二四一、読人不知)を念頭においた付合であろう。

うちながむるもあぢきな世や

41 更くるまで身の憂き月を忌みかねて

宗長

《解釈》秋の夜、独居の寂しさ・辛さがひときわ身に滲む。眠ることができないままに月を眺めていると、いつの間にか夜も更けてしまった。「月を眺め続けるのは忌むべきことだ」と言われているのは承知のはずだが、何故かどうにもならない。

※「ひとり寝の佳しままに起きあつゝ月をあはれと忌みぞかねつる」(後撰・一〇・一六八四、よみ人しらす)を前提とした付合である。前句の「ながむる」の対象は、先の付合では「この世の有様」であったが、この付合では「月」となる。取りなしが鮮やかに決まっている。

※『壁草』(大阪天満宮本五三六、統類従本六二六、書陵部本六三二)・『宗長百番連歌合』(二五)・『宗長連歌自註・興津苑』(八四)・『六家連歌抄』(秋二五)に入集。

更くるまで身の憂き月を忌みかねて

42 今よりいとふ長き夜の闇

宗祇

《解釈》よくないことだと解っているのに、月を眺めているうちに夜が更けてしまった。何故かという、もう今から、死後、無明長夜の闇路に赴きたくないと思っっているから。この理屈、解るかな？

※和歌の秋の長夜の闇と、仏教の無明長夜の闇が、共に「長き夜の闇」と表現されることを利用して、前句の内容を理屈付けた付合である。その理屈付け方に、強引な意外性があり、それが納得できるかどうかが俳諧的な面白みとなる。よって、解釈は、右のごとく謎かけ体とした。以下、若い人のために云えば『新撰菟玖波集』において、宗祇が「俳諧」の部立を廃したことから、近代の研究者の一部には、宗祇は俳諧体の付合を排除したと言う向きもあるが、全くの誤解である。優美な表現に包まれているので、一目それと気づかれないが、俳諧的付合もまた宗祇連歌の一体として

無視できないことは、実際に作品を読めばすぐに納得される。

今よりいとふ長き夜の闇

43 いさり火を見るもすさまじ沖つ船

肖柏

《解釈》夜になって、海人たちの船は沖に出て、灯をともして漁りをしている。生きてゆくためには仕方ないことだとは言え、夜ごとに殺生を繰り返す彼らは、後の世どうなるのか、荒涼とした気分になる。それを思うと、死後、無明長夜の闇路に赴くことが、今この時からも厭わしく感じられる。

いさり火を見るもすさまじ沖つ船

44 タベの波のあら磯の声

宗長

《解釈》海辺の夕べ、荒磯に波が打ち寄せ、凄涼とした音をたてている。海人たちの船は沖に出て、火を灯して漁を始めたようだ。

夕べの波のあら磯の声

45 時鳥名のりそれとも誰わかむ

宗祇

《解釈》荒磯に夕波が打ち寄せ、大きな音を立てている。時鳥は一声名乗りをあげたようだが、こんな状況では、一体誰が聞き分けることができるか。

※「なのりそ」の隠題。「あまりの音の荒磯の波/時鳥名のりそれともいつ聞かむ」(文明十四年九月二十八日「初何」八二/八三)などの先例がある。「いかにぞや名のりそれとも問はむにも忘れ貝をや海人は告げまし」(村上天皇御集・八〇)など、和歌にも例が存在する。

※「磯」と「なのりそ」とが寄合。他の例は「波かゝる磯の小草の見えわかで/我と我が名をえやはなのりそ」(熱田神宮法楽永祿六年千句・第六「花之何」三三/三四)など。証歌は「睡ある荒磯に生ふるなのりその我が名つげせよおひはしぬとも」(古今和歌六帖・三・一八四五、あか人)など。

※「波の音が高いので、時鳥が名乗りをあげても聞こえない」という発想は、正統的な和歌にはないもの。優美な表現に包まれているが、そこに俳諧性が認められよう。

※「なのりそ」の去嫌上の取り扱いは植物の草類。ただし、隠題で言う時は、植物とは間隔二句以上で可とされる。従って、第四九句の「思草」と指合にはならない。

※『下草』(金子本二〇〇、統類従本一九八、東山御文庫本二〇四)に入集。

時鳥名のりそれとも誰わかむ

46 かへらむ旅を人よ忘るな

肖柏

《解釈》故郷へ帰ろうとする道。時鳥も「帰るに如かじ」と名のりを挙げてくれている。しかし、長く故郷を離れていた私が、帰った時に私の名を名乗ったとしても、一体どれほどの人がそれと気付いてくれるだろうか。故郷の人よ、どうか私のことを忘れないでいてくれ。

※時鳥は「不如帰」と鳴くという故事を踏まえた付合。有名な割に本来の典故が知られないが、大漢和辞典には『蜀王本紀』の文が引かれている。ただし『蜀王本紀』

は仮託の書である。

かへらむたびを人よ忘るな

47 ありぬやと心みにすむ山里に

宗長

《解釈》世間が厭わしくて仕方がないが、捨てざるほどの強い意志があるわけでもない。取りあえず生きていけるかどうか、試みに山里に住むことにする。決して、もう二度と世間には戻らないというつもりではないのだ。中途半端で情けないことだが、また帰って来る場合があるかも知れないということを忘れないでいて下さいね。

※前句の「たび」は、先の付合では「旅」であつたが、この付合では「度」に取りなされていると考え、右のごとく解釈した。如何。

※「心み」には「試」という替字がある。同字は五句去が基本であるが、替字がある場合は間隔二句で可とされる。従つて、後の第五〇句の「心」とは指合にならない。

ありぬやと心みにすむ山里に

48 ならばばしをれ嵐もぞ憂き

宗祇

《解釈》嵐が身にしみて辛い。もともと世を捨てざるほどの強い意志があつて山里に居を移したわけではないのだ。長年ここに住んでいる身の上なら、いくら嵐が強く吹こうと慣れたものだろうが、今の私には辛すぎる。やはり世間に戻ろうかしら。いや、それもまた辛いことだ。

ならばばしをれ嵐もぞ憂き

49 つれなしや野は霜がれの思草

肖柏

《解釈》嵐が身にしみて辛い。野の草は、みな霜枯れてしまつてゐる。それなのに私の心中の思草は枯れることがない。もし野の草に倣うのなら、心の中の思草も枯れ、私があの人を思うことはなくなるはずだが、私はあの人をことをずつと思いつづけている。

※前句の「ならば」は、先の付合では「馴れっこになる」の意。それが、この付合では「同じように倣う」の意に取りなされ、恋への句境の転換が鮮やかである。

つれなしや野は霜がれの思草

50 つか心の松も知られし

宗長

《解釈》野の草は、みな霜枯れてしまいました。それなのに私の心の中の思草は枯れることなく、あなたを待ちつづけています。けれど、そのことは、いつあなたに知られたことがあつたでしょうか。あなたは全く気付いてくれないのです。

※「心の松」は、「心の中に生じた松」ということで、松についての様々な属性の比喩として用いられる。ここでは、同音で「待つ」こと。例は「杉立てる門をぞ人はたづねける心の松は甲斐なかりけり」（拾遺・一四・八六六、よみ人しらず）など枚挙に暇がない。「松」は勿論、植物の木類であるが、「心の松」は比喩なので、植物と間隔二句以上で可とされる。従つて、第五四句の「紅葉」とは、指合にはなら

ない。

つか心の松も知られし

51 和歌の浦や磯隠れつゝまよふ身に

宗祇

《解釈》和歌の浦の磯に隠れて、途方に暮れている身の上。しかし、私の心の中には変わらない思いがある。その変わらない思いを、世の中の人は、いつ知ることがあつたか。誰も知ってはくれないのだ。

※前句の「心の松」は、先の付合では「待つ心」であつたが、この付合では、松の葉の色のように「変わらぬ心」の意で用いられている。例としては「ときはなる心の松もあるものを春ばかりこそ花は咲くらめ」（経盛集・二五）などが挙げられる。これも、句境の転換が鮮やか。

※卑下の表現の中に、連歌に対する宗祇の切実な思いを感じ取るべき句であろう。

※「松」に「和歌の浦」が寄合。他の例は「一むらの松の行方に水はれて／船も寄りくる和歌の浦波」（熱田神宮法楽永祿三年千句・第七「山何」五三／五四）など。証歌は「和歌の浦を松の葉ごしに眺むれば梢に寄する海人の釣船」（新古今・一七一・一六〇三、寂蓮法師）など。

和歌の浦や磯隠れつゝまよふ身に

52 満ちくる塩や人したふらむ

肖柏

《解釈》和歌の浦に塩が満ちよせてきた。まるで、その磯に隠れている人を慕っているようではないか。

※「和歌の浦に塩みちれば瀉をなみ芦辺をさしてたづ鳴きわたる」（続古今・一八一・一六三四、山辺赤人）を踏まえた付合である。

※宗祇の卑下の述懐に対して肖柏が応対した付合だとする金子金治郎氏の指摘は正しいと、私も考える（宗祇名作百韻注釈、二四六ページ）。

満ちくる塩や人したふらむ

53 捨てらるゝ片われ小船くちやらむ

宗長

《解釈》塩が満ちよせて来る。それによって、破損し汀に放置されたまま朽ち残っていた小船が浮き上がり、漂っている。それは、まるで、乗る人を求めているようではないか。

※第五一句から、「浦・磯」「塩」「船」と、水辺が三句連続する。従つて体用の沙汰を吟味する必要があるが、第五三句の「船」は体用の外なので、問題が生じる余地はない。

※「片われ小船」の語は、調査の範囲で和歌からは先例が見出せない。ただし、連歌では「浮きしづむ片われ小船ぬしもなし」（享徳二年千句・第七「手何」四九）などの先例があり、新造語ではない。宗祇流の連歌で和歌に先例のない語が用いられるのは稀である。後考を俟つ。

捨てらるゝ片われ小船くちやらで

54 木の下紅葉尋ぬるもなし

宗祇

《解釈》木の下にたまっていた紅葉（の一ひら）が、（風に吹かれて、汀に）落ちる。それは、あたかも、破損し放置されたまま朽ち残っている小船のごとくである。紅葉も散りつくした。尋ねてくる人は、誰もいない。

※伊地知鐵男氏蔵本古注（以下、伊地知本）に「散りて後は見る人もなき様也。舟は一葉の心也。紅葉を舟にとりなしたる也」とあるのに従って解釈した。神宮本には水辺つまりて付けにくき所とぞ。祇庵のなれどもよく付かずとて、三人ながら一笑せられしと也」と見える。このエピソードが事実を伝えたものであるかは知らないが、的は得ている。「葉」が「舟」に見立てられるためには、「一葉」であることと、「水辺の情景」であることが必要であるが、この付合では、それが共に十分に表現できていないということである。解釈では、それを括弧内に補って、論理が通るようにした。

※「朽つ」に「紅葉」が寄合。『闇夜一灯』にはこの付合が所謂「体付け」の手本の一つとして挙げられている。他の例は「朽ちば身の情けもさこそ果ならめ／深山の庵に惜しき紅葉」（明応七年閏十月十六日「何人」三九／四〇）など。証歌を挙げた必要はあるまい。

木の下紅葉尋ぬるもなし

55 露もはや置きわぶる庭の秋の暮

肖柏

《解釈》暮秋の庭。少し前までは、こんな夕時分にはいっばいに露が置かれたものだが、冬が近付くにつれ置く露も稀になった。木々の紅葉も散り、その下にたまって朽ちつつある。訪れる人は誰もいない。ただ閑かな庭である。

※天満宮本に「尋ぬなし、閑庭のさま也」とあるのに従って、平凡に解釈した。ただし、太田本に「露が染めつくして、暮秋の庭には、染めむ葉もなき程に、尋ぬるもなきと付けなせり」とある解釈も捨てがたい。

※露は、秋には多く置かれるが、冬には少なくなる。まだ冬にならないのに、もう「置きわぶる」ようになったので、「はや」と言っている。更に理屈を言えば、夕露は昼間との寒暖の差が大きいほど多くなるが、冬近くなると昼間も気温が上がらず、露は少なくなるということ。

露もはや置きわぶる庭の秋の暮

56 虫の音ほそし霜を待つ頃

宗長

《解釈》暮秋の庭。少し前までは、こんな夕時分にはいっばいに露が置かれたものだが、冬が近付くにつれ、置く露も稀になった。鳴く虫の音は夜ごとにか細くなつて行く。いずれ霜の降りる時節となるが、その頃には、あの虫たちも死に絶えることだろう。

※虫は露を餌にすると言われているので、露が「置きわぶる」ようだと、虫の音もか細くなるという理屈である。『源氏物語』野分巻の「童べ下ろさせたまひて、虫の

籠どもに、露かはせたまふなりけり」という一節がよく知られている。「荒かりし野分のませも乱れつゝ露飼ふ庭の鈴虫の声」（為尹千首・七四六）などという和歌もある。

虫の音ほそし霜を待つ頃

57 寝ぬ夜半の心もしらず月すみて

宗祇

《解釈》鳴く虫の音は夜ごとにか細くなつて行く。いずれ霜の降りる時節となるが、その頃にはあの虫たちも死に絶えることだろう。床につくが、様々の思いが去来して眠ることができない。そんな私の心も知らぬげに、月は、いつもと同じように澄んだ光を投げかけている。

※伊地知本に「物を思ふときは寝られぬ也。月は何心なくて澄みわたる、面白き也」とあるのに従って解釈した。神宮本には「付くる心は、虫の寝ぬ心も知らずとなり」云々とある。それでも可であろう。

寝ぬ夜半の心もしらず月すみて

58 あやになれや思ひたえばや

肖柏

《解釈》寝ずにあの人の来訪を待つ。しかし、あの人は来ない。あの人のことを完全に諦めることができれば、こんな辛い思いをせずにすむのだけれど、そんなことは出来そうにない。私はどうすればよいのだ。そんな私の心も知らぬげに、月は、いつもと同じように澄んだ光を地上に投げかけている。

あやになれや思ひたえばや

59 頼むことあればなほ憂き世の中に

宗長

《解釈》もう絶対にあの人が私のもとに戻ることはないだろうと、そう悟ってしまったが、辛くても諦めればいだけのこと。しかし、あの人はいつかまた帰ってきてくれるのではという思いを捨てきれない。それだけに、皮肉なことだが、私の心はより一層辛くなるのだ。

※前の付合は「恋」、二句前は「恋」ではない。従って、この付合が「恋」でなければ「恋」が一句で捨てられることになるので、「恋」の付合として解釈した。ただし「恋」の二句以上連続の作法が成文化されるのは、文龜二年の肖柏補訂においてであり、それ以前「恋」の二句以上連続が、どれほど徹底して行なわれていたか、現在の連歌研究は未解明である。「恋」二句以上連続にこだわりさえしなければ、この付合も、世間一般のこととして解釈することも可能であろう。太田本には「世上にたのむことあれば、有る程うきある物なり。みなあやにくの事なり」とある。これは「恋」としての解釈ではない。後考を俟つ。

頼むことあればなほ憂き世の中に

60 老いてや人は身をやすくせむ

宗祇

《解釈》人というものは、なまじ当てにしたり願うことがあると、それが返って自身を苦しめることになりがちだ。歳をとれば、当てにしたり願うことが自ずと少な

くなり、比較的安らかな気持ちでいることができるだろう。

老いてや人は身をやすくせむ

61 越えじとの矩もくるしき道にして 肖柏

《解釈》歳をとると、人は、若い時よりも安らかな気持ちでいることができると言われている。孔子の語にも「七十にして、心の欲する所に従ひて矩を踰えず」とある。しかし、至らない私にとっては、「矩を踰えず」に生きようとするのも、中々苦しい道なのだ。

※「論語」為政編にある有名な「七十而従心所欲不踰矩」の一節を踏まえた付合である。

越えじとの矩もくるしき道にして

62 雪ふむ駒のあしびきの山 宗長

《解釈》私の乗っている馬は、雪の山道を、一歩一歩、苦しうに脚を引きずりながら進んでゆく。果たして、今日中に、この山を越えることができるだろうか。どうも、できそうにない。

※「矩」を「乗り」に取りなして、句境を、述懐から「旅」へ鮮やかに転換している。

※「矩・法」と「駒・馬」とが寄合。「心にや法のまことは知らるらむ／教へぬ道を駒は行くなり」（文和千句・第二「手何」三九／四〇）など、連歌では古くから好まれた手法である。

※『新撰菟玖波集』（一一二・一一三・四九）・『壁草』（大阪天満宮本九九八、続類従本一一九四）・『六家連歌抄』（雑一六）に入集。

雪ふむ駒のあしびきの山

63 袖冴えて夜は時雨の朝戸出に 宗祇

《解釈》旅のやどり。昨夜は時雨の音を聞きつつ眠りについた。目覚めると、山には雪が積もっている。今日は、あの山を越えねばならない。これから出発だ。寒さが身にしみる。馬よ、お前も大変だろうが、頑張ってくれ。

※「夜は時雨の朝戸出に」と、美しい言葉の連鎖の中に時間的経過による状況の変化を表現している所、私には見事としか言いようがない。「旅立つも露はらひ行く朝戸出に」（熱田神宮法楽慶安五年千句・第五「何船」六五）とかの凡庸な句と比較すれば、違いは誰にも明白であろう。この百韻の句の二々について味読して、この百韻のレベルの高さを実感して欲しい。

袖冴えて夜は時雨の朝戸出に

64 恨みがたしよ松風の声 肖柏

《解釈》旅のやどり。昨夜は時雨が降っていた。明日は雨の中を出発せねばならないのかと、憂鬱な気分であつたが、朝目覚めてみると時雨は止んでいる。終夜、時雨が降り続いてきたように聞こえたが、実際は、松風が時雨の雲を吹き飛ばし、途中からは、松風の音が時雨に紛れていたのだ。松風が身にしみて寒いのは辛い、雨の中を行かずにすむのは、風が吹いたおかげだ。恨みにばかり思つてはなるまい。

※ポイントは、夜の間に松風が時雨の雲を吹き払ったということ。それによって、今日は雨に濡れずに旅ができるという思いである。冬の雨の中の旅が、当時どれほど辛いものであつたかを追体験しようとするなら、四国で歩き遍路などをしてみればよい。時雨は濡れるが、「松風の時雨」なら濡れずにすむという発想の証歌として

は「雨とのみ吹く松風は聞こゆれど声には人も濡れずぞありける」（玉葉・一六・二一八八、貫之）などが挙げられる。

※「時雨」に「松風」が寄合。他の例は「寢覚には時雨を聞きし戸をあけて／冴えたる月にむかふ松風」（文明十八年九月晦日「山何」五五／五六）など。証歌は「今はまた散らでもまがふ時雨かなひとり更けゆく庭の松風」（新古今・六・五八七、源具親）など。

恨みがたしよ松風の声

65 花をのみ思へば霞む月のもと 宗長

《解釈》桜花を松風が散らす。何とも松風が恨めしい。しかし、この風は、月に厚くかかた霞を吹き払ってくれるだろう。そうすると、花と月を同時に賞することができる。松風をあながちに恨みにばかり思つてはなるまい。

※前句を理屈つけた付合であるが、その理屈付け方に意外性がある。そこに一抹の俳諧味を私は感じるのだから、いかがであろうか。

花をのみ思へば霞む月のもと

66 藤咲く頃のたそがれの空 宗祇

《解釈》夕月が霞みつつ夜を待つ晩春の黄昏時、藤の花がしなだれ咲いている。桜花は、数日前に散りはててしまった。それを惜しむ気持ちは今なお深い、この藤の黄昏の情趣も、それに劣らず惜しむべき思いがする。

※連続は二句以内のはずの植物が、三句連続している。天満宮本に「植物三句つゞき侍り。直しあらたむべきにあらず、不及力、執筆のあやまりになしておかれたり」とあるように、極めて稀で有名な違反例である。

※付句の仕立は「君にだに問はれてふれば藤の花たそがれ時も知らずぞありける」（後撰・三・一三九、つらゆき）を踏まえたものである。

藤咲く頃のたそがれの空

67 春ぞ行く心もえやはとめざらむ 肖柏

《解釈》桜も散り果てたある日の黄昏時、藤が静かに花房を垂れている。もう春も終わりのなだ。春自身も、この情景を見て、いま少しとどまっていたかと思つても、春も知れないが、それは出来ない相談なのだ。

春ぞ行く心もえやはとめざらむ

68 深山に残る鶯の声 宗長

《解釈》晩春の深山を行く。里では耳にしなくなつた鶯の声がまだ聞こえる。もう春も終わりのなだ。いくら鶯が心で惜しんでも、行く春を止めることはできない。

※前句の「心」は、先の付合では、春自身の心、それが、この付合では鶯の心となる。  
 ※第六四句に「声」が用いられており、この句の「声」と間隔三句。同字は五句以上を隔てねばならないから、指合を生じている。紹巴以後の連歌なら、強く批判される所だが、宗祇流の連歌は、時に鷹揚である。

深山に残る鶯の声

69 うちつけの秋にさびしく霧たちて 宗祇

《解釈》昨日まで残暑が厳しかったが、今日になって、突然、いかにも秋らしい気配となった。山には霧がかかり、その向こうから、鶯の老いた声がチャツチャツと聞こえる。

※鶯は留鳥だから、一年中日本にいる。ただしホーホケキョと鳴くのは繁殖期のみ。先の付合の「鶯の声」は、勿論それである。この付合での声は、所謂「地鳴き」である。

※「鶯」と「霧」とが寄合。『和漢朗詠集』などに見える「山鶯咽霧啼尚少」の詩句が典拠。他の例は「鶯のなく音や我をさそふらむ／霧の奥なるあけぼの」山（長享二年十一月十日「何路」九／一〇）など。

うちつけの秋にさびしく霧たちて

70 今朝や身にしむ天の川風 肖柏

《解釈》残暑も去り、今朝は、突然に秋がやってきたような気配で、空には霧がかかっている。昨夜は七夕。二星はさぞかし、天の川に吹く秋風を身にしみて感じていることだろう。

※「霧」に「天の川」が寄合。他の例は「霧間にしろき水かすかなり／月にははや夕影みゆる天の川」（天文十八年梅千句・第六「山河」八六／八七）など。証歌は「こひくくて逢ふ夜はこよひ天の川霧立ちわたり明けずもあらなむ」（古今・四・一七六、よみ人しらず）など。

※七夕のことは、それだけでは「恋」としての取り扱いを受けない。従って、第七四句と指合にはならない。

今朝や身にしむ天の川風

71 衣うつ宿をかりぶし起き別れ 宗長

《解釈》交野の里に一夜の宿りを取り、朝早くにその宿を出発する。昨夜は遅くまで砵の音が聞こえた。今朝は、天野川の川風が身にしみいる。

※銀河の「天の川」を河内国の名所「天野川」に取りなし、句境を旅に転じた付合である。

※「宿をかりぶし」は「宿を借る」に「仮臥」を利かせた秀句である。「狩りくらし七夕つめに宿からむ天の川原に我は来にけり」（古今・九・四一八、在原なりひらの朝臣）を踏まえる。なお、『伊勢物語』第八十二段により、その宿が交野の里であることは、当時の常識。その歌を典拠に「天の川」に「宿借る」が寄合。他の例

は「天の川とも心こそ見め／宿借らば月を今宵のあるじにて」（出陣千句・第七「朝何」二四／二五）など。

衣うつ宿を仮ぶし起き別れ

72 夢はあとなき野辺の露けさ 宗祇

《解釈》旅の宿を出て、秋の野の道を行く。辺りは露でいっぱいである。昨夜は砵の音で夢を覚まされた記憶だけは残っているが、どんな夢だったか思い出せない。

夢はあとなき野辺の露けさ

73 かげ白き月を枕のむらさ 肖柏

《解釈》秋の夜の野宿。ふと目を覚ます。夢を見ていたはずだが、どんな夢だったか全く思い出すことができない。枕のあたりの一叢の芒の穂も露でいっぱい、それが皓々とした月の光を映して風にそよいでいる。

※解釈は、太田本に「夢覚めて見れば、月枕に影すみて、むらさのきらきらとしたる也」とあるのに従った。天満宮本には「華麗の金玉なり」とある。しつかり味読してほしい。

※「夢」に「枕」、「野辺」に「芒」が寄合。共にわざわざ指摘するまでもないレベル。※三折裏で二つ目の「月」であるが、当時の連歌の作法では問題とならない。念のため。

かげ白き月を枕のむらさ

74 いっしか人になれつゝも見む 宗長

《解釈》秋の夜、床につこうとすると、庭の一叢の芒が、皓々とした月の光に照らさされている。この情景を、一体いつになったら、あの人と仲良く見ることができのらうか。

※「小牡鹿の入野の芒はつ尾花いっしか妹が手枕にせむ」（新古今・四・三四六、人丸）を踏まえた付合。この歌を典拠にして「芒」に「いっしか」が寄合。他の例は「小芒の岩根く折れふして／いっしか声の遠ざかる道」（慶長八年千句・第四「薄何」一七／一八）など。

いっしか人になれつゝも見む

75 遠近になりて浅間の夕煙 宗祇

《解釈》夕方になりました。浅間山の噴煙が空に立ち昇っています。私はそれをここから眺めています。あの人のいるところは、遠く離れたむこう側。今、どうしているのでしょうか。私と同じように、あの噴煙を眺めているのかしら。今は、このように離れ離れになっていますが、いつか、どうかして二人仲良く一緒に、浅間山を眺めたいものです。それは一体いつの日のことなのでしょう。

※「信濃なる浅間の嶽に立つ煙をちこち人に見やはとがめぬ」（新古今・一〇・九〇三、業平朝臣）を踏まえる。

遠近になりて浅間の夕煙

76 消ゆとも雲をせりとしらめや

肖柏

《解釈》夕方になりました。浅間山の噴煙が空に立ち昇っています。あれは、遠く離れたあなたを恋い焦がれる私の「思ひの煙」なのです。けれど、たとえ私がこのまま焦がれ死にしたとしても、あなたは、空の雲を見て、あれは自分を恋い焦がれて死んだ女の「思ひの煙」の末だとは、気付いてくれないでしょう。

※伊地知本に「かならず煙は雲と成る也。遠近と別れたる人は、消ゆとも其の雲とは知られじと也」とあるのに従って解釈した。「思ひの煙が雲となる」の証歌は「恋ひわびて絶えぬ思ひの煙もや空しき空の雲となるらむ」（金葉・二度本・八・四六五、民部卿忠教）など。

※「煙↓消ゆ」と、上句末から下句へ受け継ぐ「受けとりてには」などと呼ばれる手法。「寝る間の空にたなびく朝霞／立つを名残の雁や鳴くらむ」（熊野千句・第九「朝何」二五／二六）など、同類の先例である。

77 はかなしや西を心の柴の庵

宗長

《解釈》柴の庵を営み、弥陀仏の来迎を願う。しかし、その心も時として弛みがちである。こんな自分は、果たして臨終の時に、阿弥陀さまが雲に乗って迎えに来てくれる姿を見ることができようか。もし出来ないとしたら、何とかなないことではないか。

※前句の「雲」を「阿弥陀来迎の紫雲」に取りなしての句境の転換が鮮やかである。前句の「消ゆ」は、先の付合では「煙」のこと、この付合では「命」。

※「柴の庵」は植物としての取り扱いを受けないのが伝統的作法。従って、第七四句の「芒」とも、第八〇句の「林」とも指合にはならない。

はかなしや西を心の柴の庵

78 身の古りぬ間は何思ひけむ

宗祇

《解釈》年老いて、柴の庵を営み弥陀仏の来迎をただひたすらに願う。若い頃は、世俗的なことに心を勞し、後生のことなど考えもしなかったが、今となれば、はかないことであった。

身の古りぬ間は何思ひけむ

79 見る目にも耳にもすさび遠ざかり

肖柏

《解釈》年老いて、目も耳も遠くなり、耳目の楽しみとなることは何もなくなってしまった。今では、若い頃は一体何を楽しみにしていただろうかと、そう思われるほどだ。

見る目にも耳にもすさび遠ざかり

80 冬の林に水凍る声

宗長

《解釈》冬枯れて色彩のなくなった林。その中の流れる水も凍ってゆくらしい、音が

次第にか細くなってゆく。紅葉を眺めながら、せせらぎに耳をすませてこの林の道を歩んだ秋の日は、遠くなってゆくのだ。

※前句の「見る目」に対し「冬の林」、「耳にも」に対し「水凍る声」と付けることによつて理屈づけた付合である。その理屈づけ方に意外性があり、そこに一抹の俳諧味があると私は感じるが、それを優美な表現で包んで目立たせないのが宗祇流連歌の品位。宗祇流連歌のレベルの高さがあらためて実感されよう。

※「耳」と「声」とが寄合。他の例は「耳だにも明らかならぬ老は憂し／声なへだてその法の場」（応仁二年正月一日「何人」五五／五六）など。

※第七四句に「見む」とあり、「見」字が間隔四句で、指合を生じている。後の紹巴以後の連歌なら強く批判される所であるが、宗祇流の連歌は比較的鷹揚である。

冬の林に水凍る声

81 夕鳥寝にゆく山は雪はれて

宗祇

《解釈》冬枯れて色彩のなくなった林。その中の流れる水も、夕方になって気温が下がりが凍ってゆくらしい、音が次第にか細くなってゆく。空は寒々と晴れ、山々には雪が積もり、そこに寝に帰るべく、鳥がしきりに鳴いている。

※「夕鳥」の語は、勅撰集に見ないが、「月出づる峰の林の夕鳥しばしねぐらをとりに定めぬ」（四〇二一）など『草根集』から三例が見出される。他に『為尹千首』にも例（五七七）が見え、冷泉派の和歌に好まれたものと推察される。同様のことは、「手枕の月」「袖の夕暮」「雲にさへ」「漏らさじよ」「ひとり乱るゝ」「春の川づら」「花に月」「雲にも迷ふ」「雪の下庵」「芦の穂綿」「かの国」「朝わたり」「松が本」「散る桜あれば」「秋の枕」「水の秋風」等々のレトリック（以上、『三島千句』における出現順）についても言え、宗祇流連歌と冷泉派の和歌の表現の親近性を窺わせる。若い人のために、敢えて多言を弄する所である。

夕鳥寝にゆく山は雪はれて

82 いらかの上の月の寒けさ

肖柏

《解釈》冬の日暮れ時、上空は晴れ、鳥はねぐらに帰ろうとしている。山々は雪におわれ、その中に萱屋根が見えるのは、寺なのだろうか。月は、今しもその萱の上で夜を待っているが、その光もいかに寒々としている。

※「いらか」は居所。第七七句に「庵」があり、間隔は四句で、指合を生じている。後の紹巴以後の連歌なら、強く批判される所であるが、宗祇流の連歌は比較的鷹揚である。

いらかの上の月の寒けさ

83 誰となく鐘に音して更くる夜に

宗長

《解釈》夜が更けて、鐘の音に目を覚ます。人音がするが、今時分、誰が何のために起きているのだろうか。ふと夜空を眺めると、萱の上に月がかかり、寒々とした光を放っている。

※近代の注釈はこの句を「釈教」とするが、「鐘」は、単独では釈教としての取り扱いは受けない。それを証する例(河越千句・第三「何船」の第五二―五五句など)はいくらでもあり、実際に調査すれば簡単に判ることなのに、近代の連歌研究はそれを怠っていたと言える。

誰となく鐘に音して更くる夜に

84 ふる人めきてうちぞしはぶく 宗祇

《解釈》夜が更けて、鐘の音に目を覚ます。人音がするが、誰が何のために、今時分起きているのだろうか。そう思っていると、いかにも老人らしい感じで咳払いをするのが聞こえた。

ふる人めきてうちぞしはぶく

85 蓬生や問ふをたよりにかこつらむ 肖柏

《解釈》昔、ちよっとした関係のあった人のことが気になって、その場所を訪ねる。そこはもう葎の宿となってしまっているが、人が住んでいるらしく、いかにも老人らしい感じで咳払いをするのが聞こえた。あれは、あの人に仕えていた女性だ。きっと、その間のことを訴えかこつことだろう。

※古注(天満宮本ほか)の指摘どおり、前句の「しはぶく」に触発されて、『源氏物語』蓬生巻の一シーンを面影にした付合である。本文に「いと物古りたる声にて、まづしはぶきを先に立て」と云々と見える。『源氏物語』の面影であるが、恋愛感情を詠じるものではないので、去嫌上「恋」として取り扱われない。

蓬生や問ふをたよりにかこつらむ

86 この頃しげさまさる道芝 宗長

《解釈》侘び住まいをしている人の居所を、久しぶりに訪問する。最近は何に訪問する人もいないのだろう、道の芝草も繁くなっている。住まいも蓬が生え放題だ。言えば、今の生活の寂しさ・辛さをかこつことだろう。

この頃しげさまさる道芝

87 暑き日はかげよわる露の秋風に 宗祇

《解釈》残暑は厳しかったが、この頃は日射しも弱くなり、朝夕は道芝も露しげくなっている。秋風が心地よい。

※天満宮本に「しげさは露の事也」とある。前句の「しげさ」は、先の付合では「道芝」、この付合では道芝に置かれる「露」のこととなる。

暑き日はかげよわる露の秋風に

88 衣手薄し蝸の声 肖柏

《解釈》昼間は残暑がきびしかったが、午後になって日射しも弱くなり、露を呼ぶ秋風が、まだ夏の薄着のままの袖に心地よく感じられる。蝸も鳴き始めた。

※平凡な句のようだが、天満宮本には「さる時節の様、無比類者也」とある。よく味読すべきであろう。「山陰ものこる暑さの暮れやらで／またほのかなる蝸の声」(永

禄元年七月十八日「何船」八〇／八一)などの凡庸な付合とはレベルが違うことぐらいなら、誰でもわかる。

衣手薄し蝸の声

89 色かはる山の白雲うちなびき 宗長

《解釈》初秋の山。白雲が薄く衣をかけたようにたなびき、それを通して、漸く色づきはじめてた山の梢が見える。どこかから蝸の鳴く声が聞こえてくる。

※「衣」に「雲」が寄合。他に「よも織らじ身を空蟬のからころも／日影を障ふる空の薄雲」(紫野千句・第二「何木」二五／二六)など。「雲の衣」の歌語に拠る。証歌を挙げる必要はあるまい。

色かはる山の白雲うちなびき

90 尾上の松も心見せけり 宗祇

《解釈》次第に木々の紅葉も色まさる頃の山、白雲がたなびき、その隙から尾上の松の姿が見える。松は、秋となっても色を変えるものではないが、それでも、ちよっぴりセンチメンタルな様子である。

※神宮本に指摘する所だが、「色かはる山」の「紅」、「白雲」の「白」に対し、「尾上の松」の「緑」の色彩を添えた付合である。

尾上の松も心見せけり

91 たのめなほ契りし人を草の庵 肖柏

《解釈》俗世間を捨て草庵に隠れ住む身。必ず訪ねると約束してくれた人がいるのだが、その人はまだ来ない。その人の心が変わったのだろうか。寂しさがつのる。どうしようか。いや、やはりまだ待つべきだろう。尾上の松だって、変わらぬ色を見せて、その名のとおり「待つ」と言おうとしているようではないか。

※近代の注釈は、この付合を「恋」とするが、明白な誤り。「契る」は必ずしも「恋」ではなく、「庵」などを結んで用いられる時は、普通に、隠遁生活者とその知人との間の約束という意味である。「山里に契りし庵やあれぬらむ待たれむとだに思はざりしを」(新古今・一八・一五六七、前大僧正慈円)の和歌が有名。自讃歌である。

※「庵」は第七七句で「庵」が詠まれており、ここで二句目。「庵」は一座二句物であるが、二句用いる場合は「いほ」「いほり」と形を変えねばならないとするのが「新式」の本来の規定。この百韻は、二句とも「いほ」であり、違反している。ただし、当該の規定は宗祇流連歌では有名無実化しており、違反例は枚挙に暇がない(例示省略)。肖柏補訂で「但し、言ひかへずともあるべし」と注記されるのは、それを成文化(公認)したものである。

たのめなほ契りし人を草の庵

92 うときは何かゆかしげもある

宗長

《解釈》俗世間を捨て草庵に隠れ住む身。必ず訪ねると約束してくれた人がいるのだが、その人はまだ来ない。その人の心が変わったのだろうか。そうかも知れない。こんなに疎遠になってしまつては、訪ねようという気が起こらなくなるのも無理のないことだ。しかし、それでも自分には、その人を待つ以外のやりようはないのだ。※神宮本に「かゝる草庵なれば、うときもことわりなり。されども猶たのみてみよとなり。あまりにうとく成りてゆけば、床しげも無うなるとなり」とあるのに従つて解釈した。ポイントは、「うとき人」と「契りし人」が別にいるのではなく、「契りし人」が「うとくなる」というのが、世のならいだということである。

うときは何かゆかしげもある

93 わりなしやなこそその関のまへ渡り

宗祇

《解釈》あなたと私の仲は切れしました。他人同士です。私の家の前には関所があります。す。「勿来の関」です。その意味はお解りでしょう、「もう来るな」ということです。普通なら、別れた女の所など、何のゆかしげもないはず。それなのに、あなたは、勿来の関の前を行つたり来たり。未練がましいつらありやしない。

※天満宮本に「なこそといふに、何の床しげかありて、わりなく前わたりするぞと也」とあるのに従つて解釈した。

※「勿来の関」は、当時は、山類として取り扱われていなかったと推測される。寛正三年正月二十五日「何人」の第三八〇句は「霞める山の末やたづねむ／人知れぬわが友なれや呼子鳥／老を勿来の関守もがな」のごとくで、山類の打越で「勿来の関」が詠まれている。同様の例は他にも存在する（明応三年十月晦日「何路」五三〇五七など）。従つて、第九〇句の「尾上」とも、第九六句の「山越え」とも指合にはならない。

※『下草』（金子本六四二、続類従本六一四）・『名所句集』（八〇五）に入集。

わりなしやなこそその関のまへ渡り

94 誰呼子鳥鳴きてすぐらむ

肖柏

《解釈》なこそその関の前を、呼子鳥は鳴きながら通り過ぎて行く。これはどういうことだ。「なこそその関」だから、勿論、お前は来るなということだろう。それなのに「呼子鳥」とは、（こつちへ来いと）呼んでいるということだ。一体どつちなんだ。無茶苦茶なことを言うな。

※「東路のなこそその関の呼子鳥なに／つくべき我が身なるらむ」（散木奇歌集・九・一二五六）を本歌とする付合である。これを証歌にして、「なこそその関」と「呼子鳥」とが寄合。連歌での他の例は「こたふるをおのが友とや呼子鳥／誰をなこそその関の春風」（文安雪千句・第十「花之何」五七／五八）など。

※優美な歌語に包まれているが、内容は全くの俳諧体である。近代の研究者には無視

されがちだが、これも宗祇流の一体。第四二、四五、六五、八〇、八四句も参照されたい。

誰呼子鳥鳴きてすぐらむ

95 思ひたつ雲路に霞む天つ雁

宗長

《解釈》「呼子鳥が鳴いて誰かを呼びながら通り過ぎて行つた」つて言うけれど、呼子鳥つてどんな鳥なの？ それは「雁」だよ。雁は、春になって北の国に帰ろうと思ひ立つと、「かりかり」つて鳴いて仲間を呼びながら霞の空を飛んで行くだろう。だから「雁」のことを呼子鳥つて言うんだ。

※天満宮本に「雁は我が名をよぶ鳥也。さて、呼子鳥を雁に取りなせる句なり。鳴きてすぐらむも雁の事也」とあるのに従つて解釈した。先の付合に引き続きこれも俳諧的な付合である。「雁は我が名をよぶ鳥也」の証歌は「行き帰りこゝもかしこも旅なれや来る秋ごとにかり／と鳴く」（後撰・七・三六二、よみ人しらず）など。連歌での例は「秋風に聞く世の中の憂さ／かり／と鳴きわたることあはれなれ」（那智籠・北野天満宮本三二四六〇）など。

96 さこそ花をあとと山ごえ

宗祇

《解釈》春の旅の山越え。雁が、北の故郷へと思ひ立つて、霞の空を行くのが見える。山々では、ようやく花が咲こうとしている。それをあとにして帰るのは、雁よ、さぞかし名残惜しいことだろう。

※天満宮本に「花をあとになして帰るは、雁もさこそは残りおほからめと云ふ心を、云ひ残したる付け様也」とあるのに従つて解釈した。

さこそ花をあとと山ごえ

97 心をもそめにしものを世捨人

肖柏

《解釈》世を捨て、閑寂を求めて山中に独居する。しかし、そこも、春になると、山の花を見ようと人がやってくる。世捨人は、人の来ない奥へと、花をあとにして山を越えて移り行く。世捨人といえども、春の花を賞したい心はあるはずだが、それをふり捨てて行く気持ちを思いやるべきだろう。

※ポイントは、山居の静寂が、花を見に来る人のために侵されるので、更に山の奥へと移動するということである。「とふ人もあらじと思ひし山里に花のたよりに人目みるかな」（拾遺・一・五一、もとすけ）など、古くより詠ぜられる状況である。

心をもそめにしものを世捨人

98 出でば仮なる宿りともなし

宗長

《解釈》一度は栄達を夢見た世を、捨てようと決心をする。しかし、いざ捨ててみると、何かにつけて様々のことが思ひ出される。所詮この世は仮の宿りと思ふからこそ、捨てる決心をしたのであるが、これでは、仮の宿りとはとても思えなくなつてくる（それでも、その気持ちをふり捨てるのが、本当に世を捨てるということなのだ）。

※伊地知本に「いつかたも、住めば仮なる宿にてはなしと、執心したる心也」とあるのに従って解釈した。言わずもがなだが、前句の「心をそめ」た対象は、先の付合では「花」、この付合では「この世での栄達」となる。

出でば仮なる宿りともなし

99 露の間を憂きふる里と思ふなよ 宗祇

《解釈》願うべき常在真実の世界に比べれば、この世は露の間でしかない。その露の間のこの世を、「辛くても帰らねばならない故郷」と勘違いしてはならない。一たび出離したならば、この世は仮の宿りですらないのだ。

※伊地知本に「暫時の間を、うき古郷と思ふなよ、たゞ仮の宿と云ふなり」とあるのに従った。ポイントは「露の間」とは、人がこの世に存在する時間のことだということである。

※「憂きふる里」の例は、和歌に先例がいくつかあるが、ここで念頭にあったのは「あまたたび斧の古柄はすげ換へて憂きふる里になに帰らまし」（山田法師集・三〇）であったと私は考える。如何。

※『下草』（金子本一〇七八、続類従本一〇六〇、東山御文庫本一〇七二）に入集。

露の間を憂きふる里と思ふなよ

00 一村雨に月ぞいざよふ

肖柏

《解釈》故郷で月を眺めようとしていたが、あいにくの村雨で、月をみる事ができない。だからと言って、故郷のことを、ことさらに恨みがましく思うべきではない。所詮、少しの間のこと。村雨が通り過ぎれば、夜空をいざよつて月が姿をあらわすはずだ。この世も同じこと。辛いからと言ってことさらに恨みに思うべきではない。いつか、真如の月を見る事ができるだろう。

※天満宮本に「月にうき村雨は、露のあひだなるべし。さのみはうらみまじき雨ぞと也。古郷のうきは、月にかゝる村雨のほどぞと観念したる義也」云々とあるのに従って解釈した。

※「露」に「村雨」が寄合。他の例は「露の身は住むもしばしの柴の庵／降るとしもなき風の村雨」（応永三十年五月二十五日「山何」一七／一八）など。証歌としては「村雨の露もまだひぬ真木の葉に霧たちのぼる秋の夕暮」（新古今・五・四九一、寂蓮法師）が有名。

※近代の注釈は、この挙句が祝言的でないことを異例とするが、解釈で示したとおり宗教的な救済を暗示するものであり、その点で祝言的に準じ、挙句の伝統的作法を根本的に否定するものではないというのが、私の考えである。

「湯山三吟」去嫌一覧（I）

		季	七	恋	旅	述	植	動	山	水	居	降	聳	光	神	積	人	名	衣	時	夜	風	聞		
初表	01	うす <b>ゆき</b> に このはいろこき やまちかな	冬				木	山				降													
	02	いはもとすすき ふゆやなほみむ	冬				草																		
	03	まつむしに さそはれそめし やといてて	秋					虫			居														
	04	さよふけけりな そてのあきかせ	秋																	衣		夜	風		
	05	つゆさむし <b>つき</b> もひかりや かはるらむ	秋	月									降		光								夜		
	06	おもひもなれぬ のへのゆくすゑ				旅																			
	07	かたらふも はかなのともや たひのそら				旅												人							
	08	くもをしるへの みねのはるけさ				旅			山					聳											
初裏	09	うきはたた とりをうらやむ <b>はな</b> なれや	春				木	鳥																	
	10	みをなさはやの あさゆふのはる	春														人			×					
	11	ふるさとも のこらすきゆる <b>ゆき</b> をみて	春								居	降													
	12	よにこそみちは あらまほしけれ																							
	13	なにをかは こけのたもとに うらみまし				述	×													衣					
	14	すめはやまかつ ひとつもたつぬな							×									人							
	15	なもしらぬ こくさのもとに あとしめて					◎																		
	16	あはれは <b>つき</b> に なほそそひゆく	秋	月											光								夜		
	17	あきのよも かたるまくらに あげやせむ	秋	枕	恋																	△	夜		
	18	おもひのつゆを かけしくやしき	秋		恋								降												
	19	たかならぬ あたのたのみを いのちにて			恋													人							
	20	さそふつてまつ わひひとそうき																人							
	21	すみはなれ いまはほとさへ くもぬちに												聳											
	22	いりにしやまよ なにかさひしき							山																
一表	23	わきてその いろやはみゆる まつのかせ		松			木																風		
	24	いつみをきけは たたあきのこゑ	夏							水														聞	
	25	ほたとふ そらによふかく はしめして	夏					虫			□												夜		
	26	ものおもふたまや ねむかたもなき			恋																		夜		
	27	まくらさへ しろとはしるな わかこころ		枕	恋													人					夜		
	28	なみたをたにも なくさめにせむ		涙	恋																				
	29	ふちころも なこりおほくも けふぬきて		衣		述	×													衣					
	30	いてむもかなし あきのやまてら	秋						山									積							
	31	しかのねを あとなるみねの ゆふまくれ	秋						獸	山													夕		聞
	32	のわきせしひの きりのあはれさ	秋										□	聳	□									風	
	33	しつかなる かねに <b>つき</b> まつ さとみえて	秋	月							居				光								夜		
	34	ゆきてころを みたさむもうし			恋																				
	35	われならて かよふやひとも しのふらむ			恋													人							
	36	ふるきみやこの いにしへのみち				述																			
一裏	37	さく <b>はな</b> も おもはさらめやはるのゆめ	春	夢			木																×		
	38	さくらといへは やまかせそふく	春				木	山															風		
	39	あさつゆも なほのとかにて かすむのに	春									降	聳								朝				
	40	うちなかむるも あちきなのよや																							
	41	ふくるまで みのうき <b>つき</b> を いみかねて	秋	月											光		人						夜		
	42	いまよりいとふ なかきよのやみ	秋																				夜		
	43	いさりひを みるもすさまし おきつふね	秋	船						水													夜		
	44	ゆふへのなみの ありがたいこゑ								水													夕		聞
	45	ほととぎす なのりそれとも たれわかむ	夏				□	鳥	□								人								
	46	かへらむたひを ひとよわするな				旅											人								
	47	ありぬやと こころみにすむ やまさとに							山		居														
	48	ならははしをれ あらしもそうき																						風	
	49	つれなしや のはしもかれの おもひくさ	冬		恋			草					降												
	50	いつかこころの まつもしられし		松	恋		□																		

「湯山三吟」去嫌一覧 (Ⅱ)

		季	七	恋	旅	述	植	動	山	水	居	降	聳	光	神	積	人	名	衣	時	夜	風	聞		
三 表	51	わか	の	うら	や	い	そ	か	く	れ	つ	つ	ま	よ	ふ	み	に								
	52	みち	く	る	し	ほ	や	ひ	と	し	た	ふ	ら	む											
	53	す	て	ら	る	る	か	た	わ	れ	を	ふ	ね	く	ち	や	ら	て							
	54	こ	の	し	た	も	み	ち	た	つ	ぬ	る	も	な	し										
	55	つ	ゆ	も	は	や	お	き	わ	ふ	る	に	は	の	あ	き	の	く	れ						
	56	む	し	の	ね	ほ	そ	し	し	も	を	ま	つ	こ	ろ										
	57	ね	ぬ	よ	は	の	こ	こ	ろ	も	し	ら	す	つき	す	み	て								
	58	あ	や	に	く	な	れ	や	お	も	ひ	た	え	は	や										
	59	た	の	む	こ	と	あ	れ	は	な	ほ	う	き	よ	の	な	か	に							
	60	お	い	て	や	ひ	と	は	み	を	や	す	く	せ	む										
	61	こ	え	し	と	の	の	り	も	く	る	し	き	み	ち	に	し	て							
	62	ゆ	き	ふ	む	こ	ま	の	あ	し	ひ	き	の	や	ま										
	63	そ	て	さ	え	て	よ	る	は	し	く	れ	の	あ	さ	と	て	に							
	64	う	ら	み	か	た	し	よ	ま	つ	か	せ	の	こ	ゑ										
三 裏	65	は	な	を	の	み	お	も	へ	は	か	す	む	つき	の	も	と								
	66	ふ	ち	さ	く	こ	ろ	の	た	そ	か	れ	の	そ	ら										
	67	は	る	そ	ゆ	く	こ	こ	ろ	も	え	や	は	と	め	さ	ら	む							
	68	み	や	ま	に	の	こ	る	う	く	ひ	す	の	こ	ゑ										
	69	う	ち	つ	け	の	あ	き	に	さ	ひ	し	く	き	り	た	ち	て							
	70	け	さ	や	み	に	し	む	あ	ま	の	か	は	か	せ										
	71	こ	ろ	も	う	つ	や	と	を	か	り	ふ	し	お	き	わ	か	れ							
	72	ゆ	め	は	あ	と	な	き	の	へ	の	つ	ゆ	け	さ										
	73	か	け	し	ろ	き	つき	を	ま	く	ら	の	む	ら	す	す	き								
	74	い	つ	し	か	ひ	と	に	な	れ	つ	つ	も	み	む										
	75	を	ち	こ	ち	に	な	り	て	あ	さ	ま	の	ゆ	ふ	け	ふ	り							
	76	き	ゆ	と	も	く	も	を	そ	れ	と	し	ら	め	や										
	77	は	か	な	し	や	に	し	を	こ	こ	ろ	の	し	は	の	い	ほ							
	78	み	の	ふ	り	ぬ	ま	は	な	に	お	も	ひ	け	む										
名 表	79	み	る	め	に	も	み	み	に	も	す	さ	ひ	と	ほ	さ	か	り							
	80	ふ	ゆ	の	は	や	し	に	み	つ	こ	ほ	る	こ	ゑ										
	81	ゆ	ふ	か	ら	す	ね	に	ゆ	く	や	ま	は	ゆ	き	は	れ	て							
	82	い	ら	か	の	う	へ	の	つき	の	さ	む	け	さ											
	83	た	れ	と	な	く	か	ね	に	お	と	し	て	ふ	く	る	よ	に							
	84	ふ	る	ひ	と	め	き	て	う	ち	そ	し	は	ふ	く										
	85	よ	も	き	ふ	や	と	ふ	も	た	よ	り	に	か	こ	つ	ら	む							
	86	こ	の	こ	ろ	し	け	さ	ま	さ	る	み	ち	し	は										
	87	あ	つ	き	ひ	は	か	け	よ	わ	る	つ	ゆ	の	あ	き	か	せ	に						
	88	こ	ろ	も	て	う	す	し	ひ	く	ら	し	の	こ	ゑ										
	89	い	ろ	か	は	る	や	ま	の	し	ら	く	も	う	ち	な	ひ	き							
	90	を	の	へ	の	ま	つ	も	こ	こ	ろ	み	せ	け	り										
	91	た	の	め	な	ほ	ち	き	り	し	ひ	と	を	く	さ	の	い	ほ							
	92	う	と	き	は	な	に	か	ゆ	か	し	け	も	あ	る										
名 裏	93	わ	り	な	し	や	な	こ	そ	の	せ	き	の	ま	へ	わ	た	り							
	94	た	れ	よ	ふ	こ	と	り	な	き	て	す	く	ら	む										
	95	お	も	ひ	た	つ	く	も	ち	に	か	す	む	あ	ま	つ	か	り							
	96	さ	こ	そ	は	は	な	を	あ	と	の	や	ま	こ	え										
	97	こ	こ	ろ	を	も	そ	め	に	し	も	の	を	よ	す	て	ひ	と							
	98	い	て	は	か	り	な	る	や	と	り	と	も	な	し										
	99	つ	ゆ	の	ま	を	う	き	ふ	る	さ	と	と	お	も	ふ	な	よ							
	100	ひ	と	む	ら	さ	め	に	つき	そ	い	さ	よ	ふ											

# Cutting Performance in Threading Turning and Grooving Turning of Ti-6Al-4V Alloy with a High-Pressure Coolant Supply

Tadahiro WADA

Proceedings of 2019 IEEE 10th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), pp. 507-512. (Novotel Brussels City Centre, Address : Rue de la Vierge Noire 32, 1000 BRUSSELS BELGIUM)

## INTRODUCTION

Titanium alloys have high specific strength (strength/density) and corrosion resistance. Due to dimensional accuracy, titanium alloys are machined using a metal removal process. Titanium alloys have low thermal conductivity and show high chemical reactivity with many cutting tool materials [1]. Therefore, in cutting titanium alloys, as the cutting temperature is higher, and strong adhesion at the interface between the cutting tool and the chip occurs, the tool wear becomes large. The machinability of titanium and its alloys is poor due to the inherent properties of the materials [2]. In cutting Ti-6Al-4V alloy, complex wear mechanisms such as adhesion and diffusion are caused at higher cutting speeds [3]. Therefore, in cutting Ti-6Al-4V alloy, a slower cutting speed is necessary than that in cutting carbon steel.

To improve productivity, a high-speed cutting method is desired. In high-speed cutting, because the cutting temperature increases greatly, the tool materials are required to have both excellent wear resistance and heat resistance. For cooling and reducing tool wear, a wet cutting method is effective.

Due to the increase of the cutting fluid flow rate by injecting fluid at high pressure into the cutting edge, the cutting temperature decreases and the flank wear decreases [4]. High-pressure coolant cutting, which supplies coolant to the cutting part at high pressure, is effective for lowering the cutting temperature and reducing the tool wear [5, 6]. Furthermore, by supplying high-pressure coolant, the chip breakage performance is also improved [7]. For this reason, high-pressure coolant cutting is used for cutting of difficult-to-cut materials such as titanium alloy [8-13] and Inconel [4].

However, in the threading turning and the grooving turning of Ti-6Al-4V alloy with a high-pressure coolant supply the effects of the coolant pressure on the cutting performance have not been reported.

In this study, in threading turning and grooving turning of Ti-6Al-4V alloy with a high-pressure coolant supply, in order to identify an effective PCD tool for the high-speed cutting of Ti-6Al-4V, the effects of the diamond content and the diamond particle size on the tool wear were experimentally investigated. As the Ti-6Al-4V alloy was threading turned and grooving turned with a high-pressure coolant supplied, the chip configurations and the tool wear were experimentally investigated.

## Conclusions

In this study, Ti-6Al-4V alloy was threading turned and grooving turned with a pressurized coolant supplied, and the chip configurations and the tool wear were experimentally investigated.

The following results were obtained:

### A. Cutting Performance in Threading Turning Titanium Alloy with a Pressurized Coolant Supply

- (1) The main tool failure of un-coated ISO K10 cemented carbide was flank wear with a pressurized coolant supply.
- (2) Comparing the conventional coolant supply method and the pressurized coolant supply method, the flank wear width of the pressurized coolant supply method was smaller than that of the conventional coolant supply method.
- (3) Comparing the coolant pressures in the case of the pressurized coolant supply method, the flank wear width decreased with the increasing of coolant pressure, and the flank wear width "VB" became significantly smaller.

### B. Cutting Performance in Grooving Turning Titanium Alloy with a Pressurized Coolant Supply

- (1) The high-pressure coolant supply method was effective for improving the chip breakage performance.
- (2) In the case of the conventional coolant supply cutting, the fracture of the cutting part was becoming bigger at a cutting distance of 106.2 m. However, with the high-pressure coolant supply cutting, although wear is observed slightly on both

sides of the flank face, no major fracture are seen.

## Acknowledgments

I am grateful to Mr. Yusuke Morigo, who is a researcher at TOKUPI Corporation (3-167 Otake Yao Osaka, 572-8530, JAPAN) and Mr. Ryo Sakurai, who is a student of the National Institute of Technology (Nara College), for their help in the execution of the turning experiment. I would like to thank TOKUPI Corporation for their support in the thread turning test, which enabled this work to be conducted. I would also like to express my gratitude to Tungaloy Corporation for supplying the threading insert, the external thread turning holder, the grooving insert and the external grooving turning holder

## References

- [1] A. Jawaida C.H. Che-Haron, A. Abdullah, Tool wear characteristics in turning of titanium alloy Ti-6246, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93 (1999), pp. 329-334.
- [2] E.O. Ezugwu, Z.M. Wang, A.R. Machado, Titanium alloys and their machinability- a review, *J. Materials Processing Technology*, 68(1997), pp. 262-274.
- [3] N. Corduan, T. Hirnbert, G. Poulachon, M. Dessob, M. Lambehn, J. Mgneau, B. Payoux, Wear Mechanisms of New Tool Materials for Ti6Al4V High Performance Machining, *CIRP Annals- Manufacturing Technology*, Vol. 52, Issue 1, 2003, pp. 73-76.
- [4] K. ITAKURA, M. KURODA, Y. DOI, H. TSUKAMOTO, Y. ARIURA, High Speed Cutting of Super Heat Resisting Alloy Inconel 718 -On the Finish Cutting with High Pressurized Cutting Fluid-, 66, pp. 1611-1615, 2000 (in Japanese).
- [5] Tadahiro Wada, Kazuki Okayama and Yusuke Morigo, Tool Wear of Sintered Cubic Boron Nitride Compact in Cutting Hardened Steel with High-Pressure Coolant Supplied, *High Performance and Optimum Design of Structures and Materials II*, Vol. 166(2017), pp. 191-200.
- [6] E. O. Ezugwu, J. Bonney, Effect of high-pressure coolant supply when machining nickel-base, Inconel 718, alloy with coated carbide tools, *Journal of Materials Process Technology*, 152-154, pp. 1045-1050, 2004.
- [7] E. O. Ezugwu, High speed machining of aero-engine alloys, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 26(1), pp. 1-11, 2004.
- [8] Y. Ayed, G. Germain, A. Ammar, B. Furet, Tool wear analysis and improvement of cutting conditions using the high-pressure water-jet assistance when machining the Ti17 titanium alloy, *Precision Engineering*, 42 (2015) pp. 294-301.
- [9] Z.G. Wang, Y.S. Wong, M. Rahman, High-speed milling of titanium alloys using binderless CBN tools, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 45, Issue 1, January(2005), pp. 105-114.
- [10] Z.G. Wang, M. Rahman, Y.S. Wong, Tool wear characteristics of binderless CBN tools used in high-speed milling of titanium alloys, *Wear*, Volume 258, Issues 5-6, February (2005), pp. 752-758.
- [11] E. O. Ezugwu, R. B. Da Silva, J. Bonney, Á. R. Machado, Evaluation of the performance of CBN tools when turning Ti-6Al-4V alloy with high pressure coolant supplies, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45-9, (2005) pp. 1009-1014.
- [12] E.O. Ezugwu, Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace super alloys, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45 (2005) pp. 1353-1367.
- [13] Rosemar B. da Silva, Alisson R. Machado, Emmanuel O. Ezugwu, John Bonney, Wisley F. Sales, Tool life and wear mechanisms in high speed machining of Ti-6Al-4V alloy with PCD tools under various coolant pressures, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 213, Issue 8, (2013), pp. 1459-1464.

# CUTTING PERFORMANCE IN GROOVING TURNING OF SUPER HEAT-RESISTANT ALLOY INCONEL 718 WITH A HIGH-PRESSURE COOLANT SUPPLY

Tadahiro WADA

International Journal of Mechanical and Production Engineering, ISSN(p): 2320-2092, ISSN(e): 2321-2071  
Volume- 7, Issue-11, Nov.-2019, <http://iraj.in>, pp. 42-46.

(Proceedings of ISER 220th International Conference, Bangkok, Thailand, 21st-22nd August 2019)

## INTRODUCTION

Hickel-based alloys such as Inconel 718 are difficult to cut due to their outstanding mechanical properties [1]. A major requirement of cutting tool materials used for machining nickel-based alloys is that they must possess adequate hot hardness to withstand elevated temperatures generated under high-speed conditions during machining. Most cutting tool materials lose their hardness at elevated temperatures resulting in weakening of the inter-particle bond strength and consequent acceleration of tool wear [2]. Therefore, in the cutting of a nickel based-alloy, due to the high cutting temperature and strong adhesion generated at the interface between the cutting tool and the chip, the wear of the tool becomes large. Thus, when cutting nickel-based alloys, a slower cutting rate is required than when cutting carbon steel.

High-speed cutting is desirable to improve productivity, however in high-speed cutting the rise in cutting temperature is significant. In particular, when cutting nickel-based alloys the cutting temperature rises rapidly, so the tool material must have both excellent wear resistance and heat resistance. Wet cutting is effective for cooling and cooling of tools.

High-pressure coolant cutting is effective for lowering the cutting temperature and reducing the tool wear [3-6]. By supplying high-pressure coolant into the cutting edge, the cutting temperature decreases and the flank wear decreases [7]. Furthermore, by supplying high-pressure coolant, the chip breakage performance is also improved [4-6]. Therefore, studies on high-pressure coolant cutting of difficult-to-cut materials such as titanium alloy [8-12] and Inconel [7, 13] has been carried out in addition to the above. However, in the grooving turning of nickel-based alloys with a high-pressure coolant supply the effects of the coolant pressure on the cutting performance have not been reported.

In this study, in grooving turning of Inconel 718 with a pressure coolant supply, the chip configurations and the tool wear were experimentally investigated.

## CONCLUSION

In this study, Inconel 718 was grooving turned with a pressurized coolant supplied, and the chip configurations and the tool wear were experimentally investigated.

The following results were obtained:

- (1) The pressure coolant supply method improved the chip breakage performance.
- (2) In the case of low-pressure coolant supply cutting, the mass per chip increased with increasing cutting speed. However, in the case of high-pressure coolant supply cutting, there was no difference in the mass per chip even if the cutting speed was increased.
- (3) It seemed that the bending of chips caused by high-pressure fluid has a large influence on chip breakage in high-pressure coolant cutting.
- (4) Comparing the cutting of the conventional coolant supply cutting with the cutting of the pressure coolant cutting, the tool wear with the pressure coolant supply was smaller than that with the conventional coolant supply.
- (5) Comparing the cutting of the low-pressure coolant supply with the cutting of the high-pressure coolant supply, the tool wear with the high-pressure coolant supply was smaller than that with the low-pressure coolant supply.

## ACKNOWLEDGMENT

I am grateful to Mr. Yusuke Morigo, who is a researcher at TOKUPI Corporation (3-167 Otake Yao Osaka, 572-8530, JAPAN) and Mr. Ryo Sakurai, who is a student of the National Institute of Technology (Nara College), for their help in the execution of the

turning experiment. I would like to thank TOKUPI Corporation for their support in the thread turning test, which enabled this work to be conducted. I would also like to express my gratitude to Tungaloy Corporation for supplying the grooving insert and the external grooving turning holder.

## REFERENCES

- [1] N. H. A. Halim, C. H. C. Haron, J. A. Ghani, M. F. Azhar, "Tool wear and chip morphology in high-speed milling of hardened Inconel 718 under dry and cryogenic CO<sub>2</sub> conditions," *Wear*, vol. 426-427, Part B, pp. 1683-1690, April 2019
- [2] E.O.Ezugwu, "Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace super alloys," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, Issues 12-13, pp. 1353-1367, October 2005
- [3] E. O. Ezugwu, J. Bonney, "Effect of high-pressure coolant supply when machining nickel-base, Inconel 718," alloy with coated carbide tools, *Journal of Materials Process Technology*, 152-154, pp. 1045-1050, 2004
- [4] Tadahiro Wada, Kazuki Okayama and Yusuke Morigo, "Tool Wear of Sintered Cubic Boron Nitride Compact in Cutting Hardened Steel with High-Pressure Coolant Supplied," *High Performance and Optimum Design of Structures and Materials II*, Vol. 166, pp. 191-200, 2017
- [5] E. O. Ezugwu, "High speed machining of aero-engine alloys," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 26(1), pp. 1-11, 2004.
- [6] Tadahiro Wada and Kazuki Okayama, "Tool wear of poly crystalline diamond in cutting Ti-6Al-4V alloy with high-pressure coolant supplied", *Proceedings of 2017 8th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE)*, July 2017, Prague, Czech Republic, pp. 50-55 (DOI: 10.1109/ICMAE.2017.8038616)
- [7] K. ITAKURA, M. KURODA, Y. DOI, H. TSUKAMOTO, Y. ARIURA, "High Speed Cutting of Super Heat Resisting Alloy Inconel 718 -On the Finish Cutting with High Pressurized Cutting Fluid-," vol. 66, pp. 1611-1615, 2000 (in Japanese)
- [8] Y. Ayed, G. Germain, A. Ammar, B. Furet, "Tool wear analysis and improvement of cutting conditions using the high-pressure water-jet assistance when machining the Ti17 titanium alloy," *Precision Engineering*, vol. 42, pp. 294-301, 2015
- [9] Z.G. Wang, Y.S. Wong, M. Rahman, "High-speed milling of titanium alloys using binderless CBN tools," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, Issue 1, pp. 105-114, January 2005
- [10] Z.G. Wang, M. Rahman, Y.S. Wong, "Tool wear characteristics of binderless CBN tools used in high-speed milling of titanium alloys," *Wear*, Vol. 258, Issues 5-6, pp. 752-758, February 2005
- [11] E. O. Ezugwu, R. B. Da Silva, J. Bonney, Á. R. Machado, "Evaluation of the performance of CBN tools when turning Ti-6Al-4V alloy with high pressure coolant supplies," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45-9, pp. 1009-1014, 2005
- [12] Rosemar B. da Silva, Álisson R. Machado, Emmanuel O. Ezugwu, John Bonney, Wisley F. Sales, "Tool life and wear mechanisms in high speed machining of Ti-6Al-4V alloy with PCD tools under various coolant pressures," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 213, Issue 8, pp. 1459-1464, 2013
- [13] Tadahiro WADA, Yusuke MORIGO, Hiroaki TANAKA, "Tool Wear of Sintered Cubic Boron Nitride Compact in Cutting High-Nickel Alloy with High-Pressure Coolant Supplied," *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, vol. 63, Issue 4, pp. 157-165, 2015 (in Japanese)

# Wear Mechanism of Multilayer AlCrWN/AlCrWSiN-coatings on Cemented Carbide Tools Prepared by Arc Ion Plating in Dry Cutting of Hardened Sintered Steel

Tadahiro WADA and Hiroyuki HANYU\*

MATEC Web of Conferences 303, 06003(2019), <https://doi.org/10.1051/mateconf/201930306003>,  
ICBMM 2019, pp. 110-115.

(Proceedings of 2019 3rd International Conference on Building Materials and Materials Engineering (ICBMM 2019), University of Lisbon, Portugal, September 25-27, 2019 (MATEC Web of Conferences Volume 303 (2019)) (ISSN: 2261-236X)).

## INTRODUCTION

Comparing the performances of the AlCrN coated tool and TiN coated tool, the AlCrN coated tool can increase the depth of cut by about 33% [1]. Furthermore due to the better heat resistance of the AlCrN coating film, the tool life of the end mill with the AlCrN coating is longer than that with the TiAlN coating [2-3]. However, our study results show that the critical scratch load of the AlCrN coating film, which is the value measured by the scratch test, is 77 N and the micro-hardness is 2760 HV0.25 N. Therefore, in order to improve both the critical scratch load and micro-hardness of the AlCrN coating film, a cathode material of the Al-Cr-W target with tungsten (W) added to the cathode material of the Al-Cr target was used [4]. The Al-Cr-W based coating film has both high hardness and excellent critical scratch load and can be used sufficiently as a coating film of WC-Co cemented carbide cutting tools [4]. Furthermore, the friction between the face of the cutting tool and the chip decreases when W is added [5-6].

The addition of Si to the TiN coating film converts the [111]-oriented columnar structure to a dense fine grain structure.

Thin films of Ti-Si-N have been deposited by physical vapor deposition to improve the wear resistance of TiN coatings [7]. Cutting experiments showed that the TiAlSiN coated end mill with a Si content of 4.78 atom% had the least flank wear and improved its milling distance by about 20% over the TiAlN coated end mill [8]. Furthermore, at a temperature of 700 °C or lower, the hardness of the AlCrWSiN film is higher than the hardness of AlCrN [9]. The addition of Si leads to the refinement of crystal grains and greatly influences the phase composition and mechanical properties due to its formation. Amorphous Si3N4 [10-11]. Many multilayer coating films have been developed to improve tool life [12-16].

The rate of wear of the AlCrWN/AlCrWSiN-coated tool, which has the multilayer coating system, was slower than that of the single layer AlCrWSiN coated tool in the cutting of hardened steel at a feed rate of 0.2 mm/rev [17]. In addition, the tool wear of the AlCrWN/AlCrWSiN-coated tool, which has the multilayer coating system, was investigated in the cutting of hardened sintered steel. [18]. Furthermore, the properties of the multilayer AlCrWN/AlCrWSiN-coating film were also clarified [18]. However, the wear mechanism of the multilayer AlCrWN/AlCrWSiN-coated tool has not been clarified in the cutting of hardened sintered steel.

In this study, to clarify the wear mechanism of the multilayer AlCrWN/AlCrWSiN-coated tool in the cutting of hardened sintered steel, the rate of wear in the cutting of hardened sintered steel using three types of coated tools was investigated. The Type I tool had a single layer (Al60, Cr25, W15)N coating film, the Type II tool had a single layer (Al53, Cr23, W14, Si10)N coating film and the Type III tool had a multilayer (Al60, Cr25, W15)N/(Al53, Cr23, W14, Si10) N-coating film. SEM observation and EDS mapping analysis of the abraded surface of the coating film were performed.

## Conclusion

In this study, SEM observation and EDS mapping analysis of the abraded surface of the coating film were performed in order to clarify the wear mechanism of the AlCrWN/AlCrWSiN-coating film in the cutting of hardened sintered steel. The Type I tool had a single layer (Al60, Cr25, W15)N coating film, the Type II tool had a single layer (Al53, Cr23, W14, Si10)N coating film and the Type III tool had a multilayer (Al60, Cr25, W15)N/(Al53, Cr23, W14, Si10) N-coating film.

The following results were obtained:

- (1) The wear rate of the Type III tool was the slowest.
- (2) The area of the worn surface on the rake face "S" and the contact length between the rake face and the chip "D" were measured. Comparing the three types of coated tools, both the "S" and the "D" of the Type I tool were the smallest, and those of the Type II tool were the largest.
- (3) The main wear mechanism of the Type II and the Type III tool was abrasive wear. However, the main wear mechanism of the Type I tool was both abrasive wear and adhesion wear.
- (4) The critical scratch load of the Type I tool, 81 N, was lower than that of the Type II or the Type III tool, over 130 N. Therefore, comparing the Type I and Type III tools, due to the wear mechanism of the Type I tool being both abrasive wear and adhesion wear, the wear rate of the Type I tool, which has the lower critical scratch load, was slower.

## Acknowledgment

This work was supported by JSPS (Japan Society for the Promotion of Science) KAKENHI Grant Number JP 17K06102 (Grant-in-Aid for Scientific Research (C)).

## References

- [1] Yueh-Jaw Lin, Ashutosh Agrawal, Yunmei Fang: *Wear*, 264, issues 3-4, 226-234(2008)
- [2] G.S. Fox-Rabinovich, B.D. Beake, J.L. Endrino, S.C. Veldhuis, R. Parkinson, L.S. Shuster, M. S. Migranov: *Surface & Coatings Technology*, 200, issues 20-21, 5738-5742(2006)
- [3] W. Kalss, A. Reiter, V. Derflinger, C. Gey, J.L. Endrino: *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 24, Issue 5, 399-404(2006)
- [4] Tadahiro Wada and Hiroyuki Hanyu: *Applied Mechanics and Materials*, 798, 377-383(2015)
- [5] K. Bobzin, N. Bagcivan, M. Ewering, R.H. Brugnara, S. Theiß: *Surface & Coatings Technology*, 205, 2887-2892(2011)
- [6] Wan-Yu Wu, Chia-Hao Wu, Bo-Hong Xiao, Ting-Xin Yang, Shi-Yi Lin, Ping-Hung Chen, Chi-Lung Chang: *Vacuum*, 87, 209-212(2013)
- [7] M. Diserens, J. Patscheider, F. Levy: *Surface & Coatings Technology*, 108-109, 241-246(1998)
- [8] Donghai Yu, Chengyong Wang, Xiaoling Cheng, Fenglin Zhang: *Thin Solid Films*, 517, 4950-4955(2009)
- [9] Yu-ping Feng, Li Zhang, Rong-xian Ke, Qing-lei Wan, ZheWanga, Zhi-hong Lu: *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 43, 241-249(2014)
- [10] Shihong Zhang, Lei Wang, Qimin Wang, Mingxi Li: *Surface & Coatings Technology*, 214, pp. 160-167(2013)
- [11] Lihui Zhu, Mingmei Hu, Wangyang Ni, Yixiong Liu: *Vacuum*, 86, 1795-1799(2012)
- [12] J.H. Hsieh, C. Liang, C.H. Yu, W. Wu: *Surface and Coatings Technology*, 108-109, 132-137(1998)
- [13] A.A. Vereschaka, S.N. Grigoriev, A.S. Vereschaka, A.Yu. Popov and A. D. Batako: *Procedia CIRP*, 14, 239-244(2014)
- [14] Tsao Chung-Chen, Hocheng Hong: *Journal of Materials Processing Technology*, 123, issue 1, 1-4(2002)
- [15] M. Nouari, A. Ginting: *Surface & Coatings Technology*, 200, 5663-5676(2006)
- [16] Q. Yang, R.McKellar: *Tribology International*, 83, 12-20(2015)
- [17] Tadahiro Wada and Hiroyuki Hanyu: *International Journal of Engineering and Technology*, 8, No. 6, 406-409(2016)
- [18] Tadahiro Wada: *Solid State Phenomena (Material and Manufacturing Technology VIII)*, 266, 69-75(2017)
- [19] Tadahiro Wada, Hiroyuki Hanyu: *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)*, 3, issue 2, 56-60(2015)

# Chip Breakability in Turning of 7075 Aluminium Alloy with a High-Pressure Coolant Supply

Tadahiro WADA, Takuro YAMAGUCHI and Yusuke MORIGO\*

Journal of Physics: Conference Series 1510 (2020) 012009, IOP Publishing, doi:10.1088/1742-6596/1510/1/012009, pp. 1-8.

(Proceedings of 2019 The 10th Asia Conference on Mechanical and Aerospace Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, December 26-28, 2019)

## INTRODUCTION

Because of its extremely high strength to weight ratio [1], 7075 aluminum alloy is used for highly stressed structural parts including aircraft fittings, gears and shafts and various other commercial aircraft, aerospace and transportation equipment [2]. The machinability of metals is estimated by the cutting force, tool life, surface finish and chip shape. Due to the strength and hardness of aluminum alloys, the cutting force and tool life are relatively unproblematic, and the chip breakability is the most important feature to ensure reliable operation in automated machining [3].

One improvement in chip cracking is the use of free-cutting alloys. Conventionally, Pb is added to aluminum alloys to improve the chip breakability. However, due to the negative impact on the environment, the addition of Pb has been banned in many countries. The addition of Si improves chip breaking performance [4]-[6], but when turning Si-added aluminum alloys with high speed steel tools, tool wear increases with the increase of Si contents [4]-[5], [7]-[8].

On the other hand, supplying coolant to the cutting area at high pressure improves chip breakability performance [9]-[11], and supplying high-pressure coolant to the cutting edge lowers the cutting temperature and reduces flank wear [12]. This method is also effective in reducing tool wear [9]-[11], [13]. Therefore, many studies on high-pressure coolant supply cutting of hard-to-cut materials such as hardened steel [14], titanium alloy [15]-[19], Inconel [12], [20], cemented carbide [21] have been conducted. However, there have been no reports on the effect of the coolant pressure on the chip breakability performance when aluminum alloys are turned with a high-pressure coolant supplied.

In this study, in turning of 7075 aluminum alloy with a high-pressure coolant supply, the chip configurations, the mass and thickness of chip were experimentally investigated.

## CONCLUSIONS

In this study, in turning of 7075 aluminum alloy with a high-pressure coolant supply, the chip configurations, the mass of chip and the thickness of chip were experimentally investigated.

The following results were obtained:

- (1) In the case of a cutting speed of 5.0 m/s, a feed rate from 0.05 mm/rev to 0.50 mm/rev and a depth of cut from 0.1 mm to 3.0 mm, chips were not broken at a feed rate of 0.15 mm/rev or less in the conventional coolant supply. In the high-pressure coolant supply, the combination area of feed rate and depth of cut that can be broken chip was wider than in the conventional coolant supply. In the high-pressure coolant supply at a coolant pressure of 7 MPa, there is a combination area of feed rate and depth of cut that can be not broken chip. However, chips were broken in all areas at a coolant pressure of 20 MPa.
- (2) In the case of both the high-pressure coolant supply, which has a coolant pressure of 7, 14 or 20 MPa, and the conventional coolant supply, the thickness of chip increased with the increase of the depth of cut. And, the thickness of chip did not change depending on the cutting method, namely the high-pressure coolant supply cutting method and the conventional coolant supply cutting method.
- (3) In the case of both the conventional and the high-pressure coolant supply, the thickness of chip decreased with the increase of the cutting speed.

## ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank TOKUPI Corporation for their support in the turning test, which enabled this work to be conducted. We would also like to express our gratitude to KYOCERA Corporation for supplying the indexable insert for turning and the external tool holder.

## REFERENCES

- [1] Dyi-Cheng Chen, Ci-Syong You, Fu-Yuan Gao, "Analysis and experiment of 7075 aluminum alloy tensile test", *Procedia Engineering*, 11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP 2014, 19-24 October 2014, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan, 81(2014), pp. 1252 - 1258.
- [2] H.R. Ezatpour, M. Torabi Parizi, S.A. Sajjadi, G.R. Ebrahimi, A. Chaichi, "Microstructure, mechanical analysis and optimal selection of 7075 aluminum alloy based composite reinforced with alumina nanoparticles", *Materials Chemistry and Physics*, 178 (2016), pp. 119 - 127.
- [3] Masatsugu Kamiya, Takao Yakou, "Role of second-phase particles in chip breakability in aluminum alloys", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48 (2008), pp. 688 - 697.

- [4] T. Wada, K. Hiro, J. Fujiwara, "Machinability of Aluminum Alloys", *International Journal for Manufacturing Science & Technology*, Vol. 5, No. 2, (2003/2004), pp. 39 - 45.
- [5] Tadahiro Wada, Junsuke Fujiwara, "Surface Modification of Aluminum Alloys", *Aluminum Alloys*, Vol.1, pp. 256-262.
- [6] Shinji Yoshihara, Masakazu Hirano and Takehiko Eto, "Effect of Si particles on chipping characteristics of Al-Mg-Si alloys during drilling operation", *Journal of Japan Institute of Light Metals*, Vol.51, No.4 (2001), pp.238-241 (in Japanese).
- [7] Tadahiro Wada, "CUTTING PERFORMANCE OF DIAMOND-LIKE CARBON COATED TOOL IN CUTTING OF ALUMINUM ALLOYS", *Materials Science Forum*, Vols. 638-642, (2010), pp. 368-373.
- [8] Tadahiro Wada, Jun Nakanishi, Yasuhiro Miki, Makoto Asano, Koji Iwamoto and Hiroyuki Hanyu, "Surface Modification of Aluminum Alloy using Plasma Based Ion Implantation and Deposition", *Advanced Materials Research*, Vols. 488-489, (2012), pp. 960-966.
- [9] Tadahiro Wada, Kazuki Okayama and Yusuke Morigo, "Tool Wear of Sintered Cubic Boron Nitride Compact in Cutting Hardened Steel with High-Pressure Coolant Supplied", *High Performance and Optimum Design of Structures and Materials II*, Vol. 166, pp. 191-200, 2017.
- [10] E. O. Ezugwu, "High speed machining of aero-engine alloys," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 26(1), pp. 1-11, 2004.
- [11] Tadahiro Wada and Kazuki Okayama, "Tool wear of polycrystalline diamond in cutting Ti-6Al-4V alloy with high-pressure coolant supplied", *Proceedings of 2017 8th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE)*, July 2017, Prague, Czech Republic, pp. 50-55 (DOI:10.1109/ICMAE.2017.8038616)
- [12] K. ITAKURA, M. KURODA, Y. DOI, H. TSUKAMOTO, Y. ARIURA, "High Speed Cutting of Super Heat Resisting Alloy Inconel 718 -On the Finish Cutting with High Pressurized Cutting Fluid-," vol. 66, pp. 1611-1615, 2000 (in Japanese)
- [13] E. O. Ezugwu, J. Bonney, "Effect of high-pressure coolant supply when machining nickel-base, Inconel 718," alloy with coated carbide tools, *Journal of Materials Process Technology*, 152-154, pp. 1045-1050, 2004.
- [14] T. Wada, K. Okayama & Y. Morigo, "Tool wear of sintered cubic boron nitride compact in cutting hardened steel with high-pressure coolant supplied", *High Performance and Optimum Design of Structures and Materials II (WIT Transactions on The Built Environment Vol. 166)*, (2016), pp. 191-200.
- [15] Y. Ayed, G. Germain, A. Ammar, B. Furet, "Tool wear analysis and improvement of cutting conditions using the high-pressure water-jet assistance when machining the Ti17 titanium alloy," *Precision Engineering*, vol. 42, pp. 294-301, 2015.
- [16] Z.G. Wang, Y.S. Wong, M. Rahman, "High-speed milling of titanium alloys using binderless CBN tools," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, Issue 1, pp. 105-114, January 2005.
- [17] Z.G. Wang, M. Rahman, Y.S. Wong, "Tool wear characteristics of binderless CBN tools used in high-speed milling of titanium alloys," *Wear*, Vol. 258, Issues 5-6, pp. 752-758, February 2005.
- [18] E. O. Ezugwu, R. B. Da Silva, J. Bonney, Á. R. Machado, "Evaluation of the performance of CBN tools when turning Ti-6Al-4V alloy with high pressure coolant supplies," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45-9, pp. 1009-1014, 2005.
- [19] Rosemar B. da Silva, Álisson R. Machado, Emmanuel O. Ezugwu, John Bonney, Wisley F. Sales, "Tool life and wear mechanisms in high speed machining of Ti-6Al-4V alloy with PCD tools under various coolant pressures," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 213, Issue 8, pp. 1459-1464, 2013.
- [20] Tadahiro WADA, Yusuke MORIGO, Hiroaki TANAKA, "Tool Wear of Sintered Cubic Boron Nitride Compact in Cutting High-Nickel Alloy with High-Pressure Coolant Supplied", *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, vol. 63, Issue 4, pp. 157-165, 2015 (in Japanese)
- [21] TADAHIRO WADA, "TOOL WEAR OF POLYCRYSTALLINE DIAMOND IN CUTTING WC-CO CEMENTED CARBIDE WITH HIGH-PRESSURE COOLANT SUPPLIED", *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, Vol. 7, Issue-5, (2019), pp. 23-26.
- [22] Tadahiro Wada, "CUTTING PERFORMANCE IN GROOVING TURNING OF SUPER HEAT-RESISTANT ALLOY INCONEL 718 WITH A HIGH-PRESSURE COOLANT SUPPLY", *Proceedings of ISER 220th International Conference*, Bangkok, Thailand, 21st- 22nd August, 2019, pp. 82-86.

\* TOKUPI Corporation

# Tool Wear of (Al,Cr,W)/(Al,Cr,W,Si)-Based-Coated Cemented Carbide Tools in Cutting of Hardened Steel

Tadahiro WADA, Akiyoshi NITTA and Junsuke FUJIWARA

International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing, Vol. 8, No. 3, June 2020, pp. 64-68.  
(Proceedings of 2020 4th International Conference on Green Energy and Applications, March 7-9, 2020, Singapore.)

## INTRODUCTION

The hardened steel AISI D2 has high hardness, strength and wear resistance. In cutting hardened steel AISI D2, the tool wear increases. Polycrystalline Cubic Boron Nitride (PCBN) is generally used as the cutting tool material in cutting hardened steel. Linhu Tang et al. investigated the wear performance and mechanisms of the PCBN tool in dry hard turning of AISI D2 hardened steel at various hardness levels ( $40\text{--}60 \pm 1$  HRC) [1]. 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 cutting tool materials. TiN, Ti(C,N) and (Ti,Al)N are generally used for the coating film [2].

Cr-Al-N is expected to play a very important role in the future of Surface Engineering, manufacturing industry and in preventing wear of critical components in a wide range of applications [3]. When investigating the potentials of newly developed (Cr,Al)N coatings compared to uncoated tools, Cr<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>N coatings with different chromium to aluminum contents were deposited onto indexed carbide inserts. In order to find improved coatings for dry machining operations both tribological and wear tests were performed [4].

The machining performance of AlCrN and AlTiN coated cemented carbide inserts were investigated during end milling of MDN 250 maraging steel. As a result, the AlCrN coating had better wear resistance and machining performance compared to the AlTiN coating [5]. The performance of mono-layered AlCrN and multi-layered AlTiN/PVD coatings on mixed alumina inserts were investigated in the turning of hardened AISI 52100 steel. As a result, the AlCrN coating exhibited superior machining behavior at higher cutting speeds indicating the suitability of the coating at elevated machining speeds [6]. Tadahiro Wada et al. reported that an (Al,Cr)N coated cemented carbide is an effective tool material for cutting sintered steel [7] and hardened sintered steel [8].

The incorporation of Si [9], Y [9], W [10], Fe [11], Zr [12] or Ti [13] into (Cr, Al)N was reported. In cutting hardened steel [14] or sintered steel [15], the wear resistance of (Al, Cr, W)N coated tools with W added to (Al, Cr)N coated tools was improved. The wear resistance of (Al, Cr, W)(C,N) coated tools with C added to (Al,Cr,W)N coated tools was improved [14][17]. Furthermore, the wear resistance of (Al, Cr, W,Si)N coated tools with Si added to (Al, Cr,W)N coated tools was improved [18].

On the other hand, gradient and multilayered coatings composed of nitride layers show superior mechanical strength, such as hardness and wear resistance, as compared to mono-layered coatings due to their specific interfaces [19]. For this reason, many studies on multilayer coatings have been conducted [19][24].

In addition, many studies dealing with multi-layer (Al,Cr,W)/(Al,Cr,W,Si) coating films handled in this study have been reported [25]–[28]. As a result of comprehensive judgment of the study results of Tadahiro Wada et al. the following two points were clarified. (1) The wear resistance of PVD-coated tools was improved by adding W and Si to (Al, Cr) targets. (2) Multi-layer coating films have better wear resistance than single-layer coating film. However, the effect of components (Al, Cr, W, Si) on tool wear have not been clarified.

In this study, two types of aluminum/chromium/tungsten/silicon target cathode materials with varying constituents were used to improve the wear resistance of coated cutting tools in cutting hardened steel. For comparison, a cathode material of one type of aluminum/chromium/tungsten target was also used. In addition, multi-layer coating materials were used, including combinations of aluminum/chromium/tungsten/silicon based coating films and aluminum/chromium/tungsten based coating films. Using these three types of targets, the hardened steel was cut with a cutting tool in which cemented carbide K10 substrate metal was PVD coated and the tool wear was examined.

## Conclusions

In this study, a carbonitride coating film was deposited on a cemented carbide ISO K10 using three different Al-Cr-W-Si targets. The coating film structure consisted of mono-layer film and multi-layer films. The hardened steel ASTM D2 was cut with five types of coated cemented carbide tools. The tool wear of the coated tools was experimentally investigated.

The following results were obtained:

- (1) Comparing the wear progress of the (Al53,Cr23,W14,Si10)(C,N)- and (Al58,Cr25,W7,Si10)(C,N)-coated tool, the wear progress of the (Al58,Cr25,W7,Si10)(C,N)-coated tool is slightly slower than that of the (Al53,Cr23,W14,Si10)(C,N)-coated tool.
- (2) Comparing the wear progress of the (Al60,Cr25,W15)(C,N)/(Al53,Cr23,W14,Si10)(C,N)- and the (Al53,Cr23,W14,Si10)(C,N)/(Al58,Cr25,W7,Si10)(C,N)-coated tool, the wear progress of the (Al53,Cr23,W14,Si10)(C,N)/(Al58,Cr25,W7,Si10)(C,N)-coated tool is slightly slower than that of the (Al60,Cr25,W15)(C,N)/(Al53,Cr23,W14,Si10)(C,N)-coated tool.

## Acknowledgment

This work was supported by JSPS (Japan Society for the Promotion of Science) KAKENHI Grant Number JP 17k06102 (Grant-in-Aid for Scientific Research (C)).

## References

- [1] L. H. Tang, Y. J. Sun, B. D. Li, J. C. Shen, and G. L. Meng, "Wear performance and mechanisms of PCBN tool in dry hard turning of AISI D2 hardened steel," *Tribology International*, vol. 136, pp. 228–236, 2019.
- [2] T. Wada and H. Hanyu, "Tool wear of aluminum/chromium/tungsten-based-coated cemented carbide in cutting hardened sintered steel," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 772, pp. 72–76, 2015.
- [3] E. Spain, J.C. Avelar-Batista, M. Letch, J. Housden, and B. Lerga, "Characterisation and applications of Cr-Al-N coatings," *Surface & Coatings Technology*, vol. 200, pp. 1507–1513, 2005.

- [4] H. Scheerer, H. Hoche, E. Broszeit, B. Schramm, E. Abele, and C. Berger, "Effects of the chromium to aluminum content on the tribology in dry machining using (Cr,Al)N coated tools," *Surface & Coatings Technology*, vol. 200, pp. 203–207, 2005.
- [5] V. Varghese, K. Akhil, M. R. Ramesh, and D. Chakradhar, "Investigation on the performance of AlCrN and AlTiN coated cemented carbide inserts during end milling of maraging steel under dry, wet and cryogenic environments," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 43, pp. 136–144, 2019.
- [6] C. S. Kumar and S. K. Patel, "Effect of chip sliding velocity and temperature on the wear behaviour of PVD AlCrN and AlTiN coated mixed alumina cutting tools during turning of hardened steel," *Surface & Coatings Technology*, vol. 334, pp. 509–525, 2018.
- [7] T. Wada, K. Iwamoto, H. Hanyu, and K. 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, pp. 459–462, 2011.
- [8] T. Wada, M. Ozaki, H. Hanyu, and K. Kawase, "Tool wear of aluminum-chromium based coated cemented carbide in cutting hardened sintered steel," *Journal of Engineering and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 223–226, 2014.
- [9] H. Hasegawa, K. Ohashi, S. Tsukamoto, T. Sato, and T. Suzuki, "Characterization of quaternary (Cr,Al)N-based films synthesized by the cathodic arc method," *Surface & Coatings Technology*, vol. 202, pp. 786–789, 2007.
- [10] T. Wada, "Tool wear of aluminum/chromium/tungsten-based-coated cemented carbide in cutting alloy steel," *International Journal of Advanced Science Engineering and Technology*, vol. 6, iss. 4, pp. 79–82, 2018.
- [11] M. Mühlbacher, R. Franz, J. Paulitsch, H. Rudiger, P. Polcik, P. H. Mayrhofer, and C. Mitterer, "Influence of Fe impurities on the tribological properties of evaporated AlCrN coatings," *Surface & Coatings Technology*, vol. 215, pp. 96–103, 2013.
- [12] W. Z. Lia, Q. Z. Chen, T. Polcar, R. Serra, and A. Cavaleiro, "Influence of Zr alloying on the mechanical properties, thermal stability and oxidation resistance of Cr-Al-N coatings," *Applied Surface Science*, vol. 317, pp. 269–277, 2014.
- [13] R. Forsén, M. P. Johansson, M. Odén, and N. Ghafoor, "Effects of Ti alloying of AlCrN coatings on thermal stability and oxidation resistance," *Thin Solid Films*, vol. 534, pp. 394–402, 2016.
- [14] T. Wada and H. Hanyu, "Tool wear of aluminum/chromium/tungsten-based-coated cemented carbide in cutting hardened steel," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 798, pp. 377–383, 2015.
- [15] T. Wada and H. Hanyu, "Tool wear of aluminum/chromium/tungsten-based-coated cemented carbide tools in cutting sintered steel," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering, vol. 9, no. 8, pp. 826–829, 2015.
- [16] T. Wada and H. Hanyu, "Tool wear of aluminum/chromium/tungsten-based-coated cemented carbide in cutting hardened steel," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 772, pp. 72–76, 2015.
- [17] T. Wada and H. Hanyu, "Wear mechanism of aluminum/tungsten-based-coated cemented carbide tools in dry cutting of hardened sintered steel," *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering*, vol. 3, issue 2, pp. 56–60, 2015.
- [18] T. Wada and H. Hanyu, "Tool wear of aluminum/chromium/tungsten/silicon-based-coated cemented carbide tools in cutting of hardened steel," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 406–409, 2016.
- [19] L. Wang, X. Nie, J. Housden, E. Spain, and F.-X. Fu, "High temperature oxidation and cutting performance of AlCrN, TiVN and multilayered AlCrN/TiVN hard coatings," *Surface & Coatings Technology*, vol. 332, pp. 494–503, 2017.
- [20] L. Wang, X. Nie, J. Housden, E. Spain, J. C. Jiang, E. I. Meletis, A. Leyland, and A. Matthews, "Material transfer phenomena and failure mechanisms of a nanostructured Cr-Al-N coating in laboratory wear tests and an industrial punch tool application," *Surface & Coatings Technology*, vol. 203, pp. 816–821, 2008.
- [21] R. Raab, C. M. Koller, S. Kolozsvári, J. Ramm, and P. H. Mayrhofer, "Interfaces in arc evaporated Al-Cr-N/Al-Cr-O multilayers and their impact on hardness," *Surface & Coatings Technology*, vol. 324, pp. 236–242, 2017.
- [22] R. Raab, C.M. Koller, S. Kolozsvári, J. Ramm, and P. H. Mayrhofer, "Thermal stability of arc evaporated Al-Cr-O and Al-Cr-W/Al-Cr-N multilayer coatings," *Surface & Coatings Technology*, vol. 352, 2018, pp. 213–221.
- [23] Q. Y. Li, S. J. Dong, Q. Cao, W. P. Ye, D. Q. Gong, and X. D. Cheng, "Thermal stability of multi-layered AlCrN/Cr/AlCrN coatings at elevated temperatures for low thermal emissivity applications," *Applied Surface Science*, vol. 498, p. 143886, 2019.
- [24] A. P. Rubshtein, K. Gao, A. B. Vladimirov, S. A. Plotnikov, B. Zhang, and J. Zhang, "Structure, wear and corrosion behaviour of Cr-Al-Cr and multilayer [Cr-Al-Cr-a-Cr] coatings fabricated by physical vapour deposition and plasma-assisted chemical vapour deposition techniques," *Surface & Coatings Technology*, vol. 377, p. 124912, 2019.
- [25] T. Wada and H. Hanyu, "Tool wear of aluminum/chromium/tungsten/silicon-based-coated end mill cutters in milling hardened steel," *Solid State Phenomena*, vol. 263, pp. 85–89, 2017.
- [26] T. Wada, "Tool wear of multi-layer AlCrW/N/AlCrW/SiN-coated cemented carbide in cutting hardened sintered steel," *Solid State Phenomena*, vol. 266, pp. 69–75, 2017.
- [27] T. Wada and H. Hanyu, "Wear mechanism of multi-layer AlCrW/N/AlCrW/SiN coatings on cemented carbide tool prepared by arc ion plating in dry cutting of sintered steel," in *Proc. ICBMM 2018*, 2019, vol. 278, pp. 1–5.
- [28] T. Wada and H. Hanyu, "Wear mechanism of multilayer AlCrW/N/AlCrW/SiN coatings on cemented carbide tools prepared by Arc ion plating in dry cutting of hardened sintered steel," in *Proc. ICBMM 2019*, 2019, vol. 303, pp. 1–6.

## 「論理力を試そう！」テストの実施・分析 ——本校生の読解力を見る——

鍵本 有理

The Results of Test “Let`s test your Logical force !”  
— A Survey of our Students' Reading Comprehension Skills —

Yuri KAGIMOTO

最近、学生・生徒の「読解力」に注目が集まっている。新井紀子著「AI vs. 教科書が読めない子どもたち」の中で、今の学生・生徒の「基礎的読解力」が「危機的な状況」にある、と取り上げられ、話題になった。また、2018年の国際学習到達度調査(PISA)読解力テストで、日本の順位が低下したことなども議論されている。そこで、本校学生の読解力について、新井の使用した問題の代表的なものを使い、学生に解答させたところ、熟語などを「飛ばして読む」ことが原因で読み誤る可能性のあることがわかった。また、PISAの読解力テストについて本校生の解答結果を見ると、同じく「飛ばし読み」をしている可能性が示唆されていた。読解力養成のためには、日頃から単語ではなく「文」を書かせ、ゆっくりでもいいので正確に意味を読ませるような指導・工夫が大切である。

### 1. はじめに——本テスト実施の背景——

2018年2月に出版された新井紀子「AI vs. 教科書が読めない子どもたち」(東洋経済新報社)は、大きな話題となった。もともとはAI(人工知能)開発の一環として「ロボットは東大に入れるか」、愛称「東ロボ君」プロジェクトを進める中で、AIは「国語」「英語」の正答率が低いこと、その理由として、文章読解が苦手である、不自然な文章になってしまうことなどを述べたものである。しかし、AIだけでなく最近の学生・生徒も実は文章が読めていないことを指摘し、注目を集めた。例えば、以下の問題、

仏教は東南アジア、東アジアに、キリスト教はヨーロッパ、南北アメリカ、オセアニアに、イスラム教は北アフリカ、西アジア、中央アジア、東南アジアに主に広がっている。

この文脈において、以下の文中の空欄にあてはまる最

も適当なものを選択肢のうちから1つ選びなさい。

オセアニアに広がっているのは( )である。  
(選択肢) ①ヒンドゥー教 ②キリスト教  
③イスラム教 ④仏教

正答率は、中学生 62%、高校生 72%、言い換えれば中学生の 38%、高校生の 28%が読めていない、ということである。

このような読解力を測る「リーディングスキルテスト(RST)」は現在有償版が提供されているが、それ以前からすでに国語科関係の研修<sup>(注1)</sup>などでも取り上げられることが多く、昨年度、代表的な問題について筆者の授業(1年生の国語I)で試みに学生に解答させた。その後、本校の教員も学生の読解力について関心を持っているようであったので、その結果をまとめ、報告することとした。

### 2. 2019年度1年生の読解力テスト

まず、昨年2019年度、後期の初めに1年生を対象として、以下の問題を解かせてみた。

**問題1**  
「AならばBである」という命題が常に正しい場合、「BならばAである」ということが常に成り立つかどうか、答えなさい。また、理由も簡単に述べなさい。

**問題2**  
偶数と奇数を足すと、答えはどうなるでしょうか。次の選択肢のうち正しいものに○を記入し、その理由を説明してください。

(a) いつも必ず偶数になる。  
(b) いつも必ず奇数になる。  
(c) 奇数になることも偶数になることもある。

**問題3** 次の文を読みなさい。  
仏教は東南アジア、東アジアに、キリスト教はヨーロッパ、南北アメリカ、オセアニアに、イスラム教は北アフリカ、西アジア、中央アジア、東南アジアに主に広がっている。

この文脈において、以下の文中の空欄にあてはまる最も適当なものを選択肢のうちから1つ選びなさい。

オセアニアに広がっているのは( )である。  
①ヒンドゥー教 ②キリスト教 ③イスラム教 ④仏教

**問題4** 次の文を読みなさい。  
幕府は、1639年、ポルトガル人を追放し、大名には沿岸の警備を命じた。

上の文が表す内容と以下の文が表す内容は同じか。「同じである」「異なる」のうちから答えなさい。

1639年、ポルトガル人は追放され、幕府は大名から沿岸の警備を命じられた。

問題1は、研修資料<sup>(注2)</sup>から作成したものであるが、正解は当然「成り立たない」である。理由としては、「例えば、『4ならば2で割り切れる』と言えるが、逆に『2で割り切れる数は常に4とは限らない』という例が思い浮かべばよい。このような数学の命題(逆・対偶など)について、1年生はまだ学習し

ていなかったため、学生の実力とみることができる。

結果は、まず「成り立つ」と答えた学生が各クラス5~9名、無回答の者がいるクラスに集中して5名いた。学年全体では選択肢の段階で203名中38名が誤答したことになる。

また、解答にかかわらず理由(例を挙げるなど)を全く書いていない、あるいはそれに近い者が多いクラスでは11名、学年全体では32名見られた。

表1 2019年度1年 問題1の解答結果

成り立つ	成り立たない (正解)	無回答	記述が白紙か それに近い
38名 (18.7%)	160名 (78.8%)	5名 (2.5%)	32名 (15.8%)

問2は、新井の「大学生数学基本調査」の問題の一つで、「理由説明」をねらいとした出題であるが、全国大学生の正答率は34%、理系に限っても46.4%であったという(新井(2018) p176)。本校生の場合、1年生であるので、最初に実施した1クラスではそのまま出題したが、ほかの4クラスでは、図1のような解答用紙を使い、「説明の際、数学と同様にmやn、数字などを使ってよい。」と数学の知識を使ってよいことをヒントとして与えておいた。



図1 解答用紙(一部省略)

本来であれば、記述を詳細に分析すべきであるが、今回は教員一人での採点のため、記述の有無を中心に簡単に傾向を見る。

表2 2019年度1年 問題2の解答結果

(a) 必ず偶数 になる	(b) 必ず奇数 になる	(c) 奇数・偶 数 両方	記述が白紙か それに近い
0名 (0.0%)	199名 (78.8%)	4名 (2.0%)	13名 (15.8%)

まず、選択肢で正解(b)「いつも必ず奇数になる」を選んだ者が大半で、(a)を選んだ者はいなかったが、(c)「奇数になることも偶数になることもある」を選んだ学生が学年全体で4名いた(うち1名は説明はできていたのでケアレスミスの可能性もある。その他3名はあるクラスに集中)。

肝心の理由説明については、ヒントを与えておいたからか、概ね「偶数を $2m$ 、奇数を $2n+1$ とすると、 $2(m+n)+1$ ……」というような記述が多い。全員が何らかの解答を書いていたクラスが2クラスである。一方(b)(c)の解答にかかわらず、理由を書いていない者は2クラスで5~6名、1クラスで1名、計12名が白紙、また1名がほとんど白紙の状態であった。また、解答の中には「 $2n+n=3n$  よって奇数となる」と、説明になっていない記述なども見られた。

問3、問4については、新井(2018)に記載のある表の形式に合わせ、本校生のデータを追記し、比較できるようにした(問題により表の形式が異なるのはそのためである)。

問3は最初に紹介した、構文解析「係り受け」の問題で、新聞などにもよく取り上げられたものである。ほとんどの学生が正解②(キリスト教)を選んでしたが、表3の通り、③(イスラム教)を選んだ者が3名、④(仏教)を選んだ者が6名で、1クラスのみ全員正解であった。全国調査の結果と同様、誤答では④が多い。

表3 2019年度1年 問3の解答割合

	①	②正解	③	④
本校1年 (203名)	0.4% (1名)	95.0% (193名)	1.5% (3名)	3.0% (6名)
高校1年 (745名)	2%	73%	5%	20%
中学3年 (203名)	7%	70%	5%	17%

問4は「同義文判定」の問題で、203名中3名のみ誤答、全国平均よりはかなり高い正答率であった。

表4 2019年度1年 問4の解答結果(正答率)

本校1年 (203名)	中3 (286名)	高1 (627名)	高2 (360名)	高3 (152名)
98.5%	55%	71%	71%	76%

### 3. 2020年度 2年生を対象とした読解力テスト

#### 3.1 問題内容

2章は昨年度、試みとして行ったテストの結果であるが、ほかの教員も関心を持っていることがわかり、今年(2020年度)は、さらにはほかの問題を使い、新井(2018)と比較できる形で、「論理力を試そう！」と題していくつかの代表的な問題を解かせてみた(問題原文は問1~3も含め全て縦書)。

#### 問1

次の報告から確実に正しいと言えることには○を、そうでないものには×を、解答用紙の空欄に記入してください。

公園に子どもたちが集まっています。男の子も女の子もいます。よく観察すると、帽子をかぶっていない子どもは、みんな女の子です。そして、スニーカーを履いている男の子は一人もいません。

- (1) 男の子はみんな帽子をかぶっている。
- (2) 帽子をかぶっている女の子はいない。
- (3) 帽子をかぶっていて、しかもスニーカーを履いている子どもは、一人もいない。

#### 問2

次の文を読みなさい。

Alex は男性にも女性にも使われる名前であり、女性の名 Alexandra の愛称であるが、男性の名 Alexander の愛称でもある。

この文脈において、以下の文中の空欄に当てはまる最も適当なものを選択肢のうちから1つ選びなさい。

Alexandra の愛称は( )である。

- ①Alex ②Alexander ③男性 ④女性

#### 問3

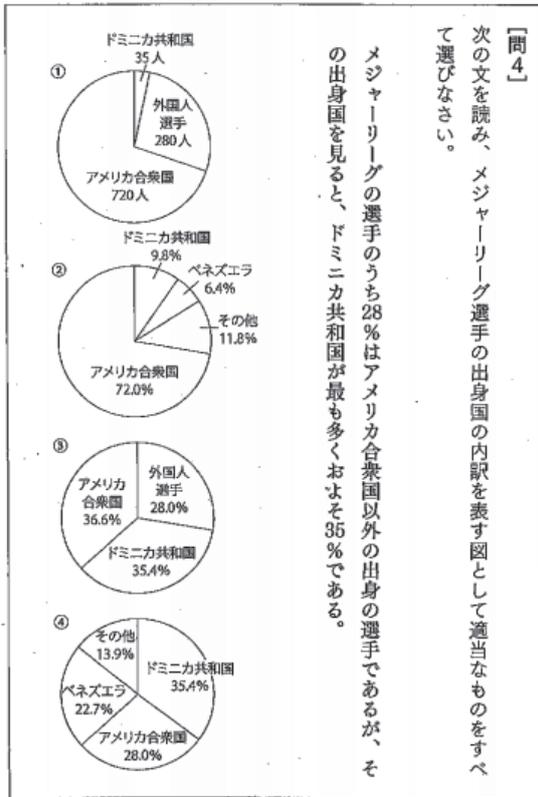
次の文を読みなさい。

アミラーゼという酵素はグルコースがつながってできたデンプンを分解するが、同じグルコースからできていても、形が違うセルロースは分解できない。

この文脈において、以下の文中の空欄に当てはまる最も適当なものを選択肢のうちから1つ選びなさい。

セルロースは( )と形が違う。

- ①デンプン ②アミラーゼ ③グルコース ④酵素



3.2 本校生の正答率と結果分析

以下、設問毎に正答率と分析結果を述べる。

問1は、2019年度の間1の具体的な例である。正解は、「帽子をかぶっていない子どもは、みんな女の子です」という文から、「男の子は帽子をかぶっている」ことはわかります。(中略)しかし、「女の子は誰も帽子をかぶっていない」とは言っていません。(新井(2018) p183)と説明されているように、「帽子をかぶっている女の子がいる可能性」に気づけば解ける問題である。正解は(1)のみが○、(2)(3)は×である。

結果は、2年生210名中、正解は114名、誤答96名で、正答率は54.3%であった。

表5 2020年度 問1の正答率

本校2年 (210名)	本校3年 (80名)	全国 大学生	国立 Sクラス	私大 Sクラス
54.3%	60.0%	64.5%	85%	66.8%

新井の大学生を対象とした調査<sup>(注3)</sup>では、この問題の正答率は64.5%でした。入試で問われ

るスキルは何一つ問うていないのに、国立Sクラスでは85%が正答した一方、私大B、Cクラスでは正答率が5割を切りました。(中略)どこの大学に入学できるかは、学習量でも知識でも運でもない、論理的な読解と推論の力なのではないか(同書 p183)

と述べられている。

本校生の正答率は残念ながら新井の調査を下回る結果となったが、比較のため調査した3年生の2クラス(機械工学科(M科)・電気工学科(E科))では、80名中正解48名、誤答32名、正答率60.0%に上がっているのは注目すべきである。本校のカリキュラムでは、1年生後期の数学で「命題とその逆・裏・対偶」を学ぶので、2年生の方が記憶に新しいはずである。論理的思考力は、教科として勉強することではなく、他の精神的発達の要素が大きいことを示唆していると思われる。いずれにせよ、学年が上がるにつれ正答率が高く、教科を越えた学習による効果が期待できる。

問2の結果は以下の表の通りである(新井の調査結果(同書p201)表3-3と比較できる形で示した)。

表6 2020年度 問2の解答割合

	全国 中学生	本校 2年	本校 3年	全国 高2	全国 高3
①	38%	90.9% (191名)	93.7% (75名)	68%	57%
②	11%	0.9% (2名)	0.0% (0名)	3%	8%
③	12%	0.0% (0名)	2.5% (2名)	6%	6%
④	39%	8.1% (17名)	3.7% (3名)	23%	29%

この問題は「係り受け」の問題であり、当然正解は①のAlexである。

本校生は非常に高い正答率であるが、全国の結果と同様、④を選んだ学生が多いことが注目される。特に2年の1クラスに10名と集中してしていた(当該クラスの誤答者は全てこの④を選んでいる)。本校の特色「工学系の学生」という要素は影響しないことが伺える。

なお、中学生の正答率が低いことについては、

おそらく「愛称」という言葉を知らないからです。そして、知らない単語が出てくると、それを飛ばして読むという読みの習性があるためです。「Alexandraは女性である。」ならば、文として意味が通ります。

(同書 p202)

との言及がある。本校の誤答者(すなわち「Alexandra の愛称は女性である。」と答えてしまった学生)に対する今後の指導の一助となる指摘である。

問 3 も係り受けの問題であるが、新井が「これまで作問した中で難易度がとても高かった問題」として紹介しているものである。結果の具体的なデータは示されていないが、

某新聞社の論説委員から経産省の官僚までなぜかグルコースを選ぶので驚きましたが、正解は①のデンプンです。(同書 p204)

と述べられている。本校生の誤答の場合は、2 年の 1 クラスを除き③のグルコースではなく②のアミラーゼを選ぶ者が多かった。

表 7 2020 年度 問 2 の解答割合

	①正解	②	③	④
2 年 (210 名)	73.3% (154 名)	16.7% (35 名)	10.0% (21 名)	0.0% (0 名)
3 年 (80 名)	65.0% (52 名)	22.5% (18 名)	10.0% (8 名)	2.5% (2 名)

これは、理由として、

(問題文) アミラーゼという酵素はグルコースがつながってできたデンプンを分解するが、同じグルコースからできていても、形が違うセルロースは分解できない。の文頭「アミラーゼという酵素は」と、文末「形が違うセルロースは分解できない」を読み取り、その間の語句を「飛ばして読む」、ということが原因ではないか。

先に「グルコースを選ぶ者が多い」という旨を引用したが、それは「論説委員・官僚」を話題にしており、そのような職種の人には「飛ばして読む」可能性は低く、真ん中の「同じグルコースからできていても」に焦点を当てて読んでしまったことが理由の一つとして考えられる。逆に学生の場合は、問 2 と同様「飛ばして読む」ことにまず注意する必要がある。昨年度の間 3 で「④仏教」の誤答を選んだ者が若干目立ったのも、問題文の冒頭が「仏教は……」で始まっており、途中を飛ばして読んだ結果、④を選択した可能性がある。

最後に問 4 の結果を示す。(新井の調査結果(同書p209)表 3-5 と比較できる形で示した)。

表 8 2020 年度 問 4 の正答率

本校 2 年 (210 名)	本校 3 年 (80 名)	中 3 (152 名)	高 2 (54 名)	高 3 (42 名)
84.8%	82.5%	15%	37%	36%

本校生の正答率が高い。解答の内訳は以下のようになっている。

表 9 2020 年度 問 4 の解答割合

	①	②正解	③	④
2 年 (210 名)	3.3% (7 名)	84.8% (178 名)	5.2% (11 名)	6.7% (14 名)
3 年 (80 名)	6.3% (5 名)	82.5% (66 名)	6.3% (5 名)	5.0% (4 名)

全国的には正答率が非常に低く、「衝撃的な数字」(同書 p208)と評されているが、特に、表 8 に示した中高生の誤答の高い原因について、

能力値が中の上くらいまでは④を選ぶ傾向があるということです。

なぜ④を選ぶのでしょうか？④は「アメリカ合衆国 28%、ドミニカ共和国 35%」の図です。つまり、④を選ぶ受検者は、「以外の」や「のうち」といった語句を読み飛ばすか、その使い方がわからないかのどちらか、あるいはその両方なのでしょう。(同書 p209)

と分析されている。本校生も特に 2 年生の誤答者では④を選ぶ学生が多く、「飛ばし読み」の可能性が高い。なお、3 年生では④を選ぶ学生はそれほど多くない。

また、このテストの結果と成績との相関について触れておく。問 1 から問 4 全て正解の者の前年度学年末成績を見ると、トップクラスの者から留年者まで幅広くおり、提出物などの努力面も加味される成績との相関関係はないと言える。

以上、数問ではあるが、読み誤りの原因として「飛ばし読みの可能性」を考えるべきであろう。

#### 4. 国際学習到達度調査 (PISA) の読解力テスト

##### 4.1 PISA の読解力テストについて (日本の状況)

読解力に関して、もう一つ以前より話題となっているのが国際学習到達度調査(Programme for International Student Assessment = PISA)の結果である。この調査は OECD (経済協力開発機構) が 2000 年より 3 年ごとに実施、1 年後にその分析結果が発表されるというもので、対象は 15 歳とされており、日本では高校 1 年生を無作為抽出して実施。1 回目(2000 年)、日本はトップレベルという結果が出たが、その後順位を下げ、いわゆる「ゆとり教育」の問題などと関連して取

り上げられ、教育政策へも影響を与えている。

前回 2018 年度の結果が 2019 年 12 月に発表され<sup>(注5)</sup>、日本は数学的リテラシーと科学的リテラシーでは世界トップレベルを維持したが、読解力については平均得点・順位ともに下げた。

読解力の順位の推移を見ると、日本は、

2006 年	15 位
2009 年	8 位
2012 年	4 位
2015 年	8 位
2018 年	15 位

と、一時上昇していたものがまた下がっており、特に自由記述問題の正答率の低さが指摘されている。

#### 4.2 本校生の正答率と結果分析

上記の結果が発表された昨年 12 月、1 年生を対象に最後に《資料》として掲げた問題について解答させてみた。この問題は、特に日本の正答率が低かったものとして新聞にも取り上げられたものである。結果は以下の通りであった(《資料》にある上の問題を問 1、下の問題を問 2 とする。比較のため日本と OECD の正答率を並べて掲げた)。

表 10 2019 年度 1 年 PISA 読解力テストの正答率

科	本校 1 年	日本	OECD 平均
問 1	86.5% (173/200 名)	44.5%	47.4%
問 2	61.0% (122/200 名)	45.2%	44.3%

本校生は平均に比べるとかなり高い正答率であるが、誤答者も多い。

問 1 の誤答を見ると、

選択肢を全て「事実」とした者……5 名

1 番目から 4 番目までを「事実」とした者……5 名である。全て同じ選択肢を選んでいるのは、適当にマークしたのではないかと思われるかもしれないが、下の問題の解答の様子から、解答を拒否したわけではなく、真面目に選んでいると思われる。

まず、学生が「意見」というものに慣れていない可能性がある。この「ラバヌイ島」の問題で日本の正答率が低かった原因として、水戸部修治はこの問が「異なる視点で論じられた複数の文章を読み比較した上で考えを述べることを求めている。」と解説した上で、以下のように指摘している<sup>(注4)</sup>。

日本では、読解力が低かった 2003 年から「受け身的な読み取りではいけない」と叫ばれてきた。(中略)

目的に応じて情報を探して読む、複数の情報を比較して文章を評価する、読んだことを元に自分の考えを根拠を示して説明する力などは、以前から変わらぬ課題だ。

この出題は「書評」という、学生がおそらく読み慣れないタイプの文章である。本の紹介・著者の主張と、この書評の筆者の意見がその内容である。しかし、学生自身が「受け身」で「事実」を読み取ることはできていても、人の文章・主張を取り入れつつ、自分の「意見」を言う、ということに慣れていないことが誤答の一因ではないか。

また、最後の選択肢のみを「意見」と誤答した理由として「受験テクニック」の影響が考えられる。よく言われる「評論文は具体例が挙げられたあと、最後に結論が述べられる」「大事なことは最後に」といったテクニカルな読み方通りに解いてしまった可能性がある。

問 2 の解答の内訳は以下の通りである。

表 11 2019 年度 1 年 PISA 読解力テスト 問 2 の解答割合

選択肢	①	②正解	③	④
本校 1 年 (200 名)	7.5% (15 名)	61.0% (122 名)	7.0% (14 名)	28.0% (56 名)

※複数回答した者がいるため、合計は 207 名となる

4 番目を選んだ学生が多いが、これは、問題文の、

科学者たちは、18 世紀にヨーロッパ人がその島に初めて上陸した時には巨木が消滅していた点については同意しましたが、消滅した原因についてのジャレド・ダイヤモンド氏の説には同意しなかったのです。

の箇所が解答に関連していることに気づきながらも、「消滅していた原因」と「消滅していた点」の違いを読み落とし、この箇所はまとめて飛ばし、「科学者たちは、18 世紀にヨーロッパ人がその島に初めて上陸した……同意しました」と読み取ったことが推測できる。

すなわち、前章で見た学生の「飛ばし読み」が関係しており、この場合は「点」「原因」の違いを明確に認識できていない、あるいはこれらの語を飛ばして読んで、ということが原因と考えられる。

なお、問題文の「答えを一つクリックしてください」を読み落としたのか、複数マークしている学生も数名いた。

## 5. むすび

以上、問題数としては多くはないが、本校生の読解力テストの結果から、全国平均とは異なる傾向のものもあったが、読み誤りの理由としてはやはり「飛ばし読み」をしている可能性のあることがうかがえた。

では、読解力を涵養するためはどうすればよいか。新井(2019)には、リーディングスキルテスト(RST)をドリルとして取り入れることの間違いや、小学生を対象とした授業案などが示されているが、参考となる記述を要約して紹介しておく。

最近の小学校ではノートはあまり取らせない。アクティブラーニングのため、プリントやワークシートを配布し、話し合いなどに時間を使う。その結果、「穴埋め形式のプリント」で勉強するようになり、「ノートの取れない」「文章の書けない」学生を生むことになる。

そこで、「小学校を卒業するまでに板書をリアルタイムで写せるようにする。小学校のうちに穴埋めプリントを卒業する。そして、中学校ではプリントを使わせないことを目標にする」(ディスクレシアなど障害のある生徒は除く)(新井(2019) pp.182-192 の内容要約)

最近の学生はノートを取るのが遅い、というのは教員の誰もが感じていることであろう。けれども、時間がかかってもプリントへの語句記入ではなく「板書を写す」ことで、意味をわかって覚える、という訓練ができる。また以前、ある教員が「板書は名詞ではなく、動詞まで書く」といっていたことが思い出される。例えば「判別式」だけではなく、「判別式を使う」と書く、あるいは「源頼朝 鎌倉幕府」ではなく「源頼朝が鎌倉幕府を開いた」といったようなものである。もちろん板書の全てをそのようにするのは煩瑣であるが、必要に応じて動詞を入れる、文で記述させることは効果的であろう。

また、新井は、画面ではなく、紙に打ち出してゆっくり読むことの大切さなども紹介している。以下は、新井のプロジェクトに参加し、読解力が飛躍的に向上した菅原慎悟の経験談である。

そもそも私自身が文の構造を正しく理解しながら読むことができていないことに気づいた。

いつの間にか、一語一語の関係を正しく解析しながら読むのではなく、単語を眺めて適当に読み進めるといった誤った読み方が定着してしまっていたのだ。(中略)

このままではよくないと考えを改め、これまではエク

セルシート上で行っていたレビュー作業をやめ、1問ずつ印刷し、提示された文章をていねいに読み、そこに出てくる単語や助詞の働きについて正確に吟味し、わからないところは辞書を調べながらレビューを行うことにした。(同書 p311~312)

RST の調査結果として、正答率が上昇しても、解答数はそれほど増えない、つまり、読める生徒は決して早く読んでたくさん解答しているわけではないことも指摘されている(同書 p314)。

読解力の養成に「特効薬」はない。学生に日常のあらゆる場面できちんと文章に向き合う姿勢を持たせる、地道な取り組みを続けるべきである。

### 参考文献

- 1) 新井紀子「AI vs. 教科書が読めない子どもたち」(2018年2月 東洋経済新報社)
- 2) 新井紀子「AI に負けない子どもを育てる」(2019年9月 東洋経済新報社)

### 注記

- 注1) 第一学習社の「小論文指導研修会」でも取り上げられている(2018年8月3日大阪会場での難波博孝氏の講演、2019年8月2日大阪会場での品川哲彦氏の講演など。新科目「論理国語」との関連も述べられた)。
- 注2) 注1に挙げた品川哲彦の講演「今後の入試改革と小論文の位置づけ」における口頭説明をヒントに筆者が作成した。  
その他、論理的思考力を試す「並べ替え」問題についても品川の教材を使用して本校生にテストした。その結果については、あらためて報告する予定である。
- 注3) 新井の調査の対象は、48 大学 90 クラス、多くが大学受験を終えたばかりの1年生で、各大学の各学科を「ベネッセによる分野分類、偏差値によるクラス(国公立S、A、B、私S、A、B、C)に分けて分析した」とある(新井(2018) p175)
- 注4) 朝日新聞大阪本社版2019年12月4日掲載「情報『使いこなす力を』」。巻末の《資料》もこの記事に掲載。
- 注5) 国立教育政策研究所 HP  
<https://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/index.html#PISA2018>  
に2018年の調査結果がある(文部科学省HP  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/detail/1344310.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/detail/1344310.htm)  
よりリンクあり)。

《資料》

書評「文明崩壊」

ジャレド・ダイヤモンドの新著「文明崩壊」は、環境破壊による結末についての明らかな警告である。本書には、自らの選択とそれが環境に与えた影響によって崩壊したいくつかの文明について書かれている。本書の中でも最も気がかりな例が、ラバヌイ族である。

著者によると、ラバヌイ島には西暦700年以降にポリネシア系の民族が移住してきたようだ。おそらく人口15,000人ほどの豊かな社会を築いていたという。彼らは有名なモアイ像を彫り、身近にあった天然資源を使ってその巨大なモアイ像を島のあちこちに運んでいた。1722年にヨーロッパ人が初めてラバヌイ島に上陸した時、モアイ像は残っていたが、森は消滅していた。人口は数千人に減少し、人々は必死で生き延びようとしていた。

ダイヤモンド氏は、ラバヌイ族の人々は耕作やその他の目的のために土地を切り開き、かつて島に生息していた多種多様な海の生物や地上の鳥を乱獲したと述べている。そして天然資源の減少によって内戦が起り、ラバヌイ族の社会の崩壊につながったと推測している。

この素晴らしくも恐ろしい著書から学べることは、過去に人間はすべての木を伐採し、生物を絶滅させるまで捕獲したことで、自分たちの環境を破壊するという選択をしていたということだ。楽観的なことに、著者は、現代の私たちは同じ過ちを繰り返さないという選択ができると述べている。本書は内容がよくまとまっており、環境問題を心配する方にはぜひ読んでいただきたい一冊である。

問 下の文は事実または意見のどちらですか。

	事実	意見
本書には、自らの選択とそれが環境に与えた影響によって崩壊したいくつかの文明について書かれている。	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
中でも最も気がかりな例が、ラバヌイ族である。	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
彼らは有名なモアイ像を彫り、身近にあった天然資源を使ってその巨大なモアイ像を島のあちこちに運んでいた。	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1722年にヨーロッパ人が初めてラバヌイ島に上陸した時、モアイ像は残っていたが、森は消滅していた。	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
本書は内容がよくまとまっており、環境問題を心配する方にはぜひ読んでいただきたい一冊である。	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

正解

上から「事実」「意見」「事実」「事実」「意見」  
(正答率は日本44.5%、OECD平均47.4%)

サイエンス ニュース ラバヌイ島の森を破壊したのはナンヨウネズミか?

科学レポーター 本村真

2005年、ジャレド・ダイヤモンド氏の「文明崩壊」が出版されました。この本の中で、彼はラバヌイ島(別名イースター島)に人が定住した様子を描いています。

本書は出版と同時に大きな議論を呼びました。多くの科学者が、ラバヌイ島で起こったことについてのダイヤモンド氏の説に疑問を抱いたのです。科学者たちは、18世紀にヨーロッパ人がその島に初めて上陸した時には巨木が消滅していた点については同意しましたが、消滅した原因についてのジャレド・ダイヤモンド氏の説には同意しなかったのです。

そして、二人の科学者カール・リボ氏とテリー・ハント氏による新しい説が発表されました。彼らはナンヨウネズミが木の種を食べたために、新しい木

が育たなかったと考えています。そのネズミはラバヌイ島の最初の移住者である人間が上陸するために使ったカヌーに偶然乗っていたか、または、この島に意図的に連れてこられたのだと、彼らは述べています。

ネズミの数は、47日間で二倍に増えるという研究結果があります。それほど数のネズミが育つには多くのエサが必要です。リボ氏とハント氏はこの説の根拠として、ヤシの実の残骸にネズミがかじった跡が残っている点を指摘しています。もちろん彼らも、ラバヌイ島の森の破壊に人間が加担したことは認めています。しかし、一連の経緯の元凶は主にナンヨウネズミの方であったというのが、彼らの主張なのです。

問 「ラバヌイ島の森を破壊したのはナンヨウネズミか?」という記事を読んで、下の問いの答えを一つクリックしてください。記事の中の科学者たちと、ジャレド・ダイヤモンド氏が同意している点は何ですか。

人類は数百年前にラバヌイ島に移住した。	<input type="radio"/>
ラバヌイ島にあった大木が消滅した。	<input type="radio"/>
ナンヨウネズミがラバヌイ島の大木の種を食べた。	<input type="radio"/>
18世紀にヨーロッパ人がラバヌイ島に上陸した。	<input type="radio"/>

正解

ラバヌイ島にあった大木が消滅した。  
(正答率は日本45.2%、OECD平均44.3%)

奈良工業高等専門学校 研究紀要第56号

令和3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. 56, 2020  
CONTENTS

## Papers

Computational Aging/Weathering on 3D Computer Graphics: Establishing a Workflow .....	HIRA Toshio .....	1
Research and Investigation on Mechanical Engineering Education for Contribution of the Achievement of SDGs .....	Atsushi SUDA, Tamiko NOBAYASHI, Takao MUROMAKI .....	11
A study for wind damage in Greenhouse Horticulture (Examination by analysis using 3D model) .....	MORIKAWA Kenta, TAKAO Haruka, SUDA Atsushi, NOBAYASHI Tamiko .....	21
	ENOKI Shinichi, MUROMAKI Takao, YOSHIOKA Tsuyoshi	
Development of Preventing Decreased Grip Strength Apparatus Aims to Prevent of Dementia - Design and Development by Student Idea Challenge - .....	Riku MONDEN, Kyosuke SUENAGA, Taishi FUKUDA, Kouhei HAYASHI, Takuho MIYAMOTO .....	30
	Kouki MATSUMOTO, Atsushi SUDA ,Yukinori TANIGUCHI	
MHF Point Temperature and Behavior of Vapor Film Collapse under Forced Convection Film Boiling Due to Quenching of Small Platinum Sphere into Polymer Aqueous Solution .....	Mitsuyoshi SHIMAOKA, Shigeto NAKAMURA and Nobuhiro IKEDA .....	35
Historical Study on the Spread of 'Badminton' into 19 <sup>th</sup> -century Great Britain : An Overview of Articles and Advertisements on ' <i>The Field</i> ' between 1873 and 1877 .....	Yoshiaki MATSUI .....	43
New Commentary of Yunoyama - Sangin .....	Katsuhiko SETA .....	75

## Abstract

Cutting Performance in Threading Turning and Grooving Turning of Ti-6Al-4V Alloy with a High-Pressure Coolant Supply .....	Tadahiro WADA .....	76
CUTTING PERFORMANCE IN GROOVING TURNING OF SUPER HEAT-RESISTANT ALLOY INCONEL 718 WITH A HIGH-PRESSURE COOLANT SUPPLY .....	Tadahiro WADA .....	77
Wear Mechanism of Multilayer AlCrWN/AlCrWSiN-coatings on Cemented Carbide Tools Prepared by Arc Ion Plating in Dry Cutting of Hardened Sintered Steel .....	Tadahiro WADA and Hiroyuki HANYU .....	78
Chip Breakability in Turning of 7075 Aluminium Alloy with a High-Pressure Coolant Supply .....	Tadahiro WADA, Takuro YAMAGUCHI and Yusuke MORIGO .....	79
Tool Wear of (Al,Cr,W)/(Al,Cr,W,Si)-Based-Coated Cemented Carbide Tools in Cutting of Hardened Steel .....	Tadahiro WADA, Akiyoshi NITTA and Junsuke FUJIWARA .....	80

## Data

The Results of Test "Let's test your Logical force!" - A Survey of our Students' Reading Comprehension Skills - .....	Yuri KAGIMOTO .....	81
--	---------------------	----