

# 研 究 紀 要

第 55 号

令和元年度

奈良工業高等専門学校

# 目 次

## 論文

粉末冶金法による刀型オブジェの製作 ..... 小竹 宙樹 尾崎 充紀 島田 大嗣 井上 智弘 福田 龍一 谷本 奈月 須田 敦 谷口 幸典 .....	1	
楕円体空洞から噴出する渦輪の循環が非定常超音速ジェットにおよぼす影響 .....	福岡 寛 上田耕太郎 北園 一将 .....	5
茎熟収支法を基にした樹液流測定システムの開発 .....	福岡 寛 入口 大修 .....	10
作業用モノレールの分岐器に関する安全性について -PLC制御装置を用いた検討- ..... 星田 貢輝 松本 尚樹 中西 晴紀 近藤 将好 井口 望 室巻 孝郎 須田 敦 .....	16	
ポリマー水溶液の冷却特性に関する研究 .....	島岡 三義 中村 篤人 池田 修啓 .....	21
『愛宕百韻』の注解と再検討 .....	勢田 勝郭 .....	28

## 抄録

Properties of TaWN and TaN/TaWN Coating Film Deposited on WC-Co-Based Cemented Carbide using Magnetron Sputter Ion Plating .....	和田 任弘 .....	42
Tool Wear of Aluminum/Chromium/Tungsten-Based Coated Cemented Carbide in Cutting Alloy Steel .....	和田 任弘 .....	43
Wear Mechanism of Multi-layer AlCrWN/AlCrWSiN Coatings on Cemented Carbide Tool Prepared by Arc Ion Plating in Dry Cutting of Sintered Steel .....	和田 任弘 .....	44
Tool Wear of Poly Crystalline Diamond in Cutting WC-Co Cemented Carbide with High-Pressure Coolant Supplied .....	和田 任弘 .....	45
Tool Wear in Intermittent Cutting of AISI 304 Stainless Steel by Thermally-Sprayed Coatings .....	和田 任弘 .....	46

## 粉末冶金法による刀型オブジェの製作

小竹 宙樹\*, 尾崎 充紀, 島田 大嗣, 井上 智弘, 福田 龍一,  
谷本 奈月, 須田 敦, 谷口 幸典

### Production of KATANA Objects Using Powder Metallurgy Technique

Hiroki KOTAKE, Mitsunori OZAKI, Hirotsugu SHIMADA, Tomohiro INOUE, Ryuichi FUKUDA  
Natsuki TANIMOTO, Atsushi SUDA, Yukinori TANIGUCHI

本校機械工学科科内広報担当教員が主導する正課外活動組織 MeCafe (Mechanical + Cafe の造語, メカフェ) を活動母体として, 文化祭 (奈良高専高専祭 2018) での学科展示を目指した刀型オブジェの製作を試みた. 刀の素材である鋼について, 本来は高炭素のものを順次鍛造しながら精錬していくところを, 低予算かつ安全な作業を行うことを目指し, 筆者の一人が専門とする粉末冶金法の技術を活用した. 鉄粉末とグラファイト粉末 (カーボンブラック) の混合粉を圧縮成形して焼結した焼結体の自由鍛造を行った結果, 200kN 以下の成形荷重で作成した焼結体は自由鍛造中の引張応力に起因した割れが生じた. 400kN で成形したものは割れが生じなかったことから, 焼結体の相対密度がある程度高い場合において自由鍛造による打ち延ばしが行えるようになり, 粉末冶金法により刀に似せた形状を造形できることがわかった.

#### 1. はじめに～刀型オブジェの製作の背景～

学生が自主的に創作活動を行う課外活動は, 単に創作物の出来栄や成果として承認要求を満たすことだけでなく, 計画を立案し, それに従って目標を達成するプロセスを通じて, 自己の学ぶ姿勢を見直す機会でもある. 本校が主催している学生チャレンジプロジェクトの採択基準が, 「学生の自主性, 創造性が発揮できているかどうか」および「実施内容の計画性と実現性はどうか」であることから, 実践力や課題解決力を高めることに関する正課外の取り組みが推奨され, 自律した取り組みが期待されていることがわかる. 機械工学科では, 学科の運營業務として教員に広報担当を分掌しており, それを筆者らは, 高専の教育内容に興味を有する小中学生とその保護者, さらに本校近隣の住民をステークホルダーとみなして, 体験入学や入試説明会などの行事を, 教育手法やその成果を各種展示物や補助学生との交流を通じて説明する, いわば教育機関としてのアカウントビリティを果たす役割として捉えたうえで, 取り組み内容を企画立案, 遂行・支援, および補助学生の役をそれぞれ務めてきた. 本稿はそれら取り組みのひとつとして, 平成 30 年度に課外活動として刀型オブジェの製作に取り組んだ結果を報告する.

本取り組みは筆者らの一人の在校学生により提案され

たもので, 正課の授業にて, 刀の粘り強さと硬さの両立がその製法によって実現していることを学んだことを契機に立案された. すなわち, 我が国において古来より日本刀の製法が伝承され, それが手作業の鍛法でしか成しえない特色を有し, それが冶金学的にも妥当な材料創製プロセスとして認識されていることに感銘を受け, その疑似体験を試みたものである. 例えば, 日本刀には名工や刀工集団を輩出した 5 つの主生産地の鍛法として大和伝, 山城伝, 備前伝, 美濃伝, および相州伝があり, それら伝承は江戸時代以降に五箇伝と称されるようになって, 姿, 地鉄, 刃文などにそれぞれ独自性がある. 特に大和伝<sup>1)~5)</sup>は, 平安時代前期以降の大和地方 (奈良) に発生した名工や刀工集団による鍛法で以下の特色を有する.

- (1) 姿: 輪反りが雄大, 鎧筋が高く張っている, 鎧幅が広い
- (2) 地鉄: 柾目肌を交える, 地沸が厚く付いている, 地肌は白く輝いている
- (3) 刃文: 直刃が基調, 刃境に金線・筋流し・段状の湯走りがかかる, 焼刃の処々が二重
- (4) その他: ほつれ, 打ちのけ, 喰違刃など, 多彩な変化が見られる
- (5) 帽子: 金線・砂流しを伴う, 掃掛けて浅く反るまたは焼詰  
鍛法によるこれら特色は冶金学的に結晶粒微細化プロ

\* 機械工学科第 4 学年

セスにより生じたものと思われ、それに感銘を受けた筆者らの一人が、手作業による鍛造体験を通じて自己の知的欲求を満たすとともに専門知識の習得に取り組む姿勢を省察することを希望し、それを機械工学科広報教員が主導する正課外活動組織 MeCafe (Mechanical + Cafe の造語, メカフェ) が承認したことで、簡単な製作活動を行うに至った。なお、本取り組みは先に述べた学生チャレンジプロジェクトに申請されたが落選となった。したがって製作予算には、MeCafe を組織している教員の教育研究経費を充てることとし、なるべく低予算で、既存の教育資源のみで簡便に実施可能な手段で遂行するものとした。

## 2. 製作手法

刀型オブジェは、本物の刀の作り方とは異なり、粉末冶金法<sup>7)</sup>により作製した焼結体を素材としてその自由鍛造を行うことで製作した。粉末冶金法は金属粉末を所望の合金組成となるよう種々混合し、それを加圧成形した圧粉体を焼結することで合金を得る手法で、焼結炭素鋼に代表される種々の焼結合金がある。今回、鉄粉に対し、炭素質としてグラファイト粉末(カーボンブラック)を配合したものを素材とした。それを乳鉢で十分に混合したうえで、40 mm × 20 mm の矩形キャビティを有する金型を用い、万能試

験機で厚さ 5 mm 程度の板状に圧粉した。この圧粉体に電気炉を用いて焼結を施し、鍛造素材として高純度な地金を得て、この地金を、長さ 100 mm、幅 10 mm 程度となるように、金床とハンマを用いた手作業による自由鍛造で打ち延ばすことで、刀形状を造形することとした。

鉄粉末は平均粒子径が約 100 μm のアトマイズ鉄粉を用い、これにカーボンブラックを 0.8mass% 配合したものを供試粉末とした。混合は乳鉢を用い、300g 程度を 10 分間程度、手作業で攪拌するように行った。なお、粉末を成形する際、成形金型壁面との摩擦で焼付きなど成形不良を防止するために、粉末粒子間の潤滑剤としてステアリン酸亜鉛 (StZn) 粉末を 1.0mass% 添加して混合粉末を作製した。

成形荷重は 100, 200, および 400kN と変化させて成形体を作製し、それを電気炉にて 1150℃ まで昇温することで焼結体を得た。図 1 に使用した金型(成形パンチとダイ)の写真を、図 2 にその金型で粉末を成形した際の成形荷重と成形体の相対密度 (%) の関係を示す。図 2 からわかるように、成形荷重が増加するにつれて密度は増加するがその傾向は急激に減少し、400kN (約 500MPa) の高い荷重を与えた場合に相対密度 90% に達するが、それ以上の密度増加にはかなりの荷重増分が必要となることがわかる。成形体の焼結の温度-時間サイクルを図 3 に示す。すなわち、



(a) 成形パンチ



(b) ダイ

図 1 成形に使用した金型の外観写真

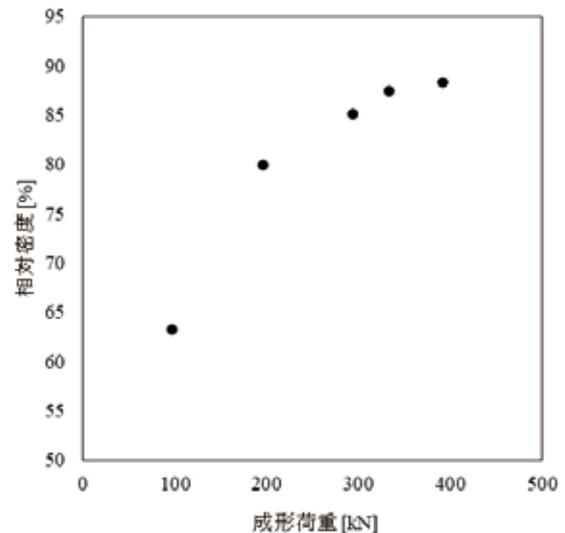


図 2 粉末の圧粉成形荷重と相対密度の関係

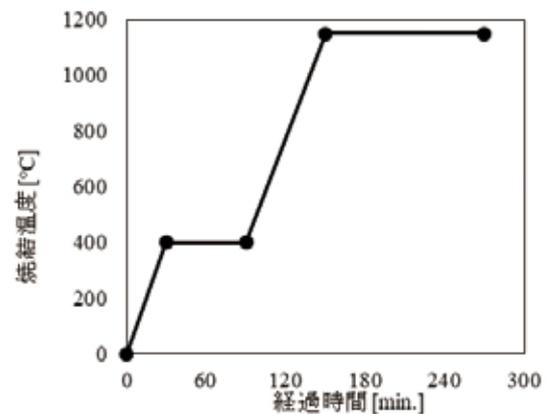


図 3 焼結の温度-時間サイクル

- (1) 30分で常温から400℃まで温度上昇
- (2) 1時間400℃を保持 (StZn粉末の昇華)
- (3) 1時間で400℃から1150℃まで温度上昇
- (4) 2時間1150℃を保持 (焼結)

のサイクルで焼結を行った。

上記手続きで作製した焼結体の例とその鍛造の様子を図4に示す。コークス炉で赤熱色を呈するまで加熱し、写真に示すように金床とハンマで手作業で自由鍛造することで打ち延ばしを行った。素材の大きさが小さく冷却されやすいため、約1分間の鍛造作業で焼結体は赤熱色を失う。したがって加熱～鍛造を20回ほど繰り返して少しずつ打ち延ばしていくものとした。



(a) 作製した焼結体 (成形荷重 400 kN)



(b) 自由鍛造の様子 (赤熱しているのが焼結体)

図4 作製した焼結体とその自由鍛造の外観写真

### 3. 製作結果

自由鍛造した焼結体の写真を図5に示す。100kNの成形



(a) 成形荷重 100 kN



(b) 成形荷重 400 kN

図5 自由鍛造した焼結体の外観写真

荷重で作製した焼結体は数回の鍛造で割れを生じ、打ち延ばすことができなかった。これは焼結体の相対密度が低すぎ、ハンマの打撃で生じた引張応力に耐え切れずに表面に亀裂が生じて、温度の急激な低下が生じた際の打撃で割れに至ったものと考えられる。一方、400kNの成形荷重で作製した焼結体の場合は打ち延ばしが可能であり、図のように刀型に湾曲させることに成功した。このように、焼結体の相対密度がある程度高い場合において自由鍛造による打ち延ばしが行えるようになり、粉末冶金法により刀に似せた形状を造形できることがわかった。しかし、日本刀製法である折り返し鍛錬を試みたところ、図6に示すように、折り返すことは可能であったが、返し面を圧着させる作業を行うに十分な体積がなく、また、ホウ砂や藁灰、粘土等を要することによる作業場の汚染を含めた環境・安全面から、今回はその作業を断念した。



図6 折り返しの試行結果

打ち延ばしに成功した試料に水焼入れを施し、グラインダーおよび研磨紙で仕上げた製品を図7に示す。何度も加熱・鍛造を施したことで表面の凹凸の度合いが大きくなり、これを完全に研磨すると薄くなりすぎて刃物としての性質が付与されることを避けるため、若干の凹凸が残ったままを製品とした。研磨した部分は高炭素鋼としての白色を呈していたことから、鍛造により生成された地鉄として組織が生成されたものと思われる反面、折り返し鍛錬を行っていないために、日本刀の質感とは程遠いものである。しかしながら、本製品を図8のようにケースに収め、ポスターおよび鍛造過程の動画説明を添えて文化祭 (奈良高専高専祭 2018) および学校説明会での学科展示に供したところ、特に年配の方々から「面白いことをやっている」や、「粉末から作ったのが高専らしいね」など、多くの肯



図7 研磨を施した製品写真



図8 製品の展示の様子

定的意見をいただくことができた。加えて、(公社) 日本設計工学会関西支部研究発表会にて口頭発表を行い、参加者の興味とともに、さらなる取り組みへの期待をいただくことができた。

#### 4. おわりに

今回、粉末冶金法を用いて刀型オブジェの製作に取り組んだ。粉末冶金法は様々な粉末を混ぜ合わせるだけで合金の作製が可能で、十分に高い成形荷重で密度を高めた焼結体は自由鍛造による打ち延ばし成形が可能であり、その焼入れもできることを知ることができた。折り返し鍛錬はできなかったものの、高純度で、炭素量を調整した地金を手作業の鍛造により脱炭して精錬していくというプロセスを疑似体験するという観点では、目的を達成することができた。例えば、実際に鍛造を行ってみた結果として、手作業で思い通りに伸ばすことは冷却の速さも相まって非常に難しく、ゆがみの修正のためだけに数回の加熱～打撃を繰り返す必要があった。それ以上の回数を叩かないと長手方向に打ち延ばすことができず、手作業による鍛造の難しさを身をもって体感することとなり、机上のみで学んでいる事柄がどれほどの労力(エネルギー)を費やすことで実現しているかを理解できた・理解させることができたと感じている。

本取り組みを継続発展するためには、十分な体積の焼結体を作製して折り返し鍛造を試みることや、刀型オブジェとして実際の刀と同様の細長比に近づけるなどの技術面で、また、課外活動として行うに必要な工具や素材を用意するという点で環境整備・予算確保が必要であるものの、

鍛錬による組織変化の観察など冶金学の観点でのさらなる課題設定が可能であり、正課外での能動的な学びを効果的に喚起する内容であると言える。このように、学生が自律してものづくりにチャレンジするプロジェクト活動としての発展性があり、また、正課内外で主体的に取り組んでいる学生の努力や苦勞、さらには学生らしい失敗の経験談が、手作業による作品という点においてわかりやすく伝わるという観点で、ステークホルダーの理解も得やすい活動内容であると言える。今回得た知見をさらに発展する製作作業が企画実施されることを期待して本報告の結びとする。

#### 参考文献

- 1) 歴史群像編集部：図解 日本刀事典—刀・拵から刀工・名刀まで刀剣用語徹底網羅!! (2006), 学研マーケティング。
- 2) 河内國平, 真鍋昌生: 刀匠が教える日本刀の魅力 (2015), 里文出版。
- 3) 服部夏生, 仲森智博: 日本刀—神が宿る武器 (2015), 日経 BP。
- 4) 全日本刀匠会: 写真で覚える日本刀の基礎知識 (2009), テレビせとうちクリエイト。
- 5) 全日本刀匠会: 写真で覚える日本刀の基礎知識 22010), 全日本刀匠会事業部。
- 6) 修心流居合術兵法 修心館: 大和伝, available from <<http://isao-machii.org/tag/大和伝/>>, (2018-11-08 閲覧)。
- 7) 粉体粉末冶金協会: 粉体粉末冶金便覧 (2010), 内田老鶴圃。

# 楕円体空洞から噴出する渦輪の循環が 非定常超音速ジェットにおよぼす影響

福岡 寛, 上田耕太郎\*, 北園 一将\*\*

## Effect of Circulation of Vortex Rings Discharged from Elliptical cell on Unsteady Supersonic Jet

Hiroshi FUKUOKA, Kotaro UEDA\*, Kazumasa KITAZONO

The unsteady supersonic jet formed by a shock tube with a small high-pressure chamber was used as a simple alternative model for pulsed laser ablation. Understanding the vortex ring formed by the shock wave is crucial in clarifying behavior of unsteady supersonic jet discharged from elliptical cell. The purpose of this study has been to reveal behavior of the supersonic jet and the vortex rings. The unsteady behavior of a flow is investigated numerically by solving the axisymmetric two-dimensional compressible Navier-Stokes equations. The system of the calculation is a model of laser ablation of a certain duration followed by discharge through the cell exit. The parameters for the calculations are the pressure ratio of the shock tube and the cell exit diameter. As a result, the interaction between the vortex ring and the jet near the flat plate causes the wall static pressure to increase.

### 1. 緒言

パルスレーザー堆積法 (PLD: Pulsed Laser Deposition) は、レーザーアブレーションを応用した新しい薄膜生成法として期待が寄せられている。レーザーアブレーションとはレーザーを材料の固体表面へ照射することによって、衝撃波とともに材料の構成原子の蒸気群であるブルームを爆発的に放出させる現象である<sup>[1]</sup>。PLDは、そのブルームを基板上に堆積することによって薄膜を生成するという手法である<sup>[2-3]</sup>。このPLDの問題点はブルームの粒子サイズが均一でないということであった。その解決策として、Iwataらは、ターゲット表面に楕円体空洞を設置することによって粒子サイズを均一にすることができることを報告している<sup>[4]</sup>。しかしながら、レーザーアブレーションによる流れ場は極めて複雑であり、実験的に解析することは非常に困難である。

この複雑な流れ場を解析するために、Yagaらは高速噴流を衝撃波管から噴出する超音速ジェットに置き換えた数値計算を行ない、楕円体空洞内におけるジェットと衝撃波の干渉を詳細に調べている<sup>[5]</sup>。またKitazonoらは、衝撃波管の圧力比をパラメータとした数値計算を行なって楕円体空洞出口下流における流れ場を解析し、空洞出口にて

渦輪が発生することを報告している<sup>[6]</sup>。しかしながら、楕円体空洞出口直径をパラメータとした渦輪およびジェットの解析は行なわれておらず、楕円体空洞出口直径が渦輪およびジェットの挙動におよぼす影響は明らかになっていない。

そこで、本研究では楕円体型空洞下流において渦輪がジェット速度に与える影響を調べるために、数値計算を用いてレーザーアブレーションによって発生するブルームを高圧小容積の衝撃波管から噴出する超音速ジェットに置き換えたモデルに対してシミュレーションを行なう。支配方程式として二次元軸圧縮性ナビエ・ストークス方程式を用い、パラメータとして衝撃波管の圧力比および楕円体空洞出口直径を変化させる。

### 2. 数値計算方法

本研究では支配方程式として二次元軸対称圧縮性ナビエ・ストークス方程式を用いた<sup>[7]</sup>。本計算では空間内を曲線で近似することにより、3次精度としたMUSCL法を用いた<sup>[8]</sup>。移流項における数値流速はRoeの近似リーマン法による風上スキームで評価した。また時間進行法は従来のRunge-Kutta法に改良を加えた、TVD time discretization

\*システム創成工学専攻 機械制御システムコース

\*\*機械制御工学専攻

scheme を用いて離散化した<sup>9)</sup>。また、レーザーアブレーションにより発生するプルームは高圧小容積の衝撃波管から噴出する非定常超音速ジェットに置き換えることでモデル化を行なった。

図1は計算領域を示している。図左から衝撃波管、楕円体空洞および衝突平板を設けた。x軸およびy軸は衝撃波管の内径Dによって無次元化している。また、衝撃波管、楕円体空洞および衝突平板の壁面は滑りなし壁条件とした。パラメータには衝撃波管の圧力比  $P_h/P_b$  および楕円体空洞出口直径  $D_e/D$  を用いた。ここで  $P_h$  および  $P_b$  はそれぞれ衝撃波管高圧室の圧力および雰囲気ガス圧を表している。 $P_h/P_b$  および  $D_e/D$  はそれぞれ 16.7-47.4 および 1.0-2.0 の間で変化させた。ジェットと渦輪の挙動を調べるために、解析はセル出口後方の拡大領域に注目して行なった。

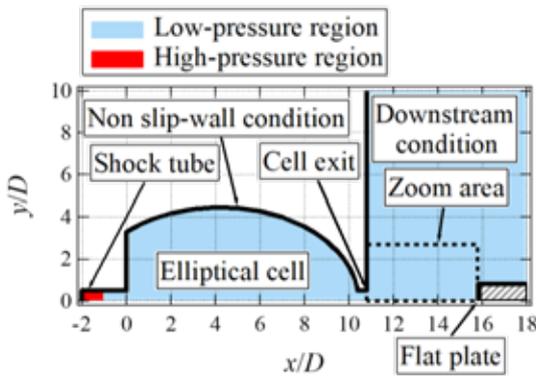


Fig.1 Flow field for computation and boundary conditions

3. 結果および考察

3.1 代表的な流れ場

図2は  $P_h/P_b = 22.6$ ,  $D_e/D = 1.0$  における代表的な流れ場の時間変化を示している。図2の上部および下部は渦度線図およびコンピューターシュリーレン像を示している。図左端および右端は空洞出口および衝突平板を表している。時間は衝撃波管の隔膜が破膜した瞬間を  $t=0\mu s$  する。図2(a)において空洞出口付近で渦輪の形成を確認できる。図2(b)において空洞出口付近で新たな渦輪の形成を確認できる。この渦輪と下流側の渦輪と区別するため、形成された順に第一渦輪および第二渦輪と呼ぶこととする。図2(c)において空洞出口からジェットの噴出が確認できる。図2(c)および(d)において第二渦輪が第一渦輪に接近していることが確認できる。これは第二渦輪の進展速度が第一渦輪のより大きいためである。また、図2(e)-(g)において、第一渦輪、第二渦輪およびジェットの衝突が確認できる。また、図2(h)においてジェットが壁面と衝突していることが確認できる。

図2から空洞出口下流において、渦輪およびジェットの衝突が発生することがわかった。次に衝突した渦輪がジェット速度におよぼす影響を調べるために図3にジェット速度の時間変化を示す。図中の(c)-(g)はそれぞれ図2(c)-(g)に対応した時間を示している。図3からジェット噴出後の  $t = 624-683\mu s$  においてジェット速度が上昇していることが

確認できる。これは図2(e)に示すように第一渦輪、第二渦輪およびジェットが相互作用を起こしたためである。

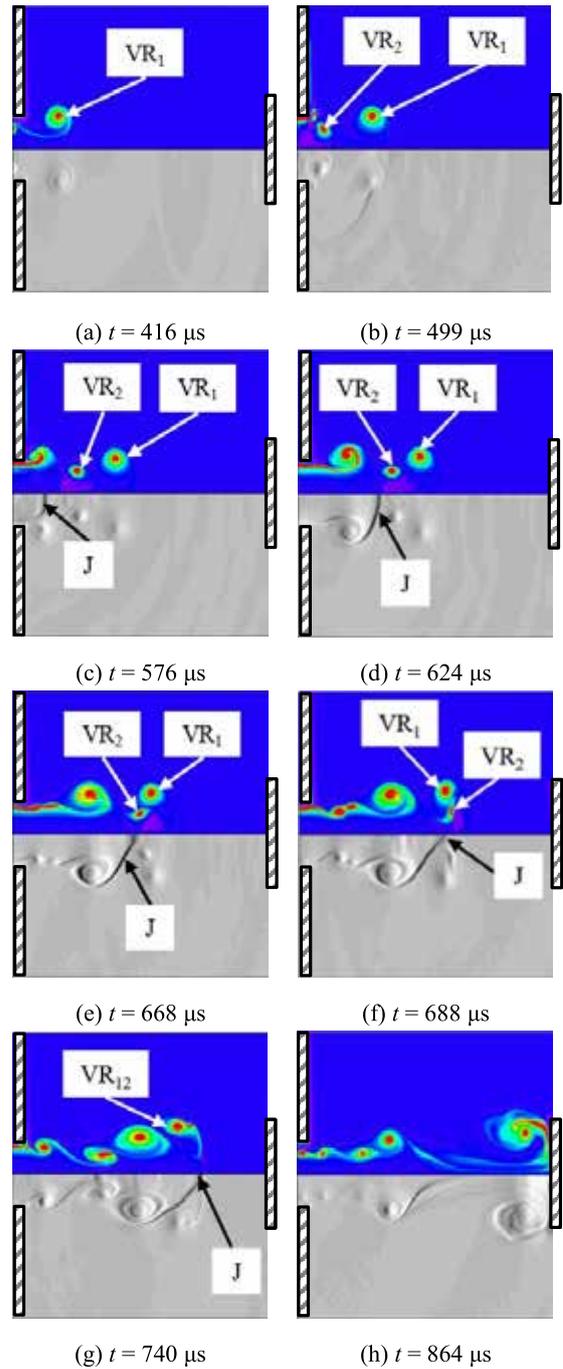


Fig.2 Vorticity and computer schlieren variation for  $P_h/P_b = 22.6$  and  $D_e/D = 1.0$ .

(VR1: First generated vortex ring; VR2: Second generated vortex ring; J: Jet head.)

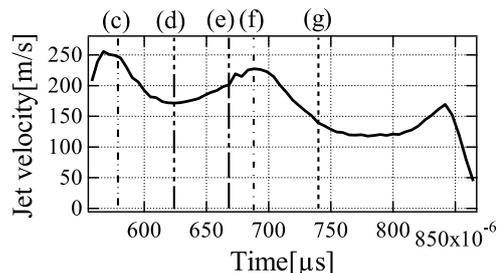


Fig.3 Time history of jet velocity for  $P_h/P_b = 22.6$  and  $D_e/D = 1.0$

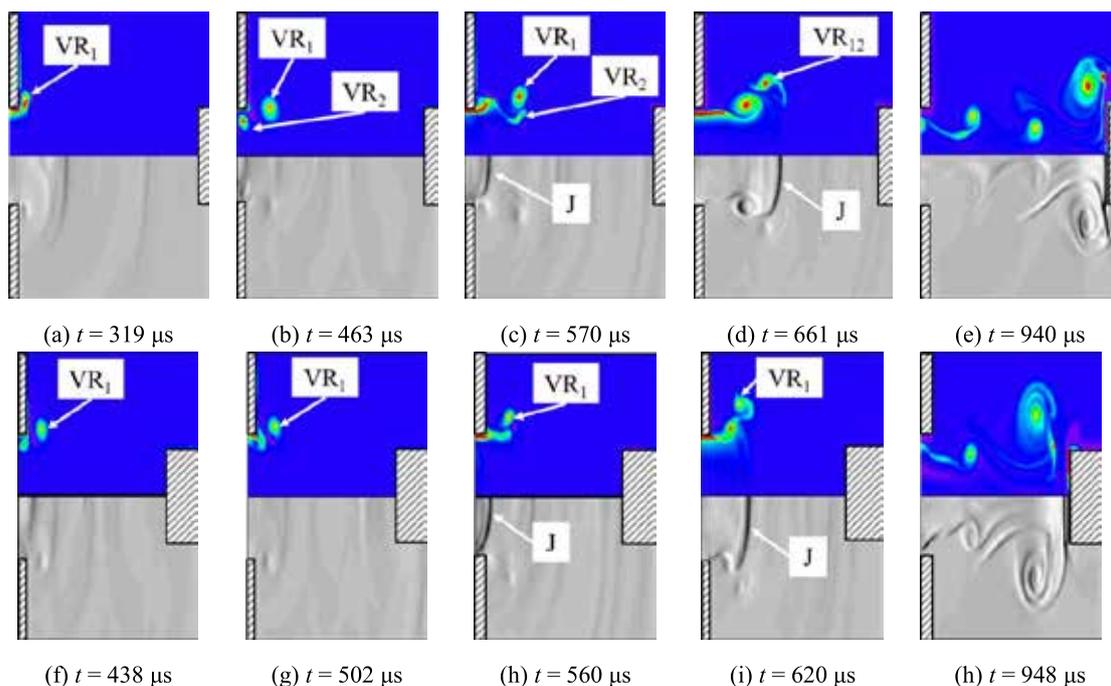


Fig.4 Vorticity and computer schlieren variation for  $P_w/P_b = 22.6$ ((a)-(e):  $D_c/D = 1.5$ , (f)-(h):  $D_c/D = 2.0$ )

### 3.2 空洞出口直径がジェットおよび渦輪におよぼす影響

空洞出口近傍の壁は、出口から流出するジェットに対し抵抗になると考えられる。そこで楕円体空洞出口直径が渦輪およびジェットの挙動におよぼす影響を調べるために、図4に  $P_w/P_b = 22.6$ ,  $D_c/D = 1.5$  および  $2.0$  における流れ場の時間変化を示す。図4(a) および (b) において、第一渦輪および第二渦輪の発生が確認できる。その後、図4(c) において渦輪同士の衝突が確認できる。渦輪同士の衝突後、図4(d) において渦輪およびジェットの衝突が確認できる。次に  $P_w/P_b = 22.6$ ,  $D_c/D = 2.0$  の場合、図4(f)-(g) から渦輪が一つ発生していることが確認できる。また図4(i) より、空洞出口近傍で渦輪とジェットの衝突が確認できる。さらに、ジェットが衝突平板に衝突した瞬間を示す図4(e) および (h) より、ジェットの壁面衝突時間は  $D_c/D = 2.0$  より  $D_c/D = 1.5$  のほうが早いことが確認できる。

上述より空洞出口直径が壁面衝突直前のジェット速度に影響をおよぼすことがわかった。次に空洞出口直径が、薄膜の品質を評価する上で重要となる壁面静圧<sup>[10]</sup>におよぼす影響を調べるために、図5に三つの空洞出口直径における衝突平板の壁面静圧の時間変化を示す。図5において、 $t=864, 924$  および  $1000\mu s$  における三つの鎖線はそれぞれの条件におけるジェットが壁面衝突した瞬間を表している。図5からジェットが衝突したときに壁面静圧が最大値に到達していることが確認できる。さらに、 $P_w/P_b = 22.6$ ,  $D_c/D = 1.0-2.0$  において空洞出口径が大きくなるにつれて、ジェット衝突時の壁面静圧が低くなっていることが確認できる。これは、空洞出口径が大きくなるにつれて、壁面衝突直前のジェット速度が小さくなるためであり、この事実はずでに確認した。

### 3.3 圧力比がジェットおよび渦輪に与える影響

3.1 節より、楕円体空洞下流において渦輪およびジェッ

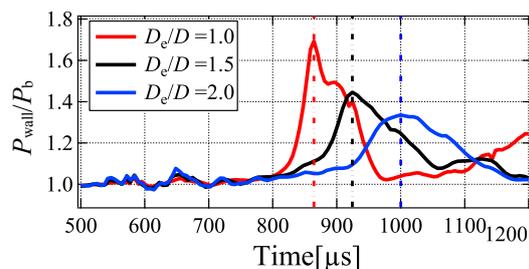
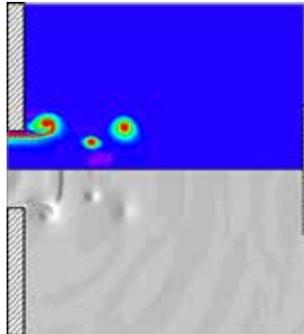


Fig.5 Time history of wall static pressure for  $P_w/P_b = 22.6$ ,  $D_c/D = 1.0, 1.5$  and  $2.0$

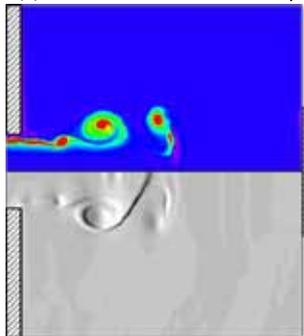
トが衝突することが確認できた。次にジェットの推進力に大きな影響を与えると考えられる衝撃波管の圧力比がジェットと渦輪の挙動におよぼす影響を調べるために、図6に圧力比  $P_w/P_b=20.0, 42.0$  および  $D_c/D=1.0$  における空洞出口下流の流れ場の時間変化を示す。図6(a)(b) および 図6(c)(d) はそれぞれ  $P_w/P_b=20.0$  および  $42.0$  の流れ場である。図6(a) および (c) においてジェットの前方に第一渦輪と第二渦輪が発生していることが確認できる。その後、図6(b) および (d) において渦輪とジェットの衝突が確認できる。さらに、図6(b) および (d) において、 $P_w/P_b=42.0$  における渦輪とジェットの衝突位置が  $P_w/P_b=20.0$  における衝突位置に比べて衝突平板に近いことが確認できる。これは  $P_w/P_b=42.0$  における渦輪の進展速度が  $P_w/P_b=20.0$  における進展速度に比べて大きいためである。この傾向は  $D_c/D=1.5$  における流れ場でも同様に確認できた。

次に圧力比の変化が壁面静圧におよぼす影響を調べるために、図7に三つの空洞出口直径における圧力比と壁面静圧の関係を示す。図7から、三つの空洞出口直径において、圧力比の上昇とともに壁面静圧が上昇および減少していることが確認できる。さらに、 $P_w/P_b = 20.0-21.1$  および  $29.0-32.5$  において、空洞出口直径が大きい場合の壁面静圧が、空洞出口直径が小さい場合の壁面静圧を上回ってい

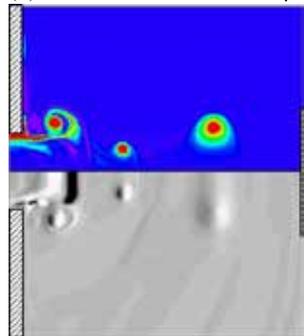
ることが確認できる。これは、ジェットが壁面近傍で渦輪と衝突することによって、ジェット速度が上昇した状態で壁面衝突するためであると考えられる。



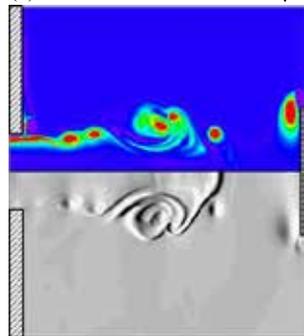
(a)  $P_h/P_b = 20.0$  and  $t = 686 \mu s$



(b)  $P_h/P_b = 20.0$  and  $t = 733 \mu s$



(c)  $P_h/P_b = 42.0$  and  $t = 632 \mu s$



(d)  $P_h/P_b = 42.0$  and  $t = 754 \mu s$

Fig.6 Vorticity and computer schlieren variation for  $P_h/P_b = 20.0, 42.0$  and  $D_c/D = 1.0$

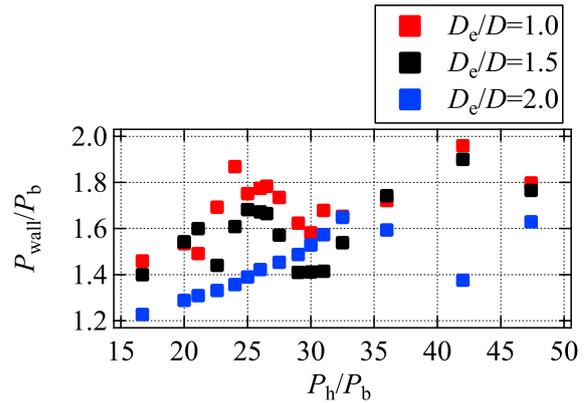


Fig.7 Wall static pressure  $P_{wal}/P_b$  versus  $P_h/P_b$  for  $D_c/D = 1.0, 1.5$  and  $2.0$

#### 4. 結言

本研究では、楕円体空洞下流において発生する渦輪がジェットおよび衝突平板の壁面静圧におよぼす影響を明らかにするために、衝撃波管の圧力比と楕円体空洞出口直径をパラメータとした数値計算を行なった。得られた結論を以下に示す。

- (1)  $P_h/P_b = 22.6, D_c/D = 1.0$  において、渦輪とジェットの相互作用が起こるため、ジェット速度は上昇する。
- (2)  $P_h/P_b = 22.6, D_c/D = 1.5$  では渦輪が二つ発生する一方で、 $P_h/P_b = 22.6, D_c/D = 2.0$  では渦輪が一つ発生する。
- (3)  $P_h/P_b = 22.6, D_c/D = 1.0-2.0$  において、空洞出口直径が大きくなるにつれて、ジェット衝突時の壁面静圧は小さくなる。これは、空洞出口直径が大きくなるにつれて、壁面衝突直前のジェット速度が小さくなるためである。
- (4)  $P_h/P_b = 20.0$  および  $42.0, D_c/D = 1.0$  において渦輪が二つ発生する。また、 $P_h/P_b = 42.0$  および  $D_c/D = 1.0$  における渦輪とジェットの衝突位置は、 $P_h/P_b = 20.0$  および  $D_c/D = 1.0$  における衝突位置に比べて衝突平板との距離が小さい。
- (5)  $P_h/P_b = 20.0-21.1$  および  $29.0-32.5$  において、空洞出口直径が大きい場合の壁面静圧が、空洞出口直径が小さい場合の壁面静圧よりも高くなる。これは、ジェットが壁面近傍で渦輪と衝突することによって、ジェット速度が上昇した状態で壁面衝突するためであると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 電気学会, レーザーアブレーションとその応用, (1999), pp.247-248, コロナ社.
- [2] Tatsuo Okada, Koji Sugioka, J. Plasma Fusion Res., Vol.79, No.12(2003), pp.1278-1286.
- [3] 米澤徹, 表面技術, Vol. 59, No.11(2008), pp.712-717.
- [4] Yasushi Iwata, Masaaki. Kishida, Makiko. Muto, Shengwen Yu, Tsuguo Sawada, Akira Fukuda, Toshio Takiya, Akio

- Komura and Koichiro Nakajima, Chem. Phys. Lett., Vol.358, (2002)pp.36-42.
- [5] Minoru Yaga, Toshio Takiya, Yasushi Iwata, Shock Waves, Vol.14, No.5-6, (2005)pp.403-411.
- [6] Kazumasa Kitazono, Hiroshi Fukuoka, Nao Kuniyoshi, Minoru Yaga, Eri Ueno, Naoaki Fukuda and Toshio Takiya, Int. J. Mech., Aerosp., Industrial, Mechatron. and Manuf. Eng. Vol.10 (2016)1801-1805.
- [7] 八田夏夫, 流れの計算, (2010), pp.193-216, 森北出版.
- [8] 藤井孝藏, 流体力学の数値計算法, (1993), pp.72-76, 東京大学出版会.
- [9] 棚橋隆彦, CFD 数値流体力学, (1993), pp.924-925, アイピーシー
- [10] Christian Anders, Sebastian Meßlinger and Herbert M. Urbassek, Surface Sci., Vol.600, (2006) pp.2587-2593.

# 茎熱収支法を基にした樹液流測定システムの開発

福岡 寛, 入口 大修\*

## Development of sap flow measurement system based on stem heat balance method

Hiroshi FUKUOKA, Taishu IRIGUCHI

本研究は茎熱収支法において茎内の樹液流を得るため、SHB センサーの開発を行った。また、レジナトマトの樹液流の挙動の観察を赤外線カメラおよびSHB センサーの茎表面温度を比較することにより確認する。その結果、樹液流の影響によりヒーター上で温められた温度が移動することが確認できた。そしてSHB センサーで得た茎表面温度より算出した樹液流量は一日を通して約 0.4 g/10min であることがわかった。

### 1. 緒言

近年、日本において高齢化に伴い農業に携わるものは年々減少している<sup>1)</sup>。この理由は離農者が増加するのに対して新規就農者が減少しているからである。そのため早急に新規参入者を増やす必要があるがいくつかの問題が存在する。その一つとして、新規参入者は経験不足から育成状況に応じて最適な行動がとれないことである。この最適な行動とは、育成状況を確認する上で葉や茎などの色合いや成長の度合いを目視で行い、それに準じた育成ができないことである。

この問題を解決するために様々な技術が現在までに提案されてきた。その一つとして、植物の育成環境の情報をツールを使用することで収集および分析し、育成計画に活かすことである<sup>2)</sup>。これら育成環境の情報とは光合成量を増加させる要因とされる二酸化炭素、土壌の肥料濃度、水耕栽培の場合は培養液の肥料濃度の目安として用いられる EC 値および植物の病害に関係している飽差の算出で用いられる温度および湿度である。これら育成環境の情報は作物の品質安定化および栽培暦や農業日誌を記録する上で大いに役立ってきた。

しかし、この方法では生育環境の変化は解明できるが、植物の成長および生育環境の相関関係は評価できない。そのため植物の生育状況を定量的に測定し把握する方法が提案されている。それが茎中に流れる樹液流を計測することができる樹液流計測システムである。樹液流計測システムは植物内に流れる樹液流を計測する装置である。この樹液流計測システムは破壊型および非破壊型の計測方法が

存在する。破壊型計測法にはヒートパルス法<sup>3)</sup>およびグラニエ法<sup>4)</sup>が用いられる。これらの方法は木本植物に対し、ドリルなどの工具で穴を開け、ヒーターおよび温度センサーを樹幹部に挿入し樹液流を算出する。そのため、破壊型計測は植物に対して物理的な傷を与える。櫻谷はこの問題点を解決した非破壊型計測である、茎熱収支法 (Stem Heat Balance Method ; 以下 SHB 法と略す)<sup>5)</sup>を開発した。この計測法は茎の全周をヒーターで覆い熱の収支を計測することで茎断面の樹液流を非破壊で求めることができる。この SHB 法を基にして開発されたのが SHB センサーである。本センサーは、温度を高精度に測定するため、取り扱いが難しく、さらに最適な温度測定位置は明らかにされていない。

本研究では将来的に IoT を踏まえた安価かつ容易に行える SHB 法を基にした樹液流測定システムの開発を行う事を目的とする。そのために本実験では赤外線カメラにより茎表面の温度を求め、樹液流が茎表面の温度に与える影響を明らかにする。さらにここで得られた温度より熱の収支を求め、樹液流を算出し蒸散量との比較を行う。

### 2. 茎熱収支法の原理

図 1 に茎熱収支法の原理図を示す。茎熱収支法は、樹液流を算出するために熱を用いてヒーターにより茎へ加熱を行う。ヒーターにより加熱された熱量  $Q$  は図 1 に示すように熱伝達  $Q_f$  により対流方向へ熱が運ばれる。また、熱伝導により上方  $Q_u$  および下方  $Q_d$  へ熱が伝わり、ヒーター背面から空気中へ熱  $Q_r$  がにげる。これら与えた熱量

\* システム創成工学専攻 機械制御システムコース

と出ていく熱量の収支を式で表すと (1) 式となる。

$$Q = Q_r + Q_u + Q_d + Q_f \quad (1)$$

図2に茎およびSHBセンサーの概略図を示す。図に示すように茎内外の熱の収支を測定するためにSHBセンサーは6点の熱電対、ヒーターおよび断熱材のコルクにより構成されている。このヒーターに電圧  $E$  [V] を加えると、熱量  $Q$  [W] が発生する。(1) 式の熱伝達によって運ばれる熱量  $Q_f$  [W] はニュートンの冷却法則により算出する。茎の熱伝導によって上方および下方に運ばれる熱量  $Q_u$  [W] および  $Q_d$  [W] はフーリエの法則により算出することができる。ヒーター背面から周囲の空气中へ失われる熱量  $Q_r$  [W] である。 $Q$ ,  $Q_f$ ,  $Q_u$ ,  $Q_d$  および  $Q_r$  は次式で与えられる。

$$Q = EI \quad (2)$$

$$Q_f = C_w F (T_u - T_d) \quad (3)$$

$$Q_u = \lambda A \frac{T_u - T_u'}{\Delta x} \quad (4)$$

$$Q_d = \lambda A \frac{T_d - T_d'}{\Delta x} \quad (5)$$

$$Q_r = kE \quad (6)$$

ここで、 $E$ ,  $I$ ,  $C_w$ ,  $F$ ,  $\lambda$  および  $A$  はヒーターに加え

る電圧 [V], ヒーターに流れる電流 [A], 水の比熱 [J/g・K], 茎内流量 [g/s], 茎の熱伝導率 [W/m・K], 茎の横断面積 [m<sup>2</sup>] を示す。 $T_u'$  は  $T_u$  の測温点より  $\Delta x$  [m] 離れた上方の茎温 [K],  $T_d'$  は  $T_d$  の測温点より  $\Delta x$  [m] 離れた下方の茎温 [K] である。また、 $Q_r$  はヒーター背面に装着した熱流素子の起電力  $E$  [V] とセンサー係数  $k$  [W/V] から求めることができる。(1) ~ (6) 式より茎内流量  $F$  は次式で表される。

$$F = \frac{Q - \lambda A \left( \frac{(T_u - T_u') + (T_d - T_d')}{\Delta x} \right) - kE}{C_w (T_u - T_d)} \quad (7)$$

草木植物の茎伝導率は文献<sup>6)</sup>より 0.54 [W/m・K] を採用した。各温度差、 $T_u - T_u'$ ,  $T_d - T_d'$ ,  $T_u - T_d$ , および  $E$  を求めることによって  $F$  を算出することができる。なお、各温度差は熱電対により測定する。

また、茎背面からの熱量  $Q_r$  は夜間(日の出前)に流量  $F = 0$  と仮定して算出する<sup>5)</sup>。その熱量を求める式は (8) 式となる。

$$Q_r = EI - \lambda A \left( \frac{(T_u - T_u') + (T_d - T_d')}{\Delta x} \right) \quad (8)$$

### 3. 実験装置および方法

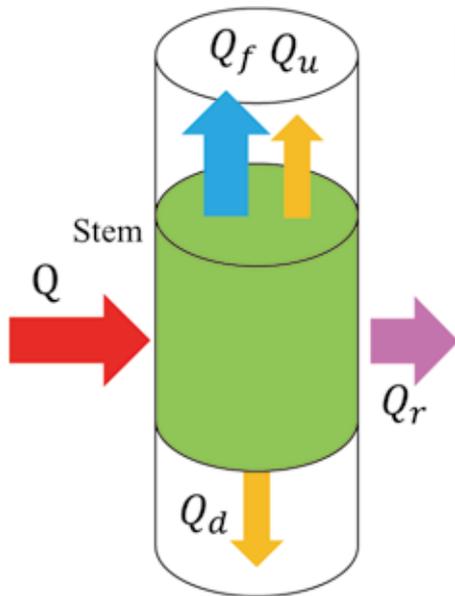


Fig.1 Principle of SHB method

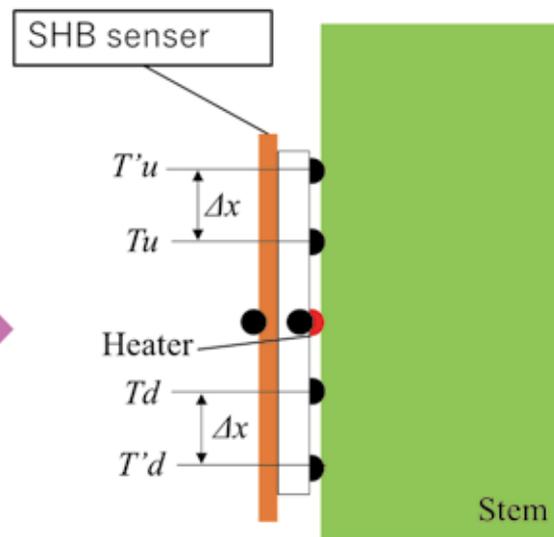


Fig. 2 Side-view of position of thermocouples and heaters

#### 3.1 実験概要

図3に本実験で使用した実験装置全体の概略図を示す。本実験の目的は茎中に流れる樹液流が茎表面温度に与える影響を調べることである。そのため茎表面温度を広範囲に計測することができる赤外線カメラおよび継続的に計測が可能である熱電対に着目した。本実験で使用した植物は土壌栽培で育成したレジナトマトである。レジナトマト

は外乱による影響を取りのぞくために小型実験室で実験を行う。小型実験室はメタルラックを基礎とし、風による植物への影響を防ぐために、ビニールシートでメタルラック全体を覆う。また、ビニールシートは外部からの光を遮断させるために内側に銀薄膜のアルミテープを張る。小型実験室における夜間および昼間の日照条件の変更はLEDを用いることで行う。LEDはAM 2時に消えAM 10時に付くように設定を行う。SHBセンサーによる流量の確か

さは植物の蒸散量と比較することで行う。植物の蒸散量は Web カメラで電子秤を 10 分ごとに撮影することで確認した。また、蒸散量計測の誤差となる鉢からの蒸発は、ビニールシートを鉢に被せることによって防ぐ。赤外線カメラ

を用いて植物の茎表面温度を計測した時および SHB センサーで計測した時の測定環境は同じである。

3.2 赤外線カメラを用いた茎表面温度測定

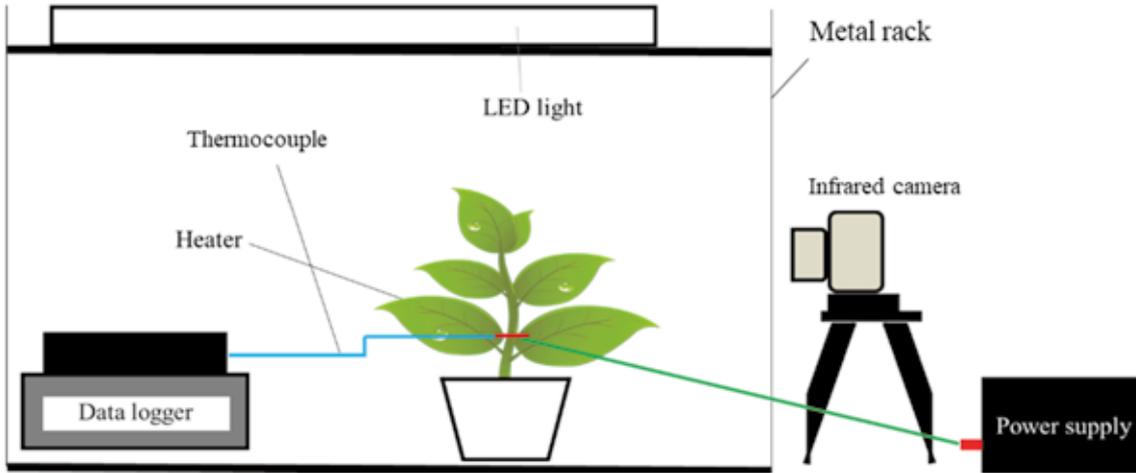


Fig.3 Structure of experimental environment

本実験は樹液流による茎表面温度への影響を調べるために赤外線カメラを用いて広範囲に計測を行う。熱源であるヒーターはレジントマトの茎外周を一巻きし加熱を行う。また、絶縁テープは茎およびヒーターの密着性を高めるためにヒーターの上部から巻き付ける。ヒーターは直径 0.5 mm のニクロム線を使用し、直流安定化電源より約 40°C になるように加熱を行う。この温度設定は植物を構成しているタンパク質の硬化を防ぐためである。茎表面温度はヒーターを巻き付けた茎に赤外線カメラでピントを調整し撮影することで行った。撮影時間は撮影開始を  $t = 0s$  としヒーターをつけてから  $t = 600s$  で終了とする。また、装着部の茎直径は 8 mm である。

SHB センサーに使用した熱電対は K 型熱電対のアルメル、クロメルを用いた。ヒーターは直径 0.5 mm のニクロム線を用い、直流安定化電源で約 40°C になるように加熱する。また、ヒーター温度はヒーター表面に熱電対を 1 点装着し、計測する。センサーの構成はコルクを基にし、茎との密着性を上げるためにスポンジを用いる。SHB センサーは茎およびスポンジの間に、空気の層ができないように密着させ巻き付ける。またセンサー寸法は図 4 に示した通りである。熱電対で計測した値はデータロガーに 10 分間隔で収録を行う。熱電対装着部の茎直径は赤外線カメラで計測した茎直径と同じ 8 mm を用いた。表 1 に樹液流算出時に使用したパラメータを示す。表 1 の A, dx, Q,  $\lambda$ , Cw および K は茎の横断面積 [m<sup>2</sup>], センサー上にある熱電対から熱電対の間隔 [m], ヒーターから茎に加えた熱量 [W], 茎の熱伝導率 [W/m·K], 比熱 [J/g·K] およびセンサー係数 [W/V] を示す。

3.3 SHB センサーを用いた茎表面温度測定

本実験は樹液流による茎表面温度への影響を調べるために長時間計測可能である熱電対を用いて実験を行う。また、熱電対により計測した茎表面温度を用いて樹液流を算

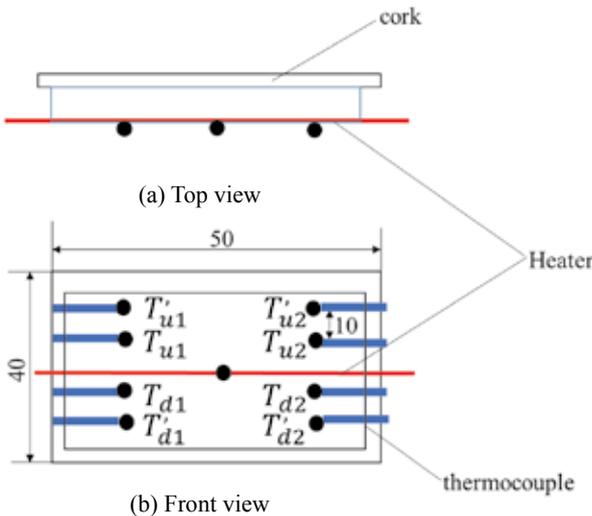


Table 1. Value of Parameters

Parameters	Value
A (m <sup>2</sup> )	0.00006317
dx (m)	0.01
Q (W)	0.858
$\lambda$ (W/m·K)	0.54
Cw (J/g·K)	4.186
K (W/V)	1.37

Fig.4 Structure of position of thermocouples and heaters

4. 結果および考察

4.1 赤外線カメラを用いた茎の温度分布

図5は明室における、茎全体の温度の時間変化を示している。図5は下部が根、上部が葉になっており、ヒーター加熱部をゼロ点とした位置を表す。図5の  $t = 0$  s はヒーターの加熱開始を示し、 $t = 10$  s において温度の上昇が確認できる。また、(d) までは上下対象に熱が伝わっているのがわかる。そのため時間の経過と共に温度が茎上部に伝わっていくのが確認できる。図(c) から (f) にかけてヒーター下部にも温度の変化がみられる。このことからヒーター熱は茎に伝導しているのがわかる。これらのことより、ヒーター上部と下部では温度の上昇幅が異なり樹液流による影響があると考えられる。

上述よりヒーターにより加熱された茎の温度上昇部は、加熱部の上下に広がり、一定時間経過後葉の方向へ広がることがわかった。さらに詳細な温度分布の時間経過を調べるために図6に茎の中心軸の温度履歴を示す。これは赤外線カメラで図5のように撮影した植物の温度を、図5(f)に

示す破線部分で600枚重ね合わせた図である。図6の縦軸および横軸はヒーター部をゼロ点とした茎上の距離および加熱開始からの時間経過を示している。図6より横軸  $t = 0$  s から  $t = 600$  s にかけてヒーター上部は一定に温度が上昇しているのに対し、ヒーター下部は温度が横ばいになっている。これは対流の効果によってヒーター上で温められた樹液流が上部に流れたためである。また、ヒーターより下部の温度が横ばいになるのは、ヒーターから茎への熱伝導が樹液流により押し上げられたためである。

明室においてヒーターにより加熱された温度は、樹液流による熱伝達の影響を受けることがわかった。次に光の明暗により樹液流が温度分布に与える影響を調べるために図7に明室および暗室の温度履歴を示す。横軸の  $t = 0$  s から  $t = 600$  s にかけて、図7(a)のヒーター下部では温度が横ばいであるのに対し図7(b)のヒーター下部では一定に温度が広がっていることがわかる。この理由として、暗室における樹液流は明室に比べて流れが減少したためである。ゆえに、対流による影響が少なく熱伝導が支配的となり温度幅が変化したと考えられる。

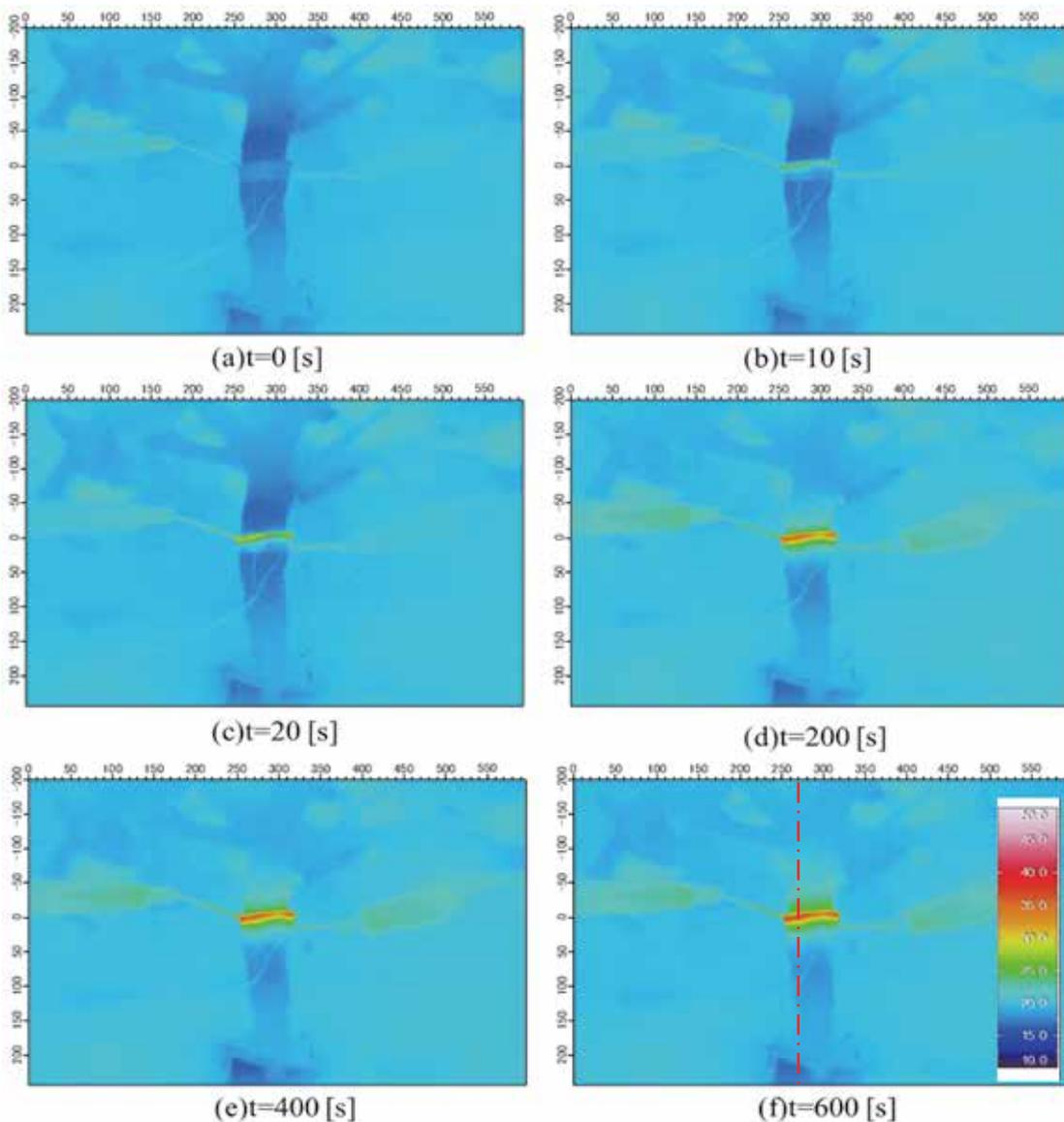


Fig.5 Temperature distribution of stem

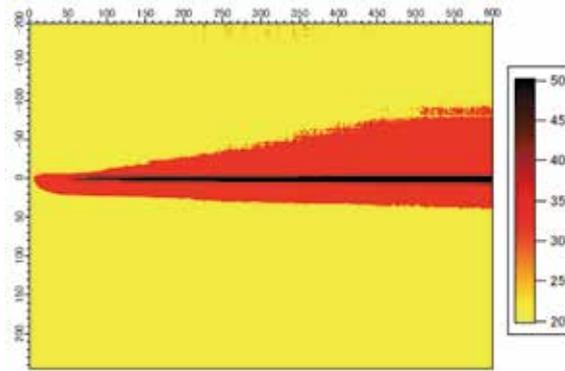
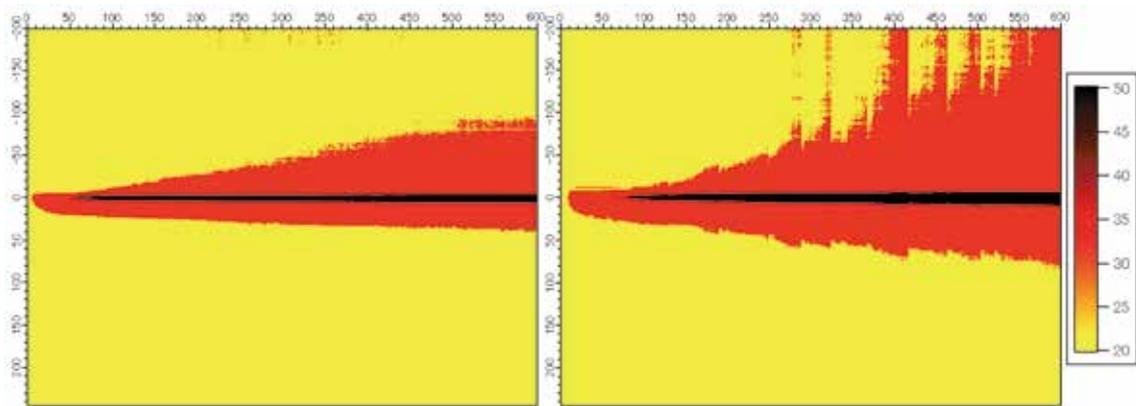


Fig.6 Time history of temperature distribution



(a) With light

(b) Without light

Fig.7 Comparison of temperature distribution by brightness

#### 4.2 熱電対による光の明暗が温度分布に与える影響

赤外線カメラでは短時間の計測しかできないため、1日の計測ができる熱電対およびデータロガーを用い茎線上の温度分布を確認する。図8は熱電対より得た時間変化に対する温度変化を表す。破線、一点鎖線、二点鎖線、点線および実線はそれぞれ  $Tu'$ 、 $Tu$ 、 $Td$ 、 $Td'$  およびヒーター部の温度を示す。時間  $t = 0$  s は加熱開始から十分に時間が経過した後とした。また暗室は 560 -1050min の間でありそれ以外は明室となる。明室および暗室において実線はヒーター加熱部を示すため温度が一番高温となる。次に高いのはヒーターに近い  $Tu$  である。また、センサー間距離が等しい  $Tu$  および  $Td$  の温度が等しくないのは樹液流が下から上に流れるためである。そのため明室および暗室において樹液流は流れていることが確認できた。

明室および暗室において樹液流は、茎表面の温度分布を確認することで流れていることがわかった。次に、図9は暗室および明室の茎表面の温度分布において何が支配的なかを明らかにするために、茎表面の温度分布を示す。黒色実線および赤色実線はそれぞれ明室および暗室の温度を示す。横軸および縦軸は茎表面の温度およびヒーターの位置をゼロとした距離を示す。暗室におけるヒーター下部に位置する  $Td$  および  $Td'$  の温度は明室の温度より高い値を示している。このことから暗室における  $Td$  および  $Td'$  の温度は明室に比べ熱伝達の影響が少なくヒーター下部へ熱が伝導し高温となる。ゆえに、暗室において対

流による影響は少なく熱伝導が支配的であると考えられる。以上より熱電対でも赤外線カメラと同様の現象が確認できた。

図10より樹液流は、明暗にかかわらずほぼ  $0.4\text{g}/10\text{min}$  で一定となった。これは、明暗の温度差がほとんどなかったためだと考えられる。また、蒸散流量は時間毎に大きなばらつきはあるものの、おおむね樹液流量と同じ値を示していることがわかる。このことから、本実験において作成したSHBセンサーによる樹液流量はおおむね確かであると考えられる。

#### 5. 結論

本研究では、茎熱収支法を用いたSHBセンサー開発のための基本的なデータとして茎の温度分布を赤外線カメラおよび熱電対を用いて測定した。赤外線カメラでは茎全体の温度分布を測定し、ヒーター加熱後の茎の温度変化を確認した。ヒーター加熱による温度上昇は、流れ方向に対して非対称になることが確認できた。これは樹液流の流れによって熱が葉の方向に運ばれたからだと考えられる。また、熱電対は、赤外線カメラでは観察できない長時間の温度変化を確認した。ここで得られた温度からも、樹液流による温度分布の変化が確認できた。熱電対から得られた熱の収支を解くことで樹液流量を算出した。算出した値が蒸散量とおおむね一致したことが確認できた。

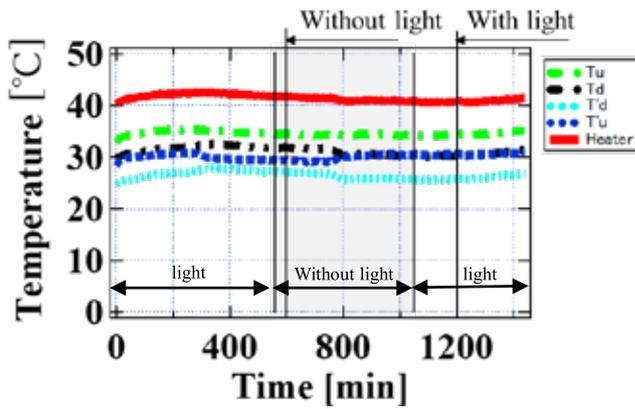


Fig.8 Relation between temperature and time

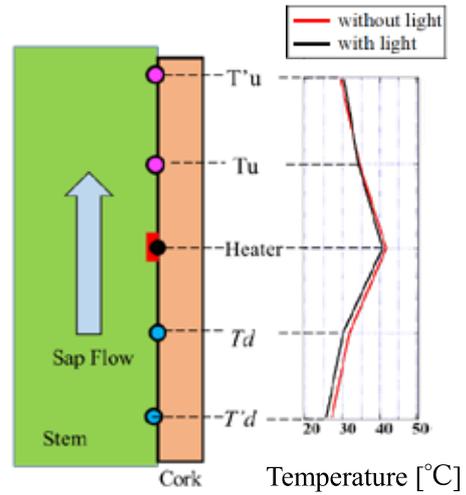


Fig.9 Temperature distribution on stem surface

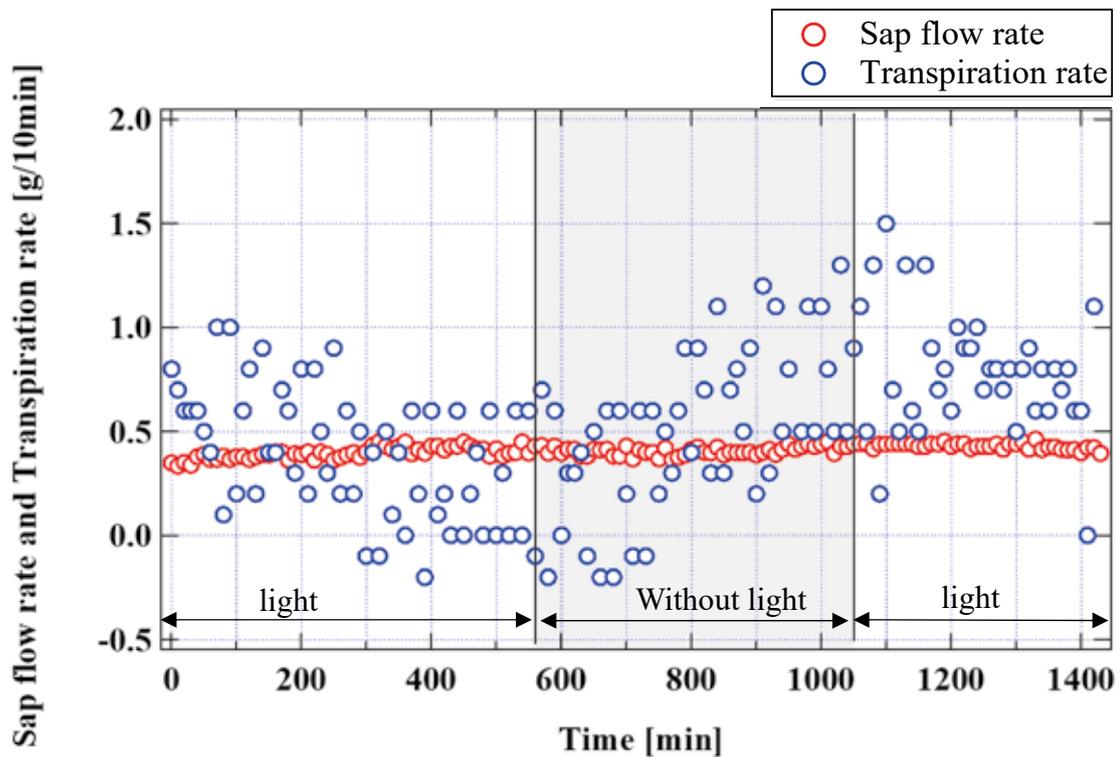


Fig.10 Time history of Sap flow rate and Transpiration rate

参考文献

- (1) 山下一仁, 農業を魅力ある就業先とするために, 日本労働研究雑誌, No.675, pp.1-3. (2016)
- (2) 書良芳夫, 白井清恒, 蒸発散量と気象諸因子との関係, 農業土木学会論文集 38, 7-12 (1971)
- (3) Y. Cohen, M. Fuchs and G.C. Green: Improvement of the heat-pulse method for determining sap flow in trees, Plant Cell Environ, 4, 391/397 (1981)
- (4) A. Granier: Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans letronc des arbres, Annales des Sciences Forestieres, 42, 193/200 (1985)
- (5) T. Sakuratani: A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants, J. Agric. Meteorol., 37, 9/17 (1981)
- (6) T. Sakuratani: Apparent thermal conductivity of rice stems in relation to transpiration stream. Jpn. J. Agric. Meteorol., 34(4), 177-187 (1979)

## 作業用モノレールの分岐器に関する安全性について — PLC 制御装置を用いた検討 —

星田貢輝<sup>\*</sup>, 松本尚樹<sup>\*</sup>, 中西晴紀<sup>\*</sup>, 近藤将好<sup>\*</sup>, 井口望<sup>\*\*</sup>, 室巻孝郎<sup>\*\*\*</sup>, 須田敦

### Study on Safety of Work Monorail Turnouts and Crossings - Proposal Using PLC Controller -

Mitsuki HOSHIDA<sup>\*</sup>, Naoki MATSUMOTO<sup>\*</sup>, Haruki NAKANISHI<sup>\*</sup>, Masayoshi KONDO<sup>\*</sup>,  
Nozomi IGUCHI<sup>\*\*</sup>, Takao MUROMAKI<sup>\*\*\*</sup>, Atsushi SUDA

<sup>\*</sup>: 機械工学科 2 年, <sup>\*\*</sup>: シャープ株式会社 (元舞鶴高専学生), <sup>\*\*\*</sup>: 舞鶴高専機械工学科

本校機械工学科科内広報担当教員が主導する正課外活動組織 MeCafe (Mechanical + Cafe の造語, メカフェ) を活動母体として, オムロン株式会社と独立行政法人国立高等専門学校機構の共同教育プロジェクト「第 4 回 PLC 制御コンテスト～身近な“困った”を自動制御で解決～」に出展するための装置を開発した。林業に用いる作業用モノレールの分岐器に着目し模型にて再現し, PLC やセンサなどを組み合わせて安全性を確認した。簡単な構成ではあるが従来の分岐器と比べ安全性が向上していることを評価され, コンテストでは 4 位の成績を取めた。なお, 本取組は舞鶴高専と共同で進め, 打合せや検討会は Skype や Slack などの web サービスを活用し実施した。

#### 1. はじめに

日本国内のプログラマブルロジックコントローラ (PLC) メーカーにおける PLC 年間出荷台数は約数百万台であり, 多くの生産現場で使われている<sup>(1)</sup>。このため, 産業界からは PLC を含めた制御機器の技術を持った人材が必要とされている。近年では, 海外に進出する製造業が多いことから, 海外製の制御機器を使うことも多くなり, 国際標準化された制御機器を扱える人材育成が急務である。

このような状況下において, 高専における生産システム制御に関する技術教育を充実させることは, 高専の今後の発展のために必須であると考えられる。本稿では, このような産業界のニーズに応えるべく高専の学生の制御技術教育に関するスキルアップを目指したコンテストに参加したので報告する。コンテストは PLC を中心とした生産技術の習得を目指すものである。

#### 2. 作業用モノレールとは

作業用モノレールは木材などを運ぶ軌道系交通機関である。図 1 に示しているのが作業用モノレールである。行動目的が旅客用モノレールと違うため, 見た目も旅客用と

は大きく異なる。



図 1 作業用モノレール

図 2 は一般的な電車の分岐器の模式図で, 図 3 は現在の作業用モノレールの分岐器の模式図である。電車の分岐器は 1 本のレールが動くのに対して, 作業用モノレールは分岐点自体が動く仕組みになっている。

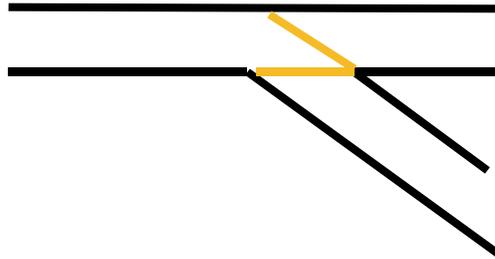


図2 電車分岐器の模式図

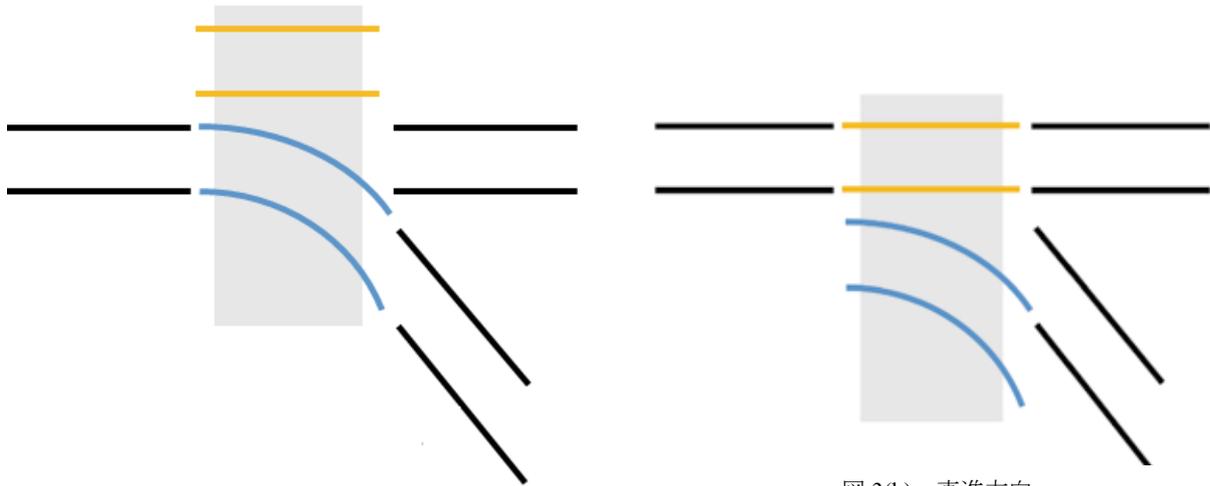


図3(a) 斜め方向

図3(b) 直進方向

図3 モノレール分岐器の模式図

### 3. 問題点

作業用モノレールによる資材運搬時に発生する問題点は、大別すると2点ある。1点目は分岐点を人力で動かしている点で、2点目は作業用モノレールがレール上で行きと帰りの方向転換不可能な点である。

1点目の問題点、分岐点を人力で動かしている点について説明する。実際の作業用モノレールの分岐点を図4に示す。分岐点の動作は、1：車両が分岐点に差し掛かり運転手が一度車両から降りる、2：運転手自ら分岐点を動かす、3：運転手が車両に乗り再び走行する、という流れである。そのため、図5のように分岐点のずれや分岐点変更の忘れによりモノレールが脱線するといった事故が発生している。

2点目の問題点、方向転換不可能な点について説明する。作業用モノレールは旅客用モノレールと同じく、レール上で行きと帰りの方向転換が不可能である。そのため、作業用モノレールは後進の際、図6で示すように後ろに荷物や資材などを積んでいるため後方の視界が遮られ、運転手は安全に後方を確認することが困難であるのが現状である。

### 4. 解決方法

PLC（プログラマブルロジックコントローラ、Programmable Logic Controller）やセンサを用いて、以下3種類の解決方法を提案する。



図4 実際の分岐点

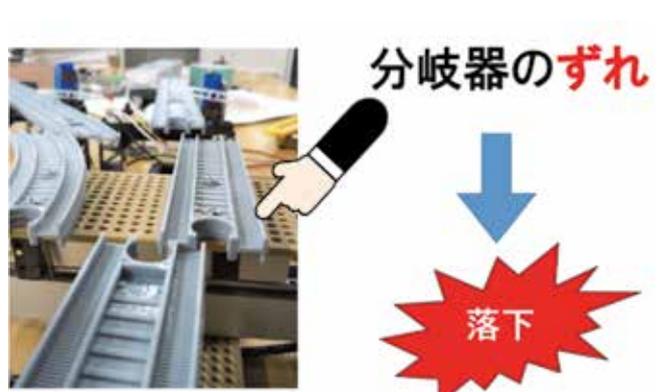


図5 分岐点のずれイメージ



図6 実際の後方確認

4.1 分岐器の制御

運転手がボタンで車両が進む方向を選択することで分岐点が自動で移動するようにする。図7のように分岐点の側面にマイクロスイッチ、図8のように下部に突起物を設置し、運転手の操作により分岐点がモータによって移動し、突起物によってマイクロスイッチが押され分岐器が停止する仕組みである。運転手の操作は分岐点近くに設置するボタン制御器によって行う。

4.2 遮断機の設置

図9のように遮断機を設置することによりモノレールの落下防止を狙う。遮断機設置は視覚的にも訴えることを狙いとしている。仕組みは分岐点が移動しマイクロスイッチが押されることにより遮断機のモータが作動する。その後、遮断機が上がることによりモノレールが通ることが可能になり、レールの奥側に設置している光電センサの光を車両が遮ることでモータが再度作動し、遮断機が下がる仕組みとなっている。

4.3 信号機の設置

図10のように信号を設置することにより電車の踏切のような役割を果たす。主な役割は、分岐点が正常な位置にあるか否かの確認であり、基本的な動きは遮断機が完全に上がったときは青色、それ以外の場合は赤色に光るようになっている。

次に信号が変わる仕組みを説明する。遮断機が上がってきた時、モータ上部に設置しているマイクロスイッチが押されそれによりモータが止まり、信号が青色に変わる。赤色に変わる場合は、モータが逆転し遮断機がマイクロスイッチから離れることで切り替わる。

4.4 PLC ラダー図

上記の動きを実現するためのラダー図 (PLC のプログラム) を図11に、PLC への信号の入出力を示す IO マップを図12に示す。

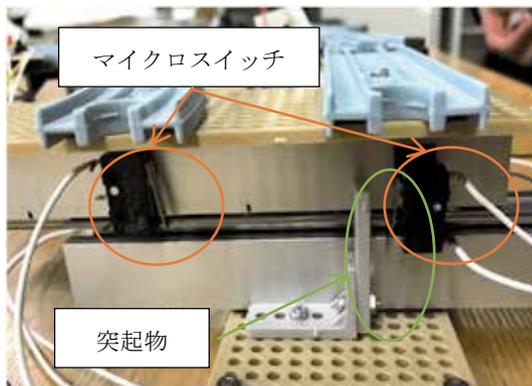


図7 マイクロスイッチおよび突起物設置場所

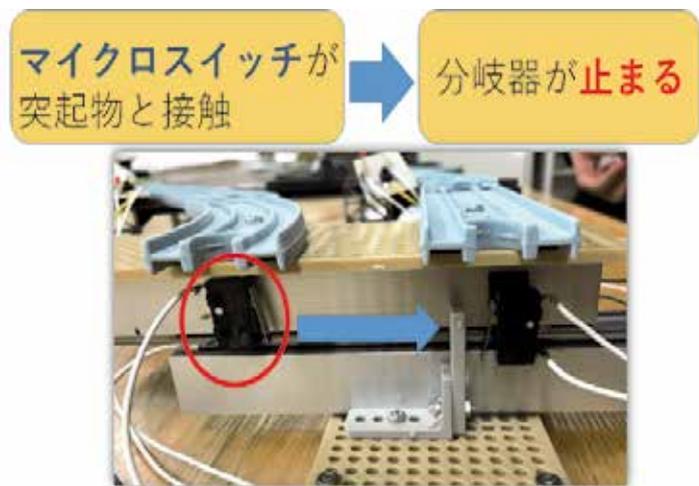


図8 分岐点動作のイメージ

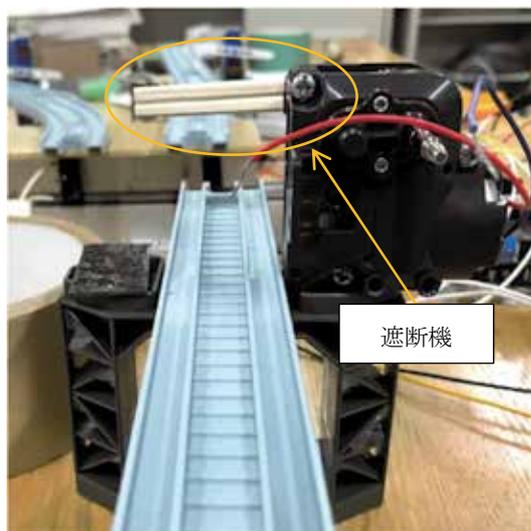


図 9 遮断機設置場所

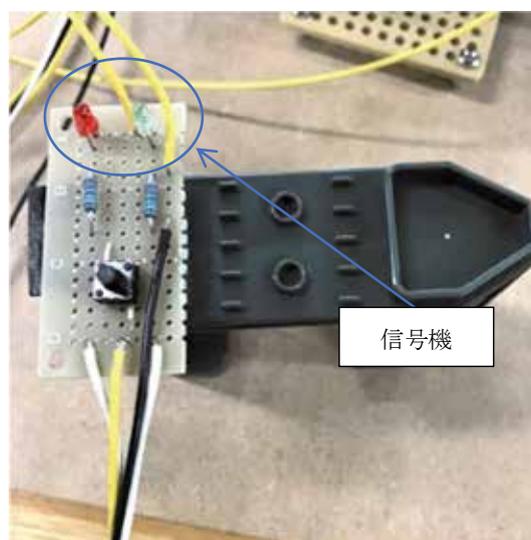


図 10 信号機

## 5 おわりに

コンテストの成果発表会は、2018年12月26日にオムロン株式会社東京事業所において実施された。簡単な構成ではあるが従来の分岐器と比べ安全性が向上していることを評価され、コンテストでは4位の成績を収めた。また、本取組は舞鶴高専と共同で進め、打合せや検討会を Skype や Slack などの web サービスを活用したことも注目を集めた。

現段階で生じている問題点としては、光電センサの対象物による問題点である。解決案のモデルとして製作した分岐点の光電センサは、遮った物体の区別が不可能である。そのため、産業用モノレールが主に使用される森林で災害が発生した場合、倒木などが光電センサを遮るといった誤りが生じ、遮断機が下りた状態が続くといった問題が発生する。今後の課題としては、このような問題点を踏まえて解決案を模索していく必要がある。

## 参考文献

- (1) 平成30年度 PLC 制御コンテスト募集要項, 国立高等専門学校機構・共同教育プロジェクト事務局.

## 謝辞

本取り組みは、株式会社内田産業との共同研究成果の一部です。また、本校機械工学科科内広報担当教員が主導する正課外活動組織 MeCafe の援助を受けたものです。

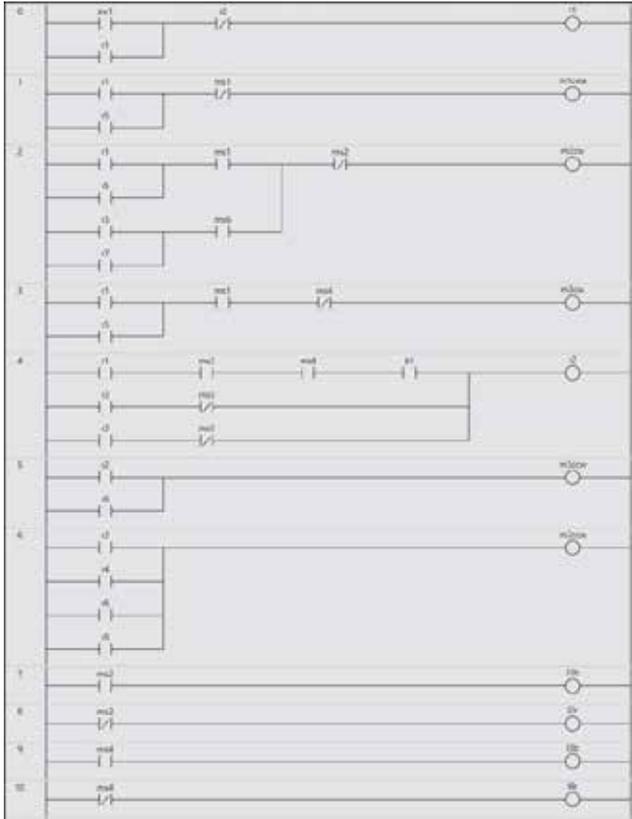


図 11(a) 前半部分

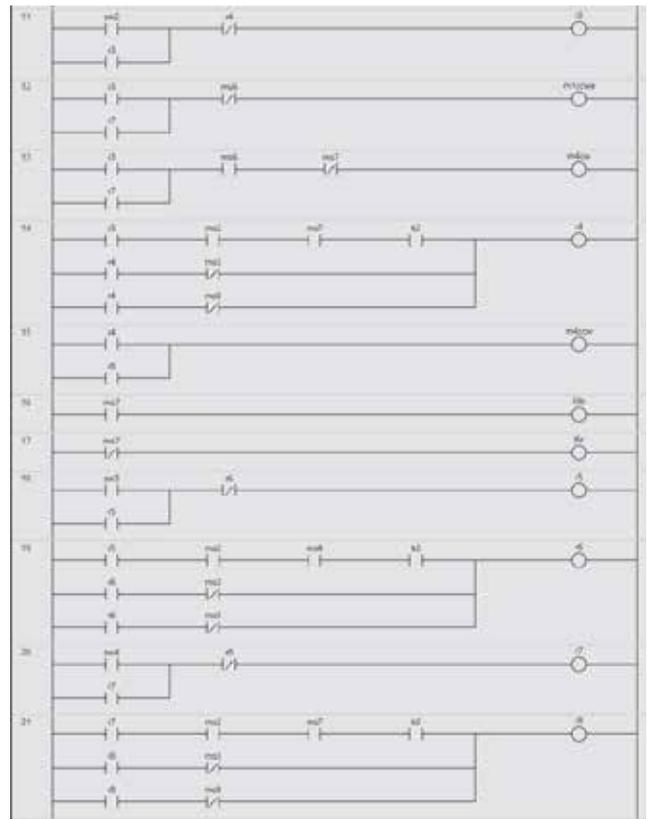


図 11(b) 後半部分

図 11 制御用ラダー図

位置	ポート	説明	R/W	データ型	変数	変数コメント	変数種別
	EtherCATネットワークコンフィギュレーション						
	CPU: 増設ラック						
Built-in	内蔵I/O設定						
	Input Bit 00	入力接点00	R	BOOL			
	Input Bit 01	入力接点01	R	BOOL	sw1		Program0 内部変数
	Input Bit 02	入力接点02	R	BOOL	sw2		Program0 内部変数
	Input Bit 03	入力接点03	R	BOOL	sw3		Program0 内部変数
	Input Bit 04	入力接点04	R	BOOL	sw4		Program0 内部変数
	Input Bit 05	入力接点05	R	BOOL	ms1		Program0 内部変数
	Input Bit 06	入力接点06	R	BOOL	ms2		Program0 内部変数
	Input Bit 07	入力接点07	R	BOOL	ms3		Program0 内部変数
	Input Bit 08	入力接点08	R	BOOL	ms4		Program0 内部変数
	Input Bit 09	入力接点09	R	BOOL	ms5		Program0 内部変数
	Input Bit 10	入力接点10	R	BOOL	ms6		Program0 内部変数
	Input Bit 11	入力接点11	R	BOOL	ms7		Program0 内部変数
	Input Bit 12	入力接点12	R	BOOL	ms8		Program0 内部変数
	Input Bit 13	入力接点13	R	BOOL	k1		Program0 内部変数
	Input Bit 14	入力接点14	R	BOOL	k2		Program0 内部変数
	Input Bit 15	入力接点15	R	BOOL	k3		Program0 内部変数
	Input Bit 16	入力接点16	R	BOOL			
	Input Bit 17	入力接点17	R	BOOL			
	Input Bit 18	入力接点18	R	BOOL			
	Input Bit 19	入力接点19	R	BOOL			
	Input Bit 20	入力接点20	R	BOOL			
	Input Bit 21	入力接点21	R	BOOL			
	Input Bit 22	入力接点22	R	BOOL			
	Input Bit 23	入力接点23	R	BOOL			
	Output Bit 00	出力接点00	RW	BOOL	11b		Program0 内部変数
	Output Bit 01	出力接点01	RW	BOOL	m1cwa		Program0 内部変数
	Output Bit 02	出力接点02	RW	BOOL	m1ccwa		Program0 内部変数
	Output Bit 03	出力接点03	RW	BOOL			
	Output Bit 04	出力接点04	RW	BOOL	m2ccw		Program0 内部変数
	Output Bit 05	出力接点05	RW	BOOL	m3cw		Program0 内部変数
	Output Bit 06	出力接点06	RW	BOOL	m3ccw		Program0 内部変数
	Output Bit 07	出力接点07	RW	BOOL	m4cw		Program0 内部変数
	Output Bit 08	出力接点08	RW	BOOL	m4ccw		Program0 内部変数
	Output Bit 09	出力接点09	RW	BOOL			
	Output Bit 10	出力接点10	RW	BOOL	12r		Program0 内部変数
	Output Bit 11	出力接点11	RW	BOOL	13b		Program0 内部変数
	Output Bit 12	出力接点12	RW	BOOL	14r		Program0 内部変数
	Output Bit 13	出力接点13	RW	BOOL	15b		Program0 内部変数
	Output Bit 14	出力接点14	RW	BOOL	16r		Program0 内部変数
	Output Bit 15	出力接点15	RW	BOOL	m2cw		Program0 内部変数

図 12 IO マップ

## ポリマー水溶液の冷却特性に関する研究

島岡 三義 中村 篤人 池田 修啓\*

## A Study for Cooling Characteristics of Polymer Aqueous Solutions

Mitsuyoshi SHIMAOKA, Shigeto NAKAMURA and Nobuhiro IKEDA

In order to find the optimum immersion conditions for evaluating the cooling characteristics of the polymer aqueous solutions, the relationship between the posture of support arm and the minimum heat flux point temperature(MHF point temperature) in film boiling has been investigated. The quenching experiments have been performed at the conditions of the temperature of quenchant is 30°C, of the tangential velocity of Pt probe is 15mm/s and of the initial temperature of Pt probe is 850°C. The MHF point temperature of aqueous solutions with high cooling performance tended to increase. In addition, the variation of the MHF point temperature reduced depending on the arm stop angle. The vapor film was instantaneously collapsed in the interstitial solid-liquid contact mode, but in ZN-04 and NH aqueous solutions with low coolability, the peeling collapse pattern of the vapor film was also observed using a high speed video camera.

## 1. はじめに

金属材料を焼入れによって必要な硬さを得ようとする場合、金属材料をマルテンサイト変態させる必要があり、焼入れ用冷却剤がマルテンサイト変態を実現できる冷却性能を有するかを評価しておく必要がある。冷却性能として注目すべき事項は、金属材料のマルテンサイト変態開始温度上下と終了温度上下での冷却性能である。冷却性能を評価するには、高温に加熱した金属試験体（球体、円柱体）を冷却剤中に浸漬して試験体の温度低下を調べる方法が採用される。高温試験体の保有熱量は冷却剤に伝達され、試験体近傍の冷却剤は沸騰して試験体は蒸気膜で覆われる。試験体の温度は時間とともに低下していき、冷却剤への供給熱量も低下するので、蒸気膜の形成、維持が困難になっていく。蒸気層は気相なので熱伝達性能は試験体が液体と直接接触する場合よりは低くなるので、蒸気膜が崩壊して試験体が冷却剤と直接接触するようになると冷却速度は飛躍的に増大することになる。金属材料の焼入れにおいては、硬化を開始するマルテンサイト変態開始温度までは急速冷却する必要はなく、変態開始温度直上から冷却

が進んで短時間にマルテンサイト変態が完了するようになる必要がある。したがって、冷却剤の冷却性能として特に重要なのは、金属試験体が蒸気膜で覆われている膜沸騰段階での冷却速度と蒸気膜が崩壊して冷却が促進されるようになる急冷開始温度（膜沸騰段階での熱流束が最小になる温度）並びに急冷開始後の冷却速度である。

本研究では、冷却剤の冷却性能を評価、試験するために開発された試験装置<sup>(1), (2)</sup>を使用して、各種ポリマー水溶液の冷却特性、特に、膜沸騰極小（膜沸騰段階での熱流束の最小値が試験体の全冷却過程において最小にはならないという意味での極小）熱流束点温度（Minimum Heat Flux Point Temperature : MHF 点温度）を調べる。この試験装置の試験体は白金球であるが、球体を支持するための棒が存在し、この細い支持棒の温度が白金球より先に低下していくので、この支持棒と白金球の接続部において蒸気膜が先行的に崩壊していくと考えられる。使用する試験装置では支持棒を水平状態から水平軸まわりに回転させて白金球を冷却剤に浸漬急冷するので、支持棒の姿勢（鉛直軸となす角度）がMHF点温度におよぼす影響を明らかにすることを研究目的とし、蒸気膜崩壊様相についても報告する。

※本研究の一部は日本機械学会 2019 年度年次大会（秋田大学）において講演（2019 年 9 月 11 日）した。

† 大同化学工業（株）奈良生産技術事業所技術研究所

## 2. 実験装置および実験方法

純度 99.95wt% の白金 (Pt) 小球プローブ (直径  $d=4$  mm) と支持棒体の構造を Fig.1(a) に、Pt 小球と熱電対保護管のレーザー溶接部を同図 (c) に示す。Pt 小球に直径が 0.5 mm の貫通穴をあけ、Pt 小球の保持と温度測定用 K 型シース熱電対を保護するための Pt 管 (外径 0.5 mm, 内径 0.3 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。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。Pt 小球径が小さいためと温度応答性を高めるために、Fig. 1(b) に示すような素線径が 0.08 mm, シース外径が 0.25 mm の K 型熱電対を採用した。シース部だけでは Pt 小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。

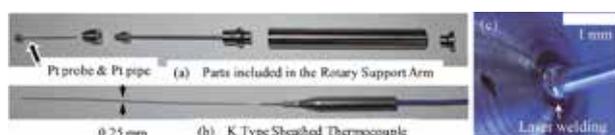


Fig.1 Structure of small platinum ball probe and support part(a), laser welding of platinum ball and protective tube.

アームの回転が揺動振動すると Pt 小球周りの蒸気膜厚さが変動し、あるいは一時的に蒸気塊として離脱して、沸騰曲線上に膜沸騰極小熱流束点が明瞭に現れないことがあり<sup>(3),(4)</sup>、Fig.2 に示すように、アーム回転用モーターの回転角度分解能が 1920000ppr の Direct Drive モーターを採用した。この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することで、高速度ビデオカメラは回転移動する Pt 小球プローブを常に観察し続けられる。

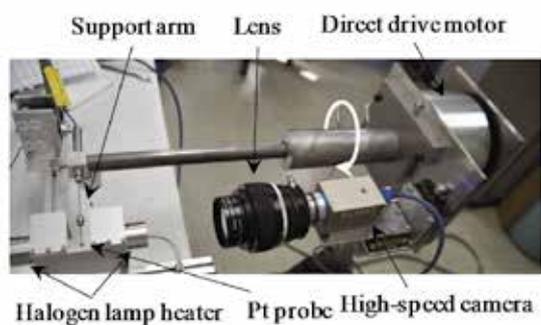


Fig.2 High-speed video camera system to capture platinum small ball probe while tracking.

実験装置の概略を Fig.3 に示す。対向設置したハロゲンランプヒーターの焦点に Pt 小球プローブを設置して加熱し、 $870^{\circ}\text{C}$  に達した後に Pt 小球が冷却液体表面上 1 mm の位置まではプローブ中心の回転周速度 (以後、「接線速度」と記す) を  $V_0=140\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  で回転させ、 $850^{\circ}\text{C}$  に低下した段階で  $V=15\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  の接線速度で冷却液体 (640cc, 30 (29~34)  $^{\circ}\text{C}$ ) 中に浸漬、急冷した。アームは最大で  $\vartheta=120^{\circ}$  まで回転させた。Pt 小球プローブ中心温度と表面温度には

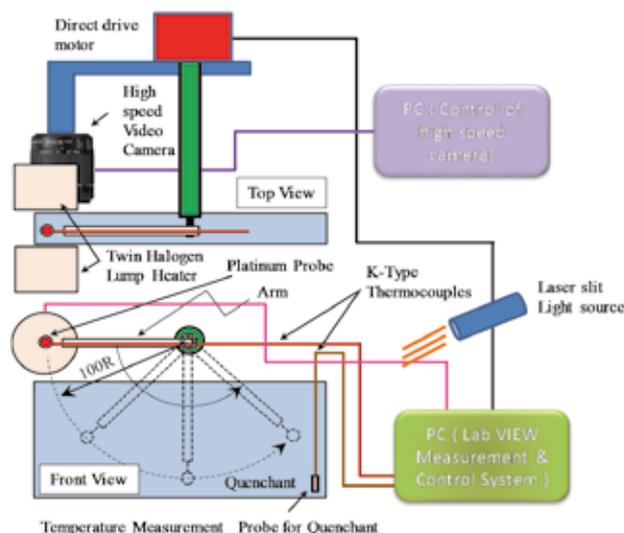


Fig.3 Outline of experimental apparatus.

無視しがたい温度差が生じると考えられるが、本研究では膜沸騰段階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。これらの計算においては、Pt 小球プローブの密度と定圧比熱に温度依存性を持たせた<sup>(3)</sup>。

冷却液体には Table1 に示す、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) を用い、ポリマー水溶液の濃度は蒸留水で希釈していずれも 20 vol.% とした。また、高速度ビデオ撮影においてはフレームレートを、 $FR=500\text{fps}$ 、シャッター開放時間を 1ms とした。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 ポリマー水溶液の冷却性能

Pt 小球プローブの接線速度を  $V=15\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  としてアームを水平位置から  $120^{\circ}$  回転させた時の、それぞれの水溶液の冷却曲線を Fig.4 に示す。膜沸騰段階での冷却速度が速いほど急冷開始温度 (MHF 点温度に相当) が高くなる傾向が見られる。なお、膜沸騰段階での冷却速度がほとんど同じ (冷却曲線がほぼ重なる) であっても MHF 点温度が数十  $^{\circ}\text{C}$  の範囲でばらついている。同一条件で 5 回浸漬・急冷実験を行っているが、実験の順番と MHF 点温度の変化の傾向はどの水溶液でも一致していない。水溶液によって平均的な冷却速度や MHF 点温度に違いが出ているが、Table1 の物性との因果関係は見出せない。Pt 小球プローブの直径が 4 mm と小さいので、球表面の局所熱伝達率の分布が浸漬実験のたびに微妙に変化して MHF 点温度のばらつきをもたらしているのかもしれない。また、すべての水溶液がアームの回転角が  $90^{\circ}$  (アームが垂直) に達する以前に蒸気膜が崩壊しているため、蒸気膜が崩壊する前にアームの回転を止めた場合に MHF 点温度のばらつきが小さくなれば、冷却剤の冷却特性を評価するためのより良い浸漬実験条件になると考えられる。

Table 1 Properties and characteristics of high polymer (soluble quench).

Product name	TY-330A	S811M	NT-3	ZN-04	NH
Main component	High polymer Rust inhibitor Copper corrosion inhibitor Preservative Antifoaming agent	High polymer Rust inhibitor Copper corrosion inhibitor Preservative Antifoaming agent Demulsifier	High polymer Rust inhibitor Copper corrosion inhibitor Preservative Antifoaming agent	High polymer Rust inhibitor Copper corrosion inhibitor	High polymer Copper corrosion inhibitor Preservative Antiflaming agent
appearance	Light yellow Transparent	Light yellow Transparent	Blue green Transparent	Light yellow Transparent	Blue Transparent
Density $g \cdot cm^{-3}$ at 15°C	1.04	1.08	1.07	1.14	1.02
Kinematic viscosity $mm^2 \cdot s^{-1}$ at 40°C	87	140	140	110	1100
pH	9.4	9.6	9.5	12.5	7.0

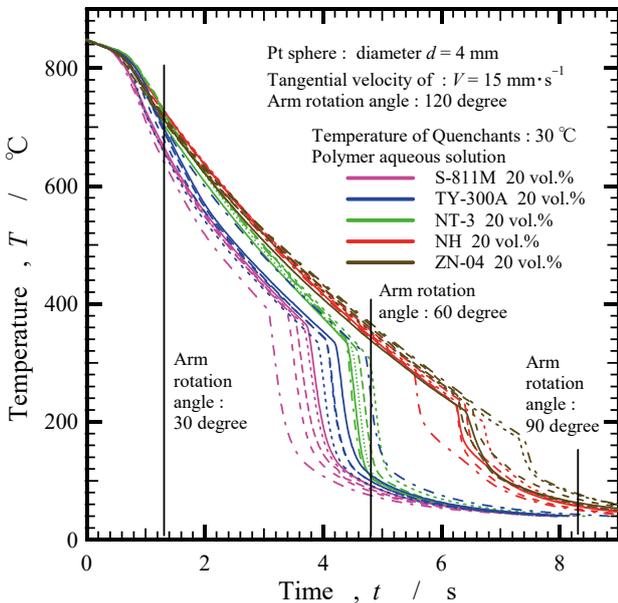
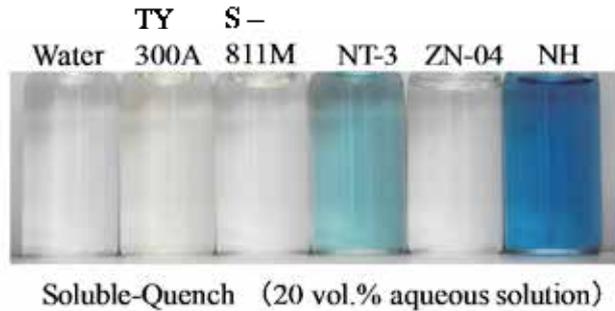
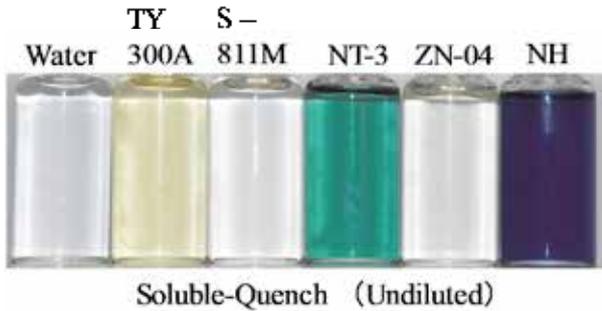


Fig.4 Cooling curves of polymer aqueous solution.

### 3.2 MHF 点温度におよぼす白金球支持棒の姿勢の影響 (1) ZN - 04 水溶液の場合

Pt 球支持棒 (アーム) を 90° で停止させても蒸気膜が形成されていれば, Pt 球まわりの蒸気膜形成とその崩壊様相はアーム軸対称になると考えられる.  $V=15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$  では 90° 以前にすべての水溶液で蒸気膜が崩壊してしまっているので, それぞれの水溶液で蒸気膜が崩壊する前にアームの回転を停止させてみた. Fig.5 に最も冷却能力が低い ZN

-04 水溶液のアーム停止角度と MHF 点温度の関係を示す. 蒸気膜が崩壊する前にアームを停止させても MHF 点温度がばらつくことは避けられないようである. しかし, アーム停止角度が 70° まではアームの停止角度を増大させると MHF 点温度のばらつきが小さくなり, 平均的な値が低下する傾向が認められた. Pt 小球が冷却液体表面上 1 mm の位置はアーム回転角度としては 18.7° に相当し, アー

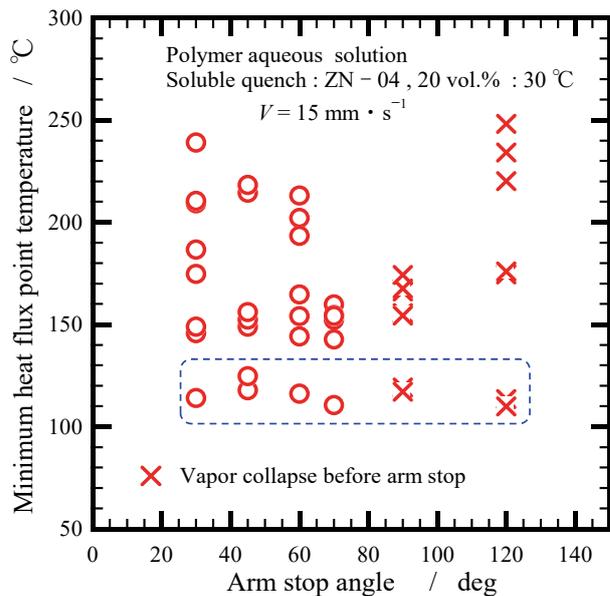


Fig.5 The relation between the minimum heat flux point temperature and the arm stop angle in the polymer ZN-04 aqueous solution.

ム回転角度が  $30^\circ$  では Pt 球の中心は液面下約 15 mm の位置になる。Pt 球径が 4 mm なので Pt 球の一部が液面上に出ていることはなく、この程度の深さになると低温側の支持棒から高温側の Pt 球まわりの蒸気膜に冷却液体が侵入していく固液接触モードになることが西尾・上村によって指摘されており<sup>(4)</sup>、固液接触モードにより支持棒取り付け部での蒸気膜が先行崩壊しているものと考えられる。アーム停止角度が大きい（支持棒がより垂直になる）ほど MHF 点温度のばらつきが小さいということは、蒸気膜の形成や Pt 球から支持棒への熱流がより安定していることを意味する。

これまでの実験では Fig.6 に示すように、支持棒と Pt 球の接続部付近を起点として、しかも破裂的にごく短時間で蒸気膜が崩壊していた。支持棒での蒸気膜の崩壊と再形成が断続的に起こっている最中に、温度が低い支持棒側から Pt 球を覆う蒸気膜内に液が進入して蒸気膜を崩壊させていると考えられ、こういった動力学的な挙動のために崩壊時の温度にバラツキが生じているものと考えられる。また、Fig.6 は Pt 球が右方に移動途中の場合であるが、中央の写真の黄枠と緑枠を見比べれば黄枠内では蒸気膜が形成されているが、緑枠内では蒸気膜の崩壊が始まっている。高速度ビデオ観察によって、支持棒と Pt 球の接続部が崩壊の起点ではない状況が初めて観察された。

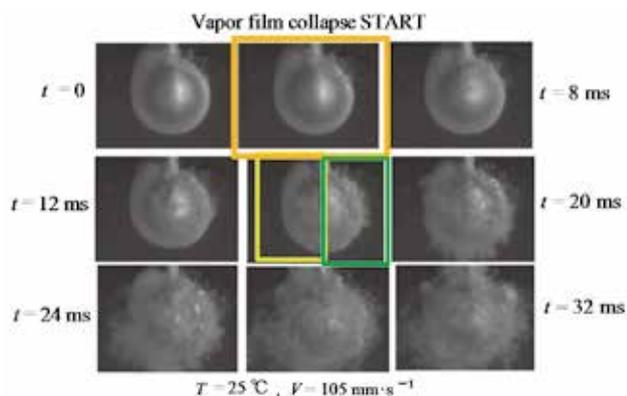


Fig.6 Vapor film collapse pattern during quenching into the polymer TY-300A aqueous solution.

なお、図中の  $t$  は最初の画像を基点とする経過時間を示す。蒸気膜の崩壊様相を示す以下の図においても同様である。

ところで Fig.5 を精査すると、破線で囲った部分はアーム停止角度に関係なく、MHF 点温度が  $110 \sim 130^\circ\text{C}$  の範囲である。

このことは支持棒と Pt 球の接続部が蒸気膜の崩壊起点ではないこと想起させる。Fig.7 はアーム停止角度が  $60^\circ$  の場合であるが、支持棒と Pt 球の接続部の反対側を起点として蒸気膜が崩壊する場合は観察された。蒸気膜が Pt 球面をすべるようにはがれるように崩壊しており、決して破裂的な崩壊ではない。

アーム停止角が  $90^\circ$  以上ではアーム停止前に蒸気膜が崩壊しているが、どの停止角度においても支持棒側での蒸気膜の崩壊と再形成が小康状態に至ってから Pt 球まわりの蒸気膜が崩壊しているため、 $110 \sim 130^\circ\text{C}$  は Pt 球 - NH

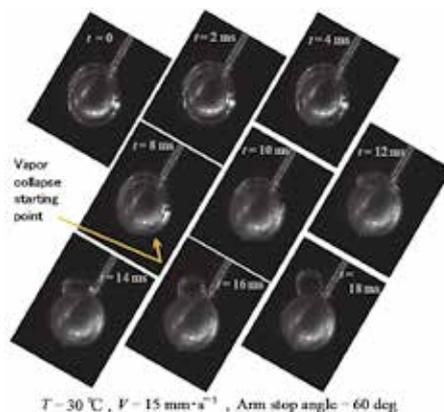


Fig.7 The vapor film collapse pattern during quenching into the polymer ZN-04 aqueous solution.

- 04 水溶液系での蒸気膜形成の最低温度を示すと考えられる。なお、蒸気膜の崩壊起点はアーム停止角度によって大きく異なっていないが、Fig.8 に示すように、浮力の

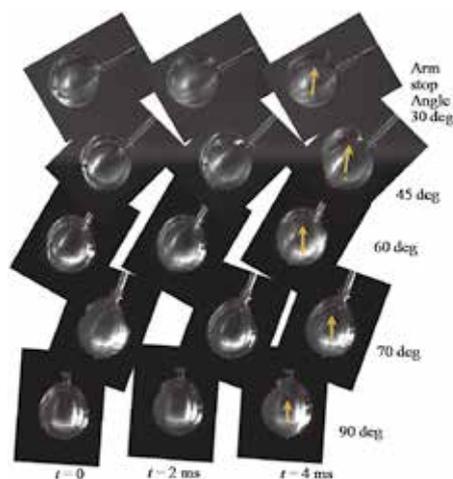


Fig.8 The vapor film collapse pattern when the MHF point temperature of the polymer ZN-04 aqueous solution is about  $120^\circ\text{C}$ .

影響を受けて蒸気塊が重力方向に収れんしていた。ただし、アーム停止角が  $90^\circ$  では蒸気塊が支持棒に付着するというのではなく、本実験では Pt 球の進行方向側に収れんしており、アーム停止角が  $120^\circ$  では  $70^\circ$  と同様の方向に収れんしていた。また、Fig.7 や Fig.8 に見られるような蒸気塊はすぐには凝縮せずに Pt 球に付着していて、ある程度の時間が経過すると離脱した。このことから、Pt 球が水溶液突入の際に非凝縮性ガス（空気）を巻き込んでいたものと考えられる。

## (2) NH 水溶液の場合

Fig.9 に ZN - 04 水溶液より冷却能が高い NH 水溶液のアーム停止角度と MHF 点温度の関係を示す。この水溶液も ZN - 04 と同様に破裂的に蒸気膜が崩壊する時があれば、Fig.10 に示すように、蒸気膜が Pt 球面をすべるようにしてはがれる崩壊パターンがあった。このような崩壊パターンでは MHF 点温度は低めであり、アーム停止角が  $45^\circ$  と  $60^\circ$  のように、蒸気膜の崩壊にわずかに破裂性が認められるような場合は MHF 点温度が高くなっていた。蒸気膜が剥がれていく方向は重力方向上方であり、蒸気膜

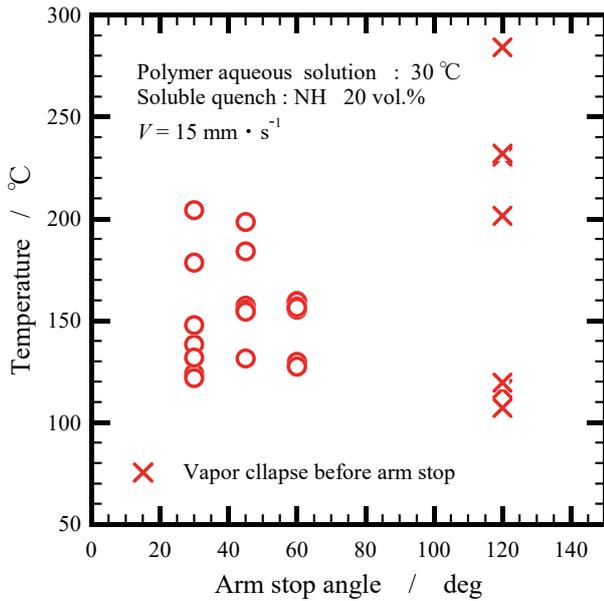


Fig.9 The relation between the minimum heat flux point temperature and the arm stop angle in the polymer NH aqueous solution.

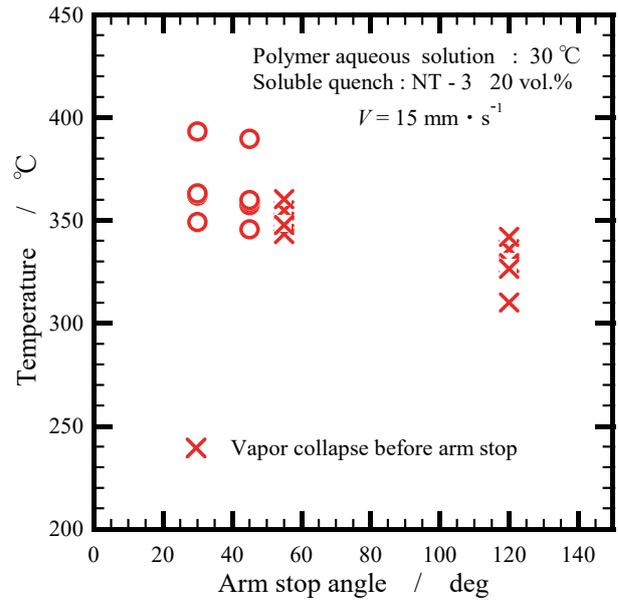


Fig.11 The relation between the minimum heat flux point temperature and the arm stop angle in the polymer NT - 3 aqueous solution.

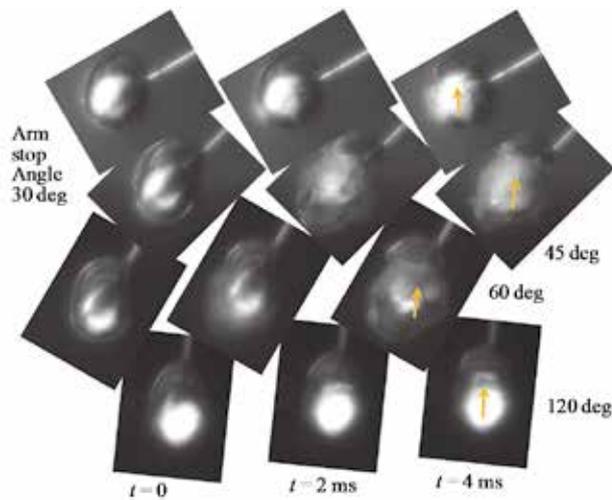


Fig.10 The vapor film collapse pattern when the MHF point temperature of the polymer NH aqueous solution is about 120°C .

の崩壊起点が支持棒と Pt 球の接続部ではないことが明白であり、このような崩壊の発生の頻度も高いので単なる偶然とは考えられない。しかしながら、Pt 球面をすべるようにしてはがれることの原因は良くわかっていない。

**(3) NT - 3 水溶液の場合**

Fig.11 に NT - 3 水溶液のアーム停止角度と MHF 点温度の関係を示す。アーム停止角の増大とともに MHF 点温度が低下する傾向が認められる。アーム停止角度が 55° では停止前に蒸気膜が崩壊して、MHF 点温度のばらつきが小さくなっている。アームを回転させ続けた時の蒸気膜が崩壊するアーム回転角度がおおよそ 55° (Fig.4 参照) なので、アームを停止させた時の衝撃で崩壊が引き起こされて、MHF 点温度のばらつきが小さくなったものと考えられる。

アームを 30° で停止させた場合と 55° で停止させた場合のそれぞれの蒸気膜の崩壊様相を Fig.12 と Fig.13 に示

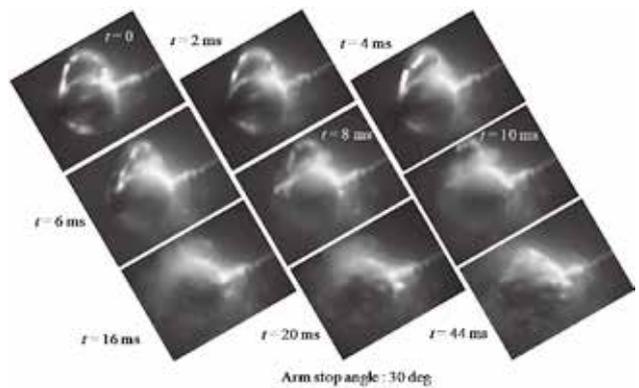


Fig.12 The vapor film collapse pattern when the arm stopped at 30 degrees in the polymer NT - 3 aqueous solution.

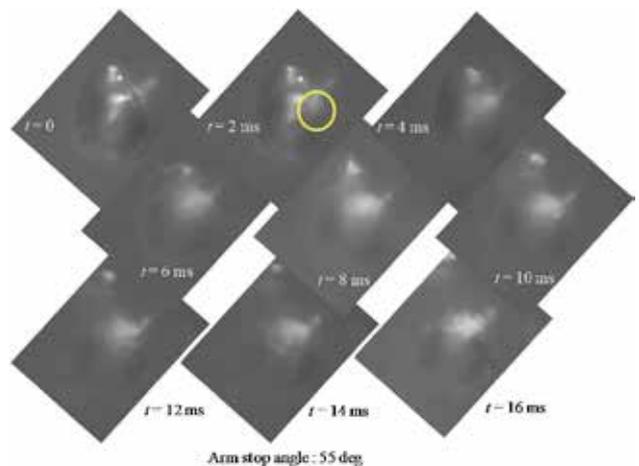


Fig.13 The vapor film collapse pattern when the arm stopped at 120 degrees in the polymer NT - 3 aqueous solution.

す。どちらも蒸気膜は破裂的に崩壊しているが、破裂の度合いが大きいほど MHF 点温度が低くなっている。また、どちらも支持棒と Pt 球の接続部近傍での核沸騰が活発であり、アームを 30° で停止させた場合は、Pt 球の上部に

集積している蒸気塊が右方から潰れているので、蒸気膜崩壊の起点は支持棒と Pt 球の接続部のようなのである。しかし、アームを 55° で停止させた場合は、崩壊起点は支持棒と Pt 球の接続部ではなく、やや下方 (Fig.13 で Pt 球の進行方向側、黄○付近) である。なお、この場合はアーム停止直前に崩壊が始まっているので蒸気塊の離脱が早くなっている。Fig.10 と蒸気膜崩壊様相の動画観察から、蒸気膜崩壊起点が支持棒と Pt 球の接続部から遠ざかるほど MHF 点温度が低下する傾向がある。

(4) TY - 300A と S - 811M 水溶液の場合

Fig.14 に TY - 300A と S - 811M 水溶液のアーム停止角度と MHF 点温度の関係を示す。どちらの水溶液も数十℃以上になると白濁して蒸気膜界面がはっきりしなくなる。膜沸騰段階での熱流束が高くて冷却が速い S - 811M 水溶液の MHF 点温度が高い。MHF 点温度のばらつきはアーム停止角度には大きく依存しないが、アーム停止角度の増大に伴って MHF 点温度が低下する傾向が見られた。

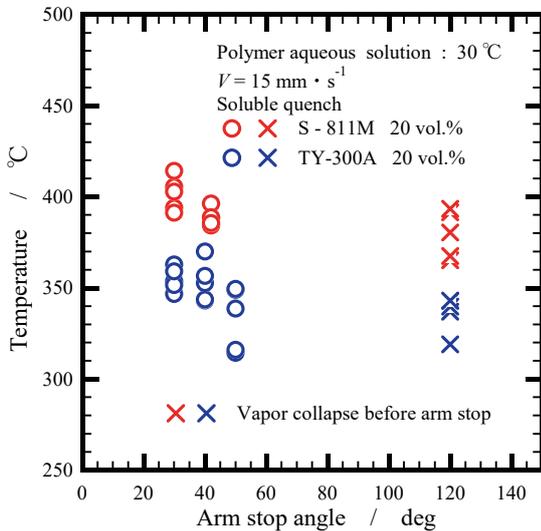


Fig.14 The relation between the minimum heat flux point temperature and the arm stop angle in the polymer TY - 300A and S - 811M aqueous solutions.

蒸気膜崩壊初期の状況を Fig.15 に示す。アーム停止角度によらず、崩壊の起点は支持棒と Pt 球の接続部の下部

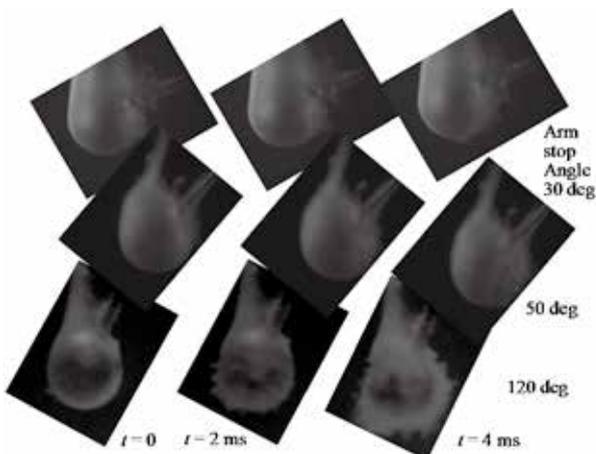


Fig.15 The vapor film collapse pattern in the polymer TY - 300A aqueous solution.

である。動画観察から蒸気膜は破裂的に崩壊していた。

S - 811M 水溶液の蒸気膜崩壊初期の状況を Fig.16 に示すが、この水溶液でもアーム停止角度によらず、崩壊の起点は支持棒と Pt 球の接続部の下部であり、動画観察から蒸気膜は破裂的に崩壊していた。

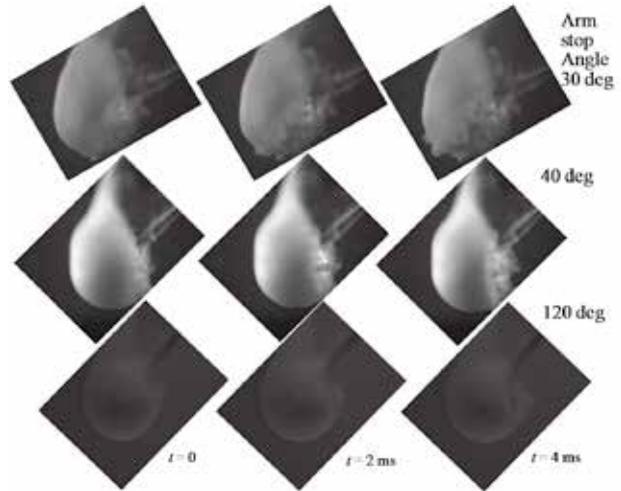


Fig.16 The vapor film collapse pattern in the polymer S - 811M aqueous solution.

(5) 蒸気膜崩壊起点に関する考察

本実験系並びに実験条件においては、アーム (支持棒) が回転して支持棒が鉛直になったタイミングで蒸気膜が崩壊する場面は観察されず、支持棒と Pt 球の接続部を起点とする蒸気膜の崩壊挙動も観察されなかった。Fig.17 に本実験で観察された特徴的な崩壊パターンを示すが、(a) は Pt 球が静止している状態で崩壊している場合で、Pt 球の最下部付近が崩壊の起点になっていて、蒸気膜が剥がれるように、数 ms の極めて短時間に崩壊している場合である。一方、(b) は Pt 球が移動中に崩壊している場合で、Pt 球のよどみ点付近を崩壊の起点として、蒸気膜が破裂的に、しかも (a) より長い時間をかけて崩壊している場合である。

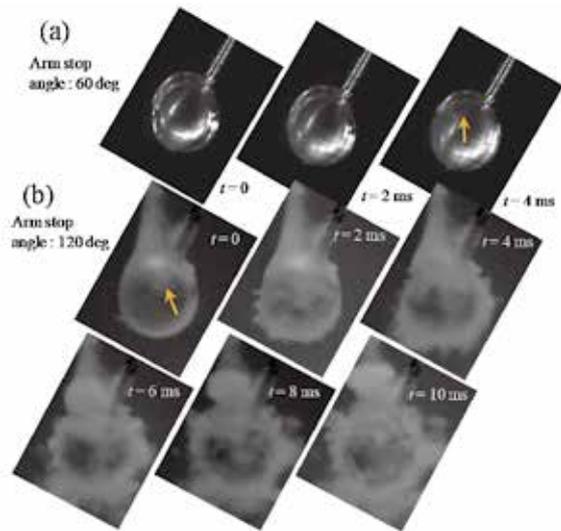


Fig.17 The characteristic vapor film collapse pattern. (a) ZN - 04, (b) TY - 300A

このような蒸気膜崩壊様相の相違は沸騰曲線にも明瞭に現れて、Fig.18 に示すように、Fig.17(a) の崩壊様相の場合は蒸気膜の崩壊開始と同時に Pt 球の固液接触面積が急激に上昇して熱流束が増大している。その後、熱流束の増大に伴って温度が急激に低下している。一方、Fig.17(b) の崩壊様相の場合は蒸気膜の崩壊開始後は遷移沸騰、核沸騰段階が存在して高い熱流束になっている。MHF 点温度が (a) より高いために高熱流束域の温度範囲も (a) より広がっている。

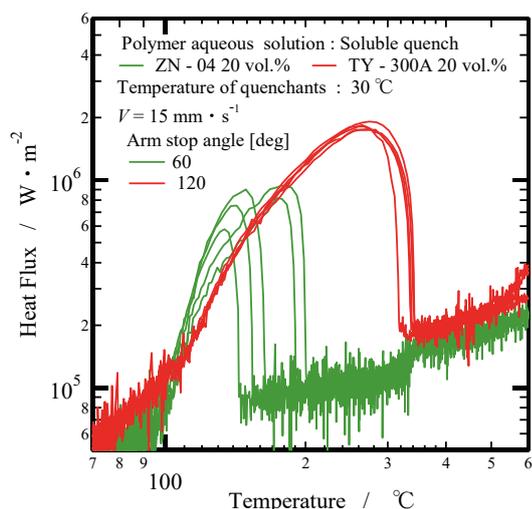


Fig. 18 The Boiling curves of polymer ZN - 04 and TY - 300A aqueous solutions.

Fig.17(b) のような蒸気膜崩壊様相は、支持棒が重力方向と傾斜しているために、Pt 球まわりの蒸気膜形成が支持棒の軸対称になっていないことによるものと考えられ、重力とは逆方向に熱移動することから、支持棒と Pt 球の接続部より下部が蒸気膜崩壊の起点になっていると考えられる。一方 (a) の場合の蒸気膜厚さは、Pt 球移動時は Pt 球よどみ点部で、停止中は Pt 球最下部で最小になると考えられ、何らかの要因で蒸気膜形成が 120°C 程度の低温まで維持され、蒸気膜厚さの最小部で一斉崩壊したものと考えられる。120°C 程度の低温まで低下すれば Pt 球内には核沸騰をもたらすエネルギーを保有していないであろうから、蒸気膜が剥がれるように崩壊したものと考えられる。しかしながら、蒸気膜形成がなぜ 120°C 程度の低温まで維持されたのかは不明である。

#### 4. おわりに

回転式アームの先端に取り付けた小型 Pt 球プローブを冷却剤に浸漬する試験装置を用い、冷却剤の冷却特性（冷却能）を評価するための最適浸漬条件の探索を目的として、膜沸騰段階でアームの回転を停止させた場合の停止角度と MHF 点温度の関係を、5 種類のポリマー水溶液について調べた。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) ポリマー水溶液中の浸漬では、冷却能の高い水溶液ほど MHF 点温度のばらつきが小さくなり、MHF 点温度は高くなる傾向があった。また、アーム停止角によって MHF 点温度のばらつきが小さくなることもあり、冷却特性をより正確に把握可能なアーム停止角が存在することがわかった。

(2) いずれの水溶液でも蒸気膜が破裂的に崩壊していたが、冷却能が低い ZN - 04 と NH 水溶液では、蒸気膜が支持棒と Pt 球の連結部の反対側を起点として剥がれるように、核沸騰段階を示さずに崩壊する場合があった。その場合の MHF 点温度は破裂的崩壊時より低下して 120°C 程度になっていた。

Fig.18 に蒸気膜崩壊様相の特徴的なパターンを示したが、(a) のような崩壊パターンは筆者らはもとより、他の研究者らによる観察にもない崩壊パターンで非常に興味深いものであり、このようなパターンの発生原因の究明を今後の課題としたい。

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る。

#### 参考文献

- (1) 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, No.2234(2018-5).
- (2) 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).
- (3) 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).
- (4) 西尾茂文, 上村光宏, 日本機械学会論文集 (B 編), 52 (1986), pp.1811-1816.

## 『愛宕百韻』の注解と再検討

勢田 勝郭

## Reconsideration of Atago-Hyakuin

Katsuhiko SETA

『愛宕百韻』については、昭和五四年に刊行された『新潮日本古典集成 連歌集』において、島津忠夫氏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、今日では不十分な所の多いものとなっており、それが、歴史関係等、連歌に親しみのない人の間に間違った解釈が流布する状況を齎している。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。

本能寺の変に先立って、天正十年五月、愛宕山威徳院において明智光秀が張行した連歌、いわゆる『愛宕百韻』は、今日では、多分、あらゆる連歌作品中、最もよく世に知られたものと言える。本稿の目的は右に記したとおりであるが、その前に、当該の作品には二つの大きな問題が存在するにもかかわらず、それが放置されたまま一般に通用してしまっているということを指摘しておきたい。

一つは発句の本文の問題である。「時は今天が下しる五月かな」の形が広く用いられているが、続群書類従本、京都大学平松文庫本などは、中七字が「天が下なる」の形である。「しる」と「なる」と、一字の違いではないが、内容的には大差である。何故「なる」の形が、検証されることなく斥けられるのか。当該の連歌が、本能寺の変に先立ち、光秀が自らの決意を披瀝したものであるという固定観念があるためであるまいかという疑問である。

もう一つは、張行日の問題である。『惟任謀反記』『信長公記』以下、諸々の編纂された史書の類は一致して「五月二十八日」とするが、一次史料ともいえるべき百韻それ自体の写本の日付に「五月二十八日」とあるものは存在しない。続群書類従本と国立国会図書館本は「五月二十七日」、それ以外の写本は、私の見た限り「五月二十四日」である。この問題をどう理解すればよいのであろうか。

以下、私見を述べる。結論を先に言えば、まず、発句の本文は「天が下なる」でなければならぬ。そう考える根拠は、以下のとおりである（注1）。

①もし発句が「天が下しる」の形であったなら、信長に代わって天下人たろうとする光秀の意思は、その披露の瞬間に、一座の全員に共有される（絶対！）。しかるに、光秀が明智左馬助以下の一族・重臣に本能寺襲撃の意思を打ち明けたのは六月一日夜とのことである（注2）。運命を共にする一族・重臣よりも先に、その日にも京に戻る連歌師連中に一世一代の決意を明かすということは、常識として有り得まい。帰京後、一人でもそのことをその筋に漏らせば、一切は瓦解する。その秘密の保持を、彼ほどのように考えたのか。独吟にすれば、その点での危惧はないのに、彼は何故そうしなかったのか、納得できる説明を聞かない。

②事件後、一座した連歌師たちは、誰も罰せられていない。これをどう理解すればよ

いのか。『常山紀談』などに見える、紹巴が、懐紙に「し」とあったのを削って、その上にまた「し」と書いて、自分が一座した連歌の場では「な」であったと言いつい逃れしたなどという話を信じればよいのか。それより、最初から「天が下なる」の形であったので、問題とはなるはずがなかったと考える方が、余程自然であろう。

③ 変の当日、紹巴は、二条新御所から本御所に徒歩（明智方から、馬や駕籠の使用を禁止された）で脱出中の誠仁親王御一家をたまたま新在家付近で目撃し、「荷輿」を手配してそれにお乗せしたという記事が見える（兼見卿記・別本）。皇族に対する彼の尊崇の念の並々でないことが窺われる記事であるが、親王の住まわれていた二条新御所は、信忠の宿所であった妙覚寺に隣接していた。光秀の企図が実行されると、現実にもそうであったように、その混乱に巻き込まれるのは必至である（人質とされる可能性すらあった）。もし、紹巴が光秀の謀反を予期していたのなら、彼は、何故、事前に親王に避難の警告（これは、その筋への密告とは性質が異なる）をしなかったのだろうか。彼も変を予期していなかったと考えるのが、やはり自然であろう。

④ 現在流布している『信長公記』では、当該句は「天が下しる」の形で引用されているが、それは池田家本『信長記』では「天が下なる」となっている。池田家本『信長記』は、慶長十五年、八十四歳の時の太田牛一の自筆本であるが、以後も、著者が手元に置き随時修正を加えた本であることは、現存の様態から見てもまず確かなことと考えられる。そうであるなら、光秀が「愛宕百韻」において謀反の決意を披瀝したという現在の通説は、『信長公記』の著者が、最終的に誤りであると考えた本文に則った、いわば誤謬の上に築かれた説であったということになろう。

⑤ 近年注目されるようになった「五月二十八日付福屋隆兼宛光秀書簡写」に拠れば、まだその時点では、光秀は山陰方面へ出陣するつもりであったことが推測される（注3）。

⑥ 光秀の決断は、信長が本能寺に宿泊し、かつ、引率の人数が少数であることを、彼自身が確信していることが条件であったと私は考える。しかるに、信長が実際に本能寺に入るのには、五月二十九日の申刻以後のことである（兼見卿記）。信長の行動は時に気まぐれであり予測しがたい。この度の上洛の場合も、信忠は、五月二十七日になってようやく父が「一兩日中」に上洛することを知り、堺へ行く予定を急遽変更している（五月二十七日付森乱宛織田信忠書状）。五月二十七日の時点で、京にいた長男・信忠すらまだ信長上洛の正確な日時を知らない。まして、その日から二十八日にかけて愛宕山に参籠していた光秀が、その間、信長の正確な動静を知ることではできなかったはずである（注4）。

次に、張行日については、候補は五月二十四日、同二十七日、二十八日の三つであるが、光秀は五月二十六日に坂本を出発し、亀山に入城したとするのが通説（信長公記）

で、それを否定する説を知らない。それに従う限り、五月二十四日とする説は可能性が乏しい（注5）。残るのは二十七日と二十八日であるが、ここで私が注目するのは、五月二十七日、光秀のみならず紹巴等の連歌師たちもすでに愛宕山に来ており、当該百韻の発句以下一巡は、その日のうちに詠まれたとする『林鐘談』の記述である。『林鐘談』は、その記述をそのまま事実と受け取るとは到底できないレベルの史料ではないが、そこに事実の痕跡ぐらゐはあると考えることは、決して許されないことではあるまい。もしそうなら、当該の連歌が二十七日から二十八日にかけて作られた可能性も考えられると私は思うのであるが、いかがであろうか。俳諧でも、歌仙などが二日乃至それ以上に亘って詠み継がれることは、よくある事象である（例えば『曾良随行日記』の記事を参照されたい）。当該百韻についていうと、始行は二十七日。従って、端作の日付は天正十年五月二十七日となり、翌日、百韻が詠了の後、懐紙を奉納、それを以って、『信長公記』等は、この百韻を二十八日のものとしているということである。仮定の上に仮定を重ねたものでしかないが、それを私の説としたい。

注1…『愛宕百韻』については、『連歌概説』（一九三七年）以来、多くの連歌研究者の言及する所であるが、強く「天が下なる」を支持する意見を知らない。ただし、歴史の方面では、古く桑田忠親氏が唱え（一九七三年『明智光秀』、近年では明智憲三郎氏のネット上等での精力的な活動がある。更に、明智氏は、「天が下しる」のテキストは、大村由己の改竄に因るものと主張される。私も、その説を是とするものであるが、発句の解釈については、氏と見解を異にする。

注2…この点については、『信長公記』、『川角太閤記』、フロイス『日本史』、全て一致している。三点とも二次的史料であるが、それを否定する一次史料もない。

注3…ただし、藤田達生氏『証言 本能寺の変』（二〇一〇年）では、当該書簡に対する疑問が述べられている。氏の疑問は、その書簡中に「委曲山田喜兵衛自可有演説候」とあることから、山田喜兵衛自身がその書簡の持参者として福屋隆兼の所へ向かったと考えた上でのことである。しかし「別途、山田喜兵衛を派遣するつもりなので、詳しくは」云々という意味に解釈することはできないのである。そうであるなら、山田喜兵衛の名が「天正十年六月二日付西尾光教宛書簡」に出ていることと矛盾しない。むしろ、予定されていた派遣が行われなかったということ、事件の突発的だったことを暗示する事象として用いることができるのではあるまいか。なお、藤田氏の疑問が正当なものであったとしても、①⑤⑥として列挙した理由の一つが無効となるだけのもので、私の結論は変わらない。

注4…ここで私が気になるのは、『川角太閤記』に「六月朔日、申刻計りに、家中の物がしらに申し出でしには、京都、森お乱所より、上様御詮には、中国への陣、用意出で来候はば、人数のたきつき、家中の馬ども様子御覧なさるべく候ふ間、早々人数召し連れられ、罷り上り候へ」と、お乱所より、飛脚到来候ふ間」云々とあるこ

とである。森お乱（蘭丸）から飛脚があつて云々の台詞は、従来、兵を京都に向かわせる際の口実とされてきたが、実際にあつたこととは考えられないだろうか。それに拠つて、光秀は、信長が殆ど無警戒な状態で本能寺に宿泊していることを知り、決断したというストーリーである。それは、多分二十九日夜のことであつたらう。ただし、所詮、私の憶測の一つである。

注5…五月十八日から二十五日までの間の光秀の動静を示す一次史料はない。しかし、二十四日に愛宕山で連歌を詠んで、一旦、坂本（京都の可能性もあり）へ戻り、二十六日にまた亀山に赴くというのは、かなり不自然なコースとスケジュールである。

以下、『愛宕百韻』の本文は、続群書類従本を基礎とし、他本と校合して、仕立・付合・去嫌の面でもっ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述べることは省略せざるを得なかつた。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。

#### 賦何人連歌

#### 01 時は今天が下なる五月かな

光秀

《解釈》今、この時節は、地上の全てのもので、天から降る雨に覆われる五月なのだ。この作品の張行の企図は、光秀が信長から命じられた西国出兵の任務成就の祈願。「天が下なる」という表現の中に、地上の全てのもので雨が降り覆われることくに国土が一天の下にまとまるようにとの予祝を込める。決して、単純な叙景の句ではない。

※賦物は「何人」、句中の「天」によって「天人」と賦される。諸本、賦物を記さないものが多いが、『新潮日本古典集成』（以下『集成』と略）に拠つて補う。

※「時は今」は、中七字が「天が下しる」であれば、「時」に「土岐」が掛けられているとしなければ解釈ができないが、「天が下なる」では、普通に「今この時は」で可。

※「天が下」は「天下」の訓読語で「地上」に対応する表現。天の下にある全てのもので、即ち、地上の全てのものでということである。「天」に「雨」が掛けられており、「天から降る雨の下にある全てのもの」という意味になる。

※作者・光秀は、惟任（明智）日向守光秀。土岐氏の末流と伝えられるが、近年異説も唱えられている。連歌を好んだことは、『五吟一日千句』など、かなり多くの作品が伝えられていることより知れる。出句数十五句。

#### 02 水上まさる庭のなつ山

行祐

《解釈》今、この時節は、地上の全てのもので、天から降る雨に覆われる五月なのだ。この庭に導かれた流れの水位も高くなり、眺められる周囲の山々も、夏らしく緑が深い。

※『信長公記』の流布本は、下七字を「庭のまつ山」とする。発句と脇は同季でなければならぬが、それでは無季となつてしまい明白に不可。池田家本『信長記』は、ちゃんと「庭のなつ山」と訂正されている。

※作者・行祐は、張行場所である愛宕山威徳院西之坊の主。生没年等不詳。「発句客人脇亭主、第三宗匠」の作法に従つて、脇を詠む。十一句。神仏習合の愛宕権現の祭神・太郎坊の本地仏は勝軍地藏で、甲冑を纏い、騎馬した地藏菩薩の姿である。戦勝祈願の連歌の場にもふさわしい。

#### 水上まさる庭のなつ山

紹巴

《解釈》桜花が散り落ちる庭の池、一斉に散つた花弁が柵となつて流れを堰きとめると、次第に上流の池の水位が上昇する。眺められる周囲の山々も、いかにも夏らしく緑が深い。

※水に落ちた花弁が柵となつて、流れを堰くという発想は、「池に桜の散るを見てよみ侍りける…桜散る水の面には堰きとむる花の柵かくべかりけり」（千載・二、九九、能因法師）など、数多い伝統的なものである。

※作者・紹巴は、句境の変化を重視する新風連歌を確立した当時の連歌の第一人者。この座の宗匠を務める。十八句。慶長七年没、七九歳（実際は七八歳とする説あり）。

#### 花落ちる池の流れをせきとめて

宥源

《解釈》晩春の夕暮、風に散らされた花弁が池の面に落ち、柵をなつて流れを堰きとめているがごとくである。霞も、風に送られてどこかへ消えてしまった。

※前句の「花落ちる」を「風」で理由付けた付合である。

※作者・宥源は、愛宕山大善院上之坊の僧。十一句。生没年等不詳。

#### 風に霞を吹きおくる暮

昌叱

《解釈》春となつたが、時にまだ寒さの厳しい日がある。夕方から風が吹きはじめ、霞もどこかへ行つてしまった。入相の鐘の響きも冴え冴えとしている。

※作者・昌叱は紹巴一門の連歌師。当時、紹巴に次ぐ存在であつた。一六句。慶長八年没、六五歳。

#### 05 春もなほ鐘の響や冴えぬらむ

春もなほ鐘の響や冴えぬらむ

06 片しく袖は有明の霜

心前

《解釈》旅での野宿。明方、鐘の音を覚ます。春はまだ浅く、響きも冴え冴えと  
している。片敷く袖が白く見えるのは、霜なのであるうか、有明の月の光が、私  
のこぼした涙に映じているのであるうか。

※先の付合は夕時分の情景であったが、この付合では、明方のこととなる。

※「鐘」と「霜」とが寄合。「高砂の尾上の鐘の音すなり曉かけて霜やおくらむ」(千  
載・六・三九八、前中納言匡房)。「霜の鐘」の故事である。

※作者・心前は紹巴一門の連歌師。一五句。天正一六年没(異説あり)、五三歳か。

片しく袖は有明の霜

07 末枯れになりぬる草の枕して

兼如

《解釈》晩秋の旅の野宿。周囲の草はもう末枯れとなっている。片敷く袖が白く見え  
るのは、霜なのであるうか、有明の月の光が、私のこぼした涙に映じているので  
あるうか。

※作者・兼如は猪苗代家の連歌師。一二句。後、仙台の伊達家に仕え、慶長十四年ま  
での作品が残る。

末枯れになりぬる草の枕して

08 聞きなれにたる野辺の松虫

行澄

《解釈》あたりの草が末枯れになった野辺に一夜を過ごす。松虫の鳴く音が聞こえるが、  
それももう耳慣れたものになってしまった。

※作者・行澄は、大阪天満宮蔵の一本に「東六郎兵衛」と注記される。美濃の名家・  
東氏一族か。ネット上では、光秀の家臣で、山崎の合戦で戦死とあるが、真偽は  
不明。出句はこの一句のみ。執筆を務めたものであろう。

聞きなれにたる野辺の松虫

09 秋はたど涼しきかたに行きかへり

行祐

《解釈》秋となったが、残暑はまだ厳しい。何日か、涼を求めて野辺に行きかえりす  
るうちに、松虫の声も、次第に耳慣れたものになろうとしている。

秋はたど涼しきかたに行きかへり

10 尾上の朝け夕暮の空

光秀

《解釈》秋となったが、残暑はまだ厳しい。ここ数日は、色づきはじめて尾上の朝時  
分や夕暮時の空の景色などを眺めつつ、涼を求めて行きかえりして過ごしている。

尾上の朝け夕暮の空

11 たちつづく松の梢や深からむ

有源

《解釈》朝夕の尾上の上空の景色を眺める。松は、木深く立ちつづいていて。  
※「尾上」と「松」とが寄合。「かくしつゝ世をや尽くさむ高砂の尾上に立てる松な  
らなくに」(古今・一七・九〇八、よみ人しらず)など。

たちつづく松の梢や深からむ

12 波のまがひの入海の里

紹巴

《解釈》松が木深く立ちつづく入海。海士の住む里が波のむこうにちらちらと見える。  
※「波のまがひ」は、波の向こうにちらちらと見えること。「寄せかへる波のまがひ  
に飛ぶ蜚」(慶長三年十二月二十一日「懐旧」一五)の例が分かりやすい。

波のまがひの入海の里

13 漕ぎかへる蟹の小船のあと遠み

心前

《解釈》海士の小船が漁を終えて航跡を長く引きつつ帰ってゆく。帰るべき入江の里は、  
波の向こうにちらちらと見わたされる。

漕ぎかへる蟹の小船のあと遠み

14 へだりぬるも友千鳥鳴く

昌叱

《解釈》海士の小船が漁を終えて航跡を長く引きつつ帰ってゆく。二羽の千鳥が、離  
ればなれになりつつも、互いに鳴き交わす声が聞こえる。

※第二句から水辺が三句連続しているので体用の沙汰が必要であるが、第一四句の  
「千鳥」は体用の外であるので、問題は生じない。

へだりぬるも友千鳥鳴く

15 しばしたど嵐の音もしづまりて

兼如

《解釈》大きな音をたてて吹いていた嵐の風は、しばらく静かになった。風に吹き流  
されて離れたなれになった二羽の千鳥が、互いに相手を求めて鳴いている声が聞  
こえる。

※二羽の千鳥が隔てられたのは、嵐に吹き流されたからだと理由付けた付合である。

しばしたど嵐の音もしづまりて

16 たどよふ雲はいづくなるらむ

行祐

《解釈》大きな音をたてて吹いていた嵐の風は、しばらく静かになった。空の雲は、  
どこへ流されて行くこうとしているのだろうか。

たどよふ雲はいづくなるらむ

17 月は秋秋はもなかの夜半の空

光秀

《解釈》中秋の名月。夜空は晴れわたっている。少し前まで漂っていた雲は、どこへ行っ  
てしまったのだろうか。

月は秋秋はもなかの夜半の空

18 それとばかりの声仄かなり

有源

《解釈》中秋の名月の夜、空の彼方から、仄かであるがはつきりそれと判るように、  
雁の声が聞こえる。  
※「それとばかり」に「雁」を利かしている。「隠題」と呼ばれる手法で、古くから  
あるものであるが、同時代の連歌では特に好まれ、例は多い。他に「それかとばか  
り鳴き帰る空」(永祿石山千句・第三「山河」二〇)など。

※第一四句で「千鳥」が詠まれている。「千鳥」と「雁」とは、五句以上を隔てねばならないが、隠題の場合は、間隔二句で可とされるので、指合とはならない。  
 ※『集成』は「一句としての意味も、付合も不明」云々とコメントするが、そんなことはない。一句の意味も付合も明瞭で、何の問題もない。

それとばかりの声仄かなり

19 たゞく戸のこたへほど経る袖の露 紹巴

《解釈》恋しい人の家の戸をたたくが、中々応答がない。時がかなり経ってから、ようやくそれと知れる声はほのかに聞こえてきた。その間にも、私の袖は、びっしょりと夜露に濡れるのだ。いや、夜露だけではない、私の涙も含まれているのだ。

たゞく戸のこたへほど経る袖の露

20 我よりさきに誰契らむ 心前

《解釈》恋しい人の家の戸を敲く。時がかなり経過しても全く応答がない。何故だろうか。ひよつとして、私が来るより先に約束している男がいて、その男と会っているのだろうか。その間にも、私の袖は、びっしょりと夜露に濡れるのだ。いや、夜露だけではない、私の涙も含まれているのだ。

我よりさきに誰契らむ

21 いとけなき気配ならぬは妬まれて 昌叱

《解釈》ようやく会うことができた人なのだけれど、実際に会ってみると、何事にも物慣れた様子である。どうも、私よりも先に、この女をものにした男がいるらしい。そう思うと、その男のことが、何となく妬ましく感じられる。

※解釈にいささか下卑た言い回しを用いたが、パレ句的な付合なので、その方がそのニュアンスが表現できると考えたからである。御寛恕を乞う。

いとけなき気配ならぬは妬まれて

22 と言ひかく言ひ背く苦しさ 兼如

《解釈》以前のしおらしい様子はどこへ行ったのか。ちよつとしたことで嫉妬して、私をあれこれ責めた挙句、ふいと背中を向けてしまう。こんな古女房の相手は苦しいものだ。

※色々な状況設定が可能であるが、右のごとくとした。これもパレ句的だが、如何。

と言ひかく言ひ背く苦しさ

23 たび／＼のあだの情は何かせむ 行祐

《解釈》苦しさをいくら訴えても、何やかやと言ひ逃れめいたことを言って、背中を向けてしまう。こんなことが、今までに何度あったことか。所詮、この人は、私を心から愛している訳ではないのだ。

※先の付合を、男女の立場を引き換えて処理した付合である。これはこれで一興であろうが、「恋」が制限一杯の五句連続することになるので、次の句が難しくなる。

たび／＼のあだの情は何かせむ

24 頼みがたきはなほ後の親 紹巴

《解釈》心の底から愛されている訳ではないと思わされることが、これまでに何度あったことか。親といつても、血のつながりのない後の親は、所詮、当てにできないものだ。

※第一九句から「恋」が制限一杯の五句連続している所。「あだのなさけ」を、血縁関係のない親のこととして処理して、見事に「恋」を逃れている。紹巴の腕前であろう。

頼みがたきはなほ後の親

25 初瀬路や思はぬ方にいざなはれ 心前

《解釈》初瀬への往還の道から、不思議な縁で都に戻り、ある人の養女となったが、やはり、養父・養女の関係は、実の親子に比べて当てにならないものだ。

※『源氏物語』に拠る付合。頭中将と夕顔の間の子であるある玉蔓は、初瀬で、夕顔に仕えていた右近と出会い、その後、源氏に引きとられてその養女となるが云々のストーリーが一座に共有されていることが前提となる。

初瀬路や思はぬ方にいざなはれ

26 深く尋ぬる山時鳥 光秀

《解釈》初瀬への往還の道、時鳥の初音を聞くことを目的として来たわけではなかったのだが、つい山の奥深くまで寄り道をしてしまった。

深く尋ぬる山時鳥

27 谷の戸に草の庵をしめ置きて 有源

《解釈》谷の出入り口の所の庵を出て、時鳥の初音を聞こうと、山の奥深くまで尋ねてゆくことだ。

※「山時鳥」と「草の庵」とが寄合。「昔思ふ草の庵の夜の雨に涙なそへそ山時鳥」(新古今・三・二〇一、皇太后宮大夫俊成)の名歌がある。

※「草の庵」「草の戸」等の「草」は、卑下の詞で、植物として取り扱わないのが古来からの作法。従って、第二九句の「松」と指合にはならない。

谷の戸に草の庵をしめ置きて

28 薪も水も絶えやらぬかげ 昌叱

《解釈》谷の出入り口の所に庵を営む。薪は山に入れば拾えるし、水は谷川の流れる汲めばよい。独居生活に支障はなさそうだ。

薪も水も絶えやらぬかげ

29 松が枝の朽ちそひにたる岩つたひ 兼如

《解釈》朽ち落ちた松の枝の上に、更に松の枝が朽ち落ちる岩伝い。水は岩間を流れる。この場所なら、当然、薪と水に不自由はしないだろう。

松が枝の朽ちそひにたる岩つたひ

30 あらためかこふ垣の古寺

心前

《解釈》朽ち落ちた松の枝の上に、更に松の枝が朽ち落ちる岩伝いを行くと、垣の崩れを補修した古寺が見える。

※通常の「垣」は居所であるが、この句の場合は「寺の垣」であるので、通常の居所とは二句を隔てるのみで可とされる。従って、第二七句の「庵」と指合にはならない。

あらためかこふ垣の古寺

31 春日野やあたりも広き道にして

紹巴

《解釈》開けた春日野の原、付近の往来の道も広々として、垣を新たに造成しなおした古寺が見える。

※「古寺」は、先の付合では奥まった所のさびれた小寺の雰囲気であるが、この付合では「春日野」を出すことによって広壮たる古寺（興福寺とか東大寺）のイメージとなる。

春日野やあたりも広き道にして

32 うらめづらしき衣手の月

行祐

《解釈》秋の夜、開けた春日野の広々とした道を行く。袖は夜露に濡れ、それに月が影を映す。何とも心惹かれる情趣である。

うらめづらしき衣手の月

33 葛の葉の乱るゝ露や玉ならむ

光秀

《解釈》月の夜、秋の野を行くと、葛の葉に置かれた露が、月の光を映しつつ風にこぼれる様は、まるで宝石の緒が切れたこととくである。その露は私の袖にこぼれ、それにまた月の光が映る。何とも心惹かれる情趣である。

※前句の「うらめづらし」の「うら」に「裏」を利かせて、それが「葛の葉」と寄合。「秋風の吹きうら返す葛の葉のうらみても猶恨めしきかな」（古今・五・八二三、平貞文）など。更に、「衣の裏」と「玉」とが寄合。『法華経』五百弟子受記品の「衣裏宝珠」のこと。「かけてだに衣の裏に玉ありと知らで過ぎけむ方ぞ悔しき」（後拾遺・一七・一〇二五、中宮内侍）など。

葛の葉の乱るゝ露や玉ならむ

34 たわゝになびく糸萩の色

紹巴

《解釈》秋の野、葛の葉に置かれた露が乱れ落ちる様は、まるで宝石の緒が切れたこととくである。糸萩は、その重みで撓んでいるように思えるほど枝いっぱい花を付け、風に靡いている。

※「乱る」と「糸」とが寄合。「青柳の糸よりかくる春しもぞ乱れて花の綻びにける」（古今・一・二六、つらゆき）など。

たわゝになびく糸萩の色

35 秋風もしらぬ夕べや寝る胡蝶

昌叱

《解釈》秋の夕べ、糸萩は、その重みで撓んでいるように思えるほど枝いっぱい花を付け、風に靡いている。蝶は、その糸萩の枝にとまったまま、風に靡くのも知らぬげに眠っているのか、微動だにしない。

※蝶を秋季に用いるのは、現代人には違和感があるかも知れないが、連歌にはよくあることである。「折りのこす枝や昨日の園の菊／秋の胡蝶の宿りはかなき」（元龜二年三月十八日「何船」五二／五二）など、解りやすい例である。勿論、単独では春季である。

※「萩」と「寝る」とが寄合。「まだ宵に寝たる萩かな同じ枝にやがておきぬる露もこそあれ」（後拾遺・四・二九七、新左衛門）など。

秋風もしらぬ夕べや寝る胡蝶

36 砌も深く霧をこめたる

兼如

《解釈》風のない秋の夕べ、砌は深く霧に籠められ、蝶は微動だにせず眠っている。砌も深く霧をこめたる

砌も深く霧をこめたる

37 村竹の淡雪ながら片よりて

紹巴

《解釈》霧に立て籠められた砌、先ほどまで降っていた淡雪が群生した竹に積もって、全て一方に偏っている。

※「竹」は、木類とも、草類とも、間隔二句以上で可とされる。従って、第三四句の「糸萩」とも、第四〇句の「菖蒲菅原」とも、指合にならない。

村竹の淡雪ながら片よりて

38 岩根をひたす波の薄氷

昌叱

《解釈》積もった淡雪の重みで、岩間に群生した竹は、全て一方に偏り、薄氷を浮かべた波が岩根を浸している。

岩根をひたす波の薄氷

39 鴛鴨や下りゐて羽を交はすらむ

心前

《解釈》冬の水辺。薄氷を浮かべた波が岩根を浸し、鴛鴨などの水鳥が、そこに下りて、寒さに羽を交わすがごとく寄り集まっている。

鴛鴨や下りゐて羽を交はすらむ

40 乱れふしたる菖蒲菅原

光秀

《解釈》菖蒲や菅が交じり合って乱れ臥している水辺、鴛・鴨などの水鳥が、そこに下りて羽を交わすがごとく寄り集まっている。

※先の付合は冬の水辺の光景。この付合では、「菖蒲」の語に依り、夏の光景に変わる。「鴛」も「鴨」も、去嫌上の季節は冬であるが、夏にも見られるので（『日本の野鳥5』福音館書店）、「菖蒲」と付合にするのは無茶ではないが、上出来とはいいかねる。

※第三八句から水辺が三句連続しているので体用の沙汰が必要であるが、第四〇句の

「菖蒲」は体用の外であるので、問題は生じない。

乱れふしたる菖蒲菅原

41 山風の吹きそふ音は絶えやらで

紹巴

《解釈》山風が吹き続いて、その音が絶えることはない。水辺の菖蒲や菅が交じり合っている叢も、その風に乱れ臥している。

※前句の「乱れふしたる」を、「山風」で理由付けた付合である。

山風の吹きそふ音は絶えやらで

42 閉ちはてにける住まひさびしも

有源

《解釈》山風が吹き続いて、その音が絶えることはない。それを防ぐために戸や窓を閉め切るが、独居生活のさびしさが身にしみる。

閉ちはてにける住まひさびしも

43 とふ人も暮れぬるまゝに立ち帰り

兼如

《解釈》夕暮になって、訪れてくれた人も帰ってしまった。居所の戸や窓を閉めると、独居生活のさびしさが、ひときわ身にしみる。

とふ人も暮れぬるまゝに立ち帰り

44 心のうちにあふや占なひ

紹巴

《解釈》夕暮になって、あの人は帰ってしまった。あの人には、私と夜の床を共にするつもりはないのだ。二人の仲は、これからどうなるのだろうか。占ってみたら、私の心に適った卦が出るだろうか。いや、そんなことはあるまい。

※先の付合は独居生活の寂しさ。それが、この付合では、不確実な恋に苦しむ女性のこととなる。句境の転換も鮮やかで、短い表現の中に、微妙な心理を感じさせる付合となっている。やはり紹巴と言えよう。

心のうちにあふや占なひ

45 はかなきを頼みかけたる夢がたり

昌叱

《解釈》あの人の心が、もう一度、私の所に戻ってくる、それがはかない願いだということとは承知しているが、ひよっとして思うような夢を見た。それを語って占ってみよう。私の心に適った卦が出るだろうか。いや、そんなことはあるまい。

※「夢がたり」は、夢の内容を人に語ること。物語では、夢占いのための場合が多い。

『伊勢物語』に「昔、世ごとろつける女、……まことならぬ夢がたりす」(六三段)などと用いられている。「占」と「夢がたり」とが寄合になる。例は「とふにまこととを頼む占かた／夢がたり合はする人もむつまじみ」(天文二十四年梅千句・第十「花之何」一四／一五)など。

はかなきを頼みかけたる夢がたり

46 思ひに長き夜は明石瀧

光秀

《解釈》明石での旅宿。昨夜の夢を、伴う人に語る。都に帰るのは、はかない頼みでしかないが、様々の思いが胸に去来し、秋の夜が更に明かし難く感じる。

※「思ひ明かし」は、単独では「恋」に用いられることの多い表現であるが、「明石瀧」

(あるいは、浦)と結んだ場合は旅泊・流浪のこととなることが多い。「こもその例。従って、前句の「夢」は帰京・帰郷の夢となる。「夢がたり」とあるから、語る相手が想定される。それは、伴う人はず。依って、解釈は右のごとくとなる、如何。

※『集成』は、この句について「光秀の胸中永く秘めた思いをいよいよ決行に移そうという気分がうかがわれる」とコメントするが、当たらない。発句で「時は今天が下しる」と高らかに宣言してしまっている(その注釈の説に依れば)のだから、こ

こで今更「思ひに……夜は明石瀧」などとウジウジしたことを言ってはならない。「思ひに夜を明かす」は、煩悶の表現である。いよいよ決行と言うつもりなら、「霧うち払ふ朝風の空」とでも言うべきであろう。「みがく剣の秋の夜すがら」なら、更に直截である。もつと率直に「信(まこと)に長き夜の闇を断つ」と付けたら、同

座の連衆の顔は、全員、引きつることだろう。しかし、そんなことは有り得ない。連歌は、古典和歌や物語の世界から様式化された情趣を、一座で共に享受しようとするものである。その点、実存的な感情の表出を旨とする近代詩歌とは決定的に異なる。なお、第五八句、第六九句、第九七句を参照されたい。

思ひに永き夜は明石瀧

47 船はたゞ月にぞ浮かぶ波の上

有源

《解釈》明石での船中泊、月は皓々と海上の波を照らす。様々の思いが胸に去来し、長い秋の夜が更に明かし難く感じる。

48 所ぐにちる柳かげ

心前

《解釈》水辺の柳が所々に散り、波の上に落ちる。それが月の光に照らされて浮かんでいるのは、まるで船のように見える。

※波の上に落ちた柳の葉を、船と見立てた付合で、当座の興を催すものである。連歌にはよく用いられる発想で、「船かと見れば月の川波／柳散る下葉はもろき秋風に」(平松文庫本無名千句・第一「山何」六八／六九)の例が分かりやすい。

所ぐにちる柳かげ

49 秋の色を花の春までうつし来て

光秀

《解釈》去年の秋に落葉した柳の木陰、今は、春の花が所々に散っている。

※無理やり、右のごとく解釈した。付句はそれらしい言葉を並べているが、一句として、前句との関係性においても、論理の通った解釈ができない。つまり、付いて

いない、即ち、下手な句である。ただし、当時の「四花八(七)月」の作法によって、ここはどうしても「花」を出さねばならず、その点、少し難しい所ではある。ただ

し、愚案であるが「花散りし跡を惜しみし古里に」などではいけないだろうか？

少なくとも前句との関係は通っている。

秋の色を花の春までうつし来て

50 山は水無瀬の霞たつ暮

昌叱

《解釈》この地の秋の情趣の深さは、春となった今も、強い印象となって胸に残っているが、それでも、水無瀬の山々が夕霞の中に暮れてゆく景色の素晴らしきは、それ以上のものだと思われる。

※有名な「見わたせば山も霞む水無瀬川夕べは秋と何おもひけむ」（新古今・一三六、太上天皇）を本歌とする付合である。前句が下手な句なので、処理の難しい所であるが、そこを何とかするのがプロの連歌師。

山は水無瀬の霞たつ暮

51 下とくる雪の雫の音すなり

心前

《解釈》雪に覆われた水無瀬の里の夕暮、それでも、春となったので山々は霞がかつて見える。屋根などの雪も表面上の変化はないが、下の方が解けはじめたようで、それが雫となって、軒から滴り落ちる音がする。

下とくる雪の雫の音すなり

52 猶も折りたく柴の屋の内

兼如

《解釈》雪に覆われた陋屋、春となってもまだ寒さは厳しく、暖をとるために柴を折り焚く。すると屋根も暖められて、屋根に積もった雪の下の方が解けて、軒から雫となって落ちる。その音が聞こえる。

※前句の「下とくる雪」を理由付けた付合であるが、発想が突飛で意表を突いており、その俳諧味が当座で面白がられたであろう付合である。

53 しをれしを重ねわびたる小夜衣

紹巴

《解釈》柴の屋の独居生活。その辛さに流す涙に濡れ、私の衣は萎れてしまった。このままでは夜着として敷き重ねることができない。それを乾かすために、柴をさらに焚きくべるのだ。

※先の付合に続いて、前句の内容を付句で理由づけた付合であるが、その理由付け方が、先の付合同じく意表を突いており、しかも解りやすい。先の付合で雰囲気盛りが上がった所を、更に、同じような趣向で盛り上げる。紹巴が、当時の上手として持て囃された所以の一つがうかがわれる付合である。なお、一句の去嫌上の取り扱いは「恋」となる。

しをれしを重ねわびたる小夜衣

54 思ひなれぬる妻もへだゝる

光秀

《解釈》長い間たがい馴れ親しんだ妻との別れ。悲しみの涙で、私の衣の袖はびっしょりと濡れる。もう、この濡れた衣を重ねて、夜の床を共にすることはできないのだ。 ※「妻」に「棲」を利かせて、それと「衣」とが寄合。「唐衣きつゝ馴れにし妻しあればはる／＼来ぬる旅をしぞ思ふ」（古今・九・四一〇、在原業平朝臣）が有名。

思ひなれぬる妻もへだゝる

55 浅からぬ文のかず／＼つもるらし

行祐

《解釈》長い間たがい馴れ親しんだ妻とも、今は離ればなれになっている。愛情あふれた手紙の交換が、多分、積もるほどにあることだろう。

浅からぬ文のかず／＼つもるらし

56 説けるも法は聞ききつるにこそ

昌叱

《解釈》釈尊の説かれた教えは、数々の經典となつてこの世に山積している。しかし、それも、末世の衆生に理解するだけの能力があつてこそそのものだ。

説けるも法は聞ききつるにこそ

57 賢きは時を待ちつゝ出づる世に

兼如

《解釈》釈尊の説かれた教えも、衆生に理解するだけの能力があつてこそそのもの。末世にはそれも難しいことも知れない。それでも、賢明な人は、教えに従い、塵の世を出て、弥勒出世の時を待つのだ。

※釈迦入滅後、弥勒出世までの間の「二億中間」のこととした付合である。付句の「出づる」は、第一義的には、「俗世を出づる」ことであるが、前句の「法」と照応して、重層的に、弥勒出世のことともなると解した。如何。

58 心ありける釣のいとなみ

光秀

《解釈》世に賢人と称される人は、落魄してもあせらずに、湖で釣りをしたりしながら、いつか世に出る機会を待っているものだ。

※前句の「賢き」を太公望の故事に取りなした付合である。太公望は本名・呂尚、かつて殷に仕えたが、そこを去り、渭水で釣をしていた所、周の文王と出会ったと伝えられる。『史記』齊太公世家に詳しい。連歌での例は「賢きはみな心にぞよる／＼釣たる／＼人も世にこそ仕へけれ」（菟玖波集・一八・一八四〇、前大納言尊氏）など。「賢し」と「釣」とが寄合になつている。

※賢者は自ら世に出ようとはせず、世に出る日を待つという付句である。作者は光秀。この百韻中の光秀の句から本能寺の変を前にした心理を読みとろうとするのは、この付合からでも誤っていることが解る。それなら「心はいかに釣のいとなみ」とか「心や急ぐ釣のいとなみ」とかするはず。すると、一座は「あれ？」と思うのである。

心ありける釣のいとなみ

59 ゆく／＼も浜辺づたいの霧はれて

有源

《解釈》浜辺づたいの道を行く。霧は次第に晴れて、海上には、海士たちの釣する船が見える。海士は情趣を解しなと言われているが、この素晴らしい光景に、釣の手を休め眺め入っていることだろう。

※「海士は情趣を解しないものだが、それでも」とするのが伝統的な作法。「心ある雄島の海士の袂かな月やどれとは濡れぬものから」（新古今・四・三九九、宮内卿）が有名。

ゆく／＼も浜辺づたひの霧はれて

## 60 一すぢ白し月の川水

紹巴

《解釈》浜辺づたいの道を行く。霧は次第に晴れ、その絶え間に一筋の白く光るものが見える。あれは、浜に注ぐ川の水に、月の光が映じているのだ。

※第五八句から水辺が三句連続しているので体用の沙汰が必要であるが、第五八句の「釣」は体用の外であるので、問題は生じない。

一すぢ白し月の川水

## 61 紅葉をわくる龍田の峰風

昌叱

《解釈》秋の龍田の月の夜、峰から吹き下ろす風が、紅葉葉を分け過ぎる。その分けられた紅葉の隙に、龍田川の水が月影をうけて、一筋白く光って見える。

紅葉をわくる龍田の峰風

## 62 タベさびしき小男鹿の声

心前

《解釈》龍田の峰から吹き下ろす風が、紅葉葉を分け過ぎる夕べ、牡鹿の寂しそうに鳴く声が聞こえる。

※「紅葉」と「鹿」とが寄合。「奥山に紅葉ふみ分け鳴く鹿の声きく時ぞ秋はさびしき」(古今・四・二一五、よみ人しらす)など。

夕べさびしき小男鹿の声

## 63 里遠き庵もあはれに住みなれて

紹巴

《解釈》里から遠く離れたこの庵も、今はようやく住み馴れ、寂しいともつらいともそれほど感じなくなっているのだが、それでも、夕方、牡鹿の寂しように鳴く声が聞こえると、時に、たまらない思いになることがあるのだ。

里遠き庵もあはれに住みなれて

## 64 捨てし憂き身も頼みこそあれ

行祐

《解釈》生きても甲斐のない身、俗世間に住むよりはと思つて、人里から遠く離れたこの庵での独居生活を始めたのだが、馴れてくると、次第に、辛ければ辛いなりに何とかやっけて行こうというような気持ちが生じてきた。

捨てし憂き身も頼みこそあれ

## 65 みどり子の生ひたつ末を思ひやり

心前

《解釈》辛いことばかりの世を捨てた自分であるが、たった一つだけ楽しみにしていることがある。それは、世間に残してきた愛し子が、これから先、どのように成長してくれるだろうかということだ。

みどり子の生ひたつ末を思ひやり

## 66 なほ長かれの命ならずや

昌叱

《解釈》こんな歳になって、新たに子宝に恵まれることになった。この子が、これから先どのように成長してくれるか、それを見届けたいと思う。そのためにも、さらに長生きがしたくなる。

なほ長かれの命ならずや

## 67 契りたゞかけつゝ酌める杯に

有源

《解釈》ある人の長寿の賀の席、そこに集う人々は、更なる長寿を祈念して酒を酌み交わすのだ。

契りたゞかけつゝ酌める杯に

## 68 別れてこそは相坂の関

紹巴

《解釈》東国に赴く人を、相坂の関まで見送る。再会を約し、酒を酌み交わす。

※「相坂の関」は、京から東国への玄関口に当たる。東国に赴く人をそこまで見送る習慣があったことは、「ものへまかりける人の送り、関山までし侍るとて…別れゆく今日はまどひぬ相坂は帰りこむ日の名にこそありけれ」(拾遺・六・三二四、つらゆき)などより知れる。「相坂」に「会ふ」を利かせるのは、古典文学の常識。

別れてこそは相坂の関

## 69 旅なるを今日はあすはの神もしれ

光秀

《解釈》相坂の関、再会を期しつつ旅行く人と別れる。今日この日、あすはの神も、旅人の身の安全に力をお貸し下さいませよう。

※「あすはの神」は、『万葉集』巻二十に「庭中のあすはの神に小柴さし我は斎はむ帰り来までに」とある神。歌は、防人となった夫の無事帰還を祈る妻のもので、西国に出陣する光秀の立場によく適った句材であり、それは同座の連衆にも容易に共有されたはず。連歌において個人的な感懐の表出は、このようになされるものである。

※「今日はあすはの」の口調が軽い。第一七句の「月は秋秋はもなか」や第四〇句の「菖蒲菅原」や第四六句の「夜は明石潟」もそうだが、光秀の好みであろう。ただし、いずれの句も、紹巴・昌叱・心前等に比較すれば、前句との関係性は今一つの感が強い。所詮、アマチュアの芸ということであろうか。

旅なるを今日はあすはの神もしれ

## 70 ひとり眺むる浅茅生の月

兼如

《解釈》秋の夜、この浅茅生の宿で、ひとり月を眺める。夫は旅に出て、今日もまだ帰らない。庭中のあすはの神よ、どうか夫の身をお護り下さい。

ひとり眺むる浅茅生の月

## 71 爰かしこ流るゝ水の冷やかに

行祐

《解釈》秋の夜、浅茅生の宿で、ひとり月を眺める。あちこちを流れる水は、月の光を受けて、いかにも冷ややかである。

爰かしこ流るゝ水の冷やかに

## 72 秋の螢や喜いそぐらむ

心前

《解釈》初秋の野の沢、あちこちを流れる水も冷ややかである。日が暮れるのも早くなくなつたが、螢も、それに合わせて早くから光を放ち始めることとくである。

秋の螢や暮いそぐらむ

73 村雨のあとよりもなほ霧降りて

紹巴

《解釈》村雨の通り過ぎた後も、まだ霧が立ちこめて暗い。螢も、かん違いしたのか、夕暮にはなっていないのに、光を放ちはじめた。

村雨のあとよりもなほ霧降りて

74 露はらひつゝ人のかへるさ

有源

《解釈》村雨の降り通った後も、まだ霧が立ちこめているが、雨宿りしていた人たちは、道の辺にまだ残る露を払いながら帰ってゆくとうとしている。

※「村雨」と「露」とが寄合。「村雨の露もまだ干ぬ榎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、名歌として有名。

露はらひつゝ人のかへるさ

75 宿とする木かげも花のちりつくし

昌叱

《解釈》花の木陰を宿として日をおくるうちに、花はすべて散ってしまった。花との別れを惜しむ涙の露を払いつつ、人々は帰って行くのだ。

※桜花が散りつくすのを惜しんで涙を流すというのは、伝統としてパターン化された発想である。例としては「散る花を惜しむ涙の春雨に濡れぬ人こそ世になかりけれ」(重之集・六六)が解りやすい。

宿とする木かげも花のちりつくし

76 山より山にうつる鶯

紹巴

《解釈》山の花の木陰を宿とする鶯。この山の花は散りつくしたので、まだ花の残っている別の山に宿を移すのだ。

山より山にうつる鶯

77 朝霞薄きが上に重なりて

光秀

《解釈》春の朝、薄く霞に包まれた山の上に、更に向こうの山がいくつか重なって見える。鶯は、それらの山々を自由に鳴き移って行く。

※前句の「山より山」に対して「重なりて」としたのが、付合のポイント。朝霞が薄いので、奥の山までが重なって見えるという理屈である。霞が深いと、近くの山しか見えない。

朝霞薄きが上に重なりて

78 引きすてけらし横雲の空

心前

《解釈》横雲がたなびく春の朝の空、それに霞が薄く覆い重なっている。風はなく、横雲は棚びいたまま放置されたように、動かない。

※先の付合では、重なるのは山々。この付合では、横雲に霞が重なることになる。引きすてけらし横雲の空

79 出でなむも波風かはるとまり船

兼如

《解釈》停泊中の船が湊を出ようとしていたが、波風の様子が怪しい。空に棚びいて

いた横雲も、風に千切れて捨てられたように、どこかへ行ってしまった。

※「捨てけらし」の意味が、先の付合とは変わる。この付合では「捨てられたように、どこかに消える」ということになる。

出でなむも波風かはるとまり船

80 めぐる時雨の遠き浦へ

昌叱

《解釈》停泊中の船が湊を出ようとしていたが、波風の様子が怪しくなった。時雨の雲が、遠くに見える浦々を通過してゆくのが見渡される。あの時雨が通り過ぎて波風が落ち着くまで、出発を見合わせることにしよう。

※晩秋から初冬、低気圧に伴う前線が通過すると、突風が吹き、海は時化する。

めぐる時雨の遠き浦へ

81 村芦の葉隠れ寒き入日影

心前

《解釈》冬の海辺の夕暮。時雨の雲が、遠くの浦々を通過してゆくのが見渡される。寒々とした日が、群生する枯芦の葉隠れに今しも沈み入ろうとしている。

※第七九句から水辺が三句連続しているので体用の沙汰が必要であるが、第八一句の「芦」は体用の外であるので、問題は生じない。

村芦の葉隠れ寒き入日影

82 立ちさわぎては鳴の羽がき

光秀

《解釈》寒々とした夕日が、群生する枯芦の葉隠れに、今しも沈み入ろうとしている。鳴たちの羽掻きの音が騒がしく聞こえる。

立ちさわぎては鳴の羽がき

83 行く人もあらぬ田の面の秋すぎ

紹巴

《解釈》秋の収穫を終えた田は、通う人もいない。ただ、鳴たちの羽掻きの音が騒がしく聞こえるばかりである。

※「鳴」と「田」とが寄合。「風をいたみ刈田の鳴のふしわびて霜に数かく明方の空」(続後撰・八・四八五、惟明親王)など。

行く人もあらぬ田の面の秋すぎ

84 かたぶくまゝの苦ぶきの露

有源

《解釈》秋の収穫を終えた田は、通う人もいない。田を守るための苦苺きの仮庵も、柱が傾いたまま顧みられずに露に濡れている。

※「田」と「苦ぶき」とが寄合。「秋の田の仮庵の庵の苦をあらみ我が衣手は露にぬれつゝ」(後撰・六・三〇二、天智天皇御製)が有名。

かたぶくまゝの苦ぶきの露

85 月見つゝ打ちもや明かず麻衣

昌叱

《解釈》老朽化して傾いたままの苦苺きの住まい、あたりは夜露に満ちている。住む人は、今夜、月を眺めながら、明けるまで麻衣を打ち続けるのであろうか。

※「かたぶく」に「月」と付けているのがポイント。他に「色なる草の垣ほかたぶく

／月やどる露もやおもき萩が枝（称名院追善千句・第五「山河」五四／五五）など。

月見つゝ打ちもや明かず麻衣

86 寝もせぬ袖の夜半のやすらひ

行祐

《解釈》毎夜、明けるまで寝ずに打ち続けるはずの砧の声、それがふと止んだ。月を眺めながら一休みしているのだろうか。

寝もせぬ袖の夜半のやすらひ

87 しづまらば更けて来むとの契りにて

光秀

《解釈》「夜が更けて人が寝静まったら、きつと訪ねて行きます。それから朝まで語り明かしましょう」と、あの人は約束してくれました。それまで、まだ少し間がありそうだ。一休みしておこう。

しづまらば更けて来むとの契りにて

88 あまたの門を中のかよひ路

兼如

《解釈》「夜が更けて人が寝静まったら、必ず訪ねて行きます」と、あの人は約束したが、どうしてそんなに遅くなるのか。気の多いあの人のことだから、多分、何人かの女の人の家を訪ねてから、ここに来るつもりなのだろう。

あまたの門を中のかよひ路

89 埋みつゝ竹は掛樋の水の音

紹巴

《解釈》地下に埋められていた竹の埋み樋が地上に出て、掛け樋となって流れて行く音がする。この水は、幾つかの家の門の地下を潜って来たものである。

※先の付合は、多情な男のこと。それを、意表を突く発想で、埋み樋を通る水のことにして、句境を大胆に転換している。当座の興を催す付合であろう。やはり紹巴である。

※「通ふ」に「掛樋」と付けているのがポイント。他に「通はぬ道の程ぞ知らるゝ末こほる掛樋の中のみ水」（聖廟千句・第六「何船」七二／七三）など。

埋みつゝ竹は掛樋の水の音

90 石間の苔は幾重なるらむ

心前

《解釈》地下の竹の埋み樋が地上に出て、掛け樋となって流れて行く音がする。掛け樋が通って行く岩間は、どれほど深く苔むしているだろうか。

※岩間は日当たりが悪く、そこを通る掛樋からこぼれ落ちる水で苔がよく生育するという理屈である。

石間の苔は幾重なるらむ

91 瑞垣は八千代経ぬべきとばかりに

行祐

《解釈》瑞垣で囲われた神社の境内。その庭の立石は、この神社の永遠を示すがごとくである。その間に、石間の苔は、どれほど生い重なるであろうか。

※前句の「石」を、神社の境内の組石に取りなして句境を転じた付合である。

※「苔」と「八千代」とが寄合。「我が君は千代に八千代のさざれ石の巖となりて苔

のむすまで」（古今・七・三四三、よみ人しらず）。

瑞垣は八千代経ぬべきとばかりに

92 翁さびたる袖の白木綿

昌叱

《解釈》瑞垣に囲われた神社の境内、いかにも高齢の祢宜が、白木綿を手に執り、「千代に八千代」と、世を折っている。

翁さびたる袖の白木綿

93 明くるまで霜夜の神樂さやかにて

兼如

《解釈》冬の霜夜、神社の境内では、いかにも高齢の祢宜が白木綿を手にとり舞っている。今夜は、夜が明けるまで、さやかに神樂が執り行われるのだ。

明くるまで霜夜の神樂さやかにて

94 とりぐゝにしもうたふ声そふ

紹巴

《解釈》今夜は、夜が明けるまで、さやかに神樂が執り行われるのだ。舞手は、曲ごとにとりどりの採り物を持ち、器樂にあわせて謡う。

※第九一句から「神祇」が制限一杯の三句続けられており、付句の非常に難しい所であるが、「とりぐゝにしもうたふ」ということで、神樂の採り物を暗示し、表面的には「神祇」の語を用いずうまく付けおこなっている。見事と言えるほどの巧妙なテクニクであり、やはり紹巴の芸である。

※「神樂」と「うたふ」が寄合。「更けぬるか真弓櫛弓お返しうたふ神樂の本末の声」（続千載・九・九二〇、前大納言為世）など。ただし「神樂」に「うたふ」と付けるのは用付で、当時の連歌では嫌われるはずだが、付合の難しい所なので、そんな細かなことは言っていられなかつたのであろう。

とりぐゝにしもうたふ声そふ

95 はるぐゝと里のまへ田をうゑ渡し

有源

《解釈》早乙女たちは、銘々に早苗を手に取り、田植歌をうたいながら、里の前から続く田を、ずっと植えわたして行く。

※「とりぐゝ」は、先の付合では神樂の採り物のこと。それを、早乙女たちの早苗に取りなして、句境を鮮やかに転じた好付合である。ちよつとしたことだが、「とりぐゝ」に「はるぐゝ」と口調を対応させている所がミソ。

はるぐゝと里のまへ田をうゑ渡し

96 縄手のゆくへたゞ路とは知れ

光秀

《解釈》里の前から続く田を、ずっと植えわたして行く。田と田の間の道は真つ直ぐ遙かに延びている。

※「縄手」は「田の間の道、あぜ道」（岩波古語辞典）。連歌には珍しい語であるが「苗代水の引板の寂しき／草しげき小家の縄手雨すぎて」（伊勢千句・第四「薄何」四四／四五）などの例が存在する。「田」の寄合として用いられているはずである。

繩手のゆくへたど路とは知れ

97 勇むれば勇むるまゝの馬の上

昌叱

《解釈》繩手道はどこまでも真つ直ぐに続いている。馬上の武士が勇み立てば、馬もそれに応じて、勇んでその道を駆けて行く。

※近日中に西国に出陣する光秀を激励する挨拶の句。勿論それは、同座の連衆に共有されている思いである。挙句近くになって、このような張行の目的に適った句がスムーズに出てきたのは、幸先のよいこととして、一座に喜ばれたであろう。

勇むれば勇むるまゝの馬の上

98 うち笑みつゝもつるゝ伴ひ

行祐

《解釈》二騎の武者が、勇みたつて馬を走らせている。どちらが先陣をするか、互いにっこり微笑んで、相手を確認している。

※前の付句で、張行目的に適った好句が出て盛り上がった所に、さらに、たたみかけるように、軍記絵巻に出てきそうな戦場に向かう武士の「カッコよい」姿を出して、座を盛り上げる。宗匠である紹巴の見事な座の捌きを思うべきであろう。

うち笑みつゝもつるゝ伴ひ

99 色も香も酔をすゝむる花の下

心前

《解釈》色も香も満開の花の下、人々は、太平の春を寿ぎつつ、楽しく微笑みながら酒を酌み交わしている。興は尽きることがない。

色も香も酔をすゝむる花の下

00 国ぐは猶のどかなる時

光慶

《解釈》色も香も満開の花の下、人々は楽しく酒を酌み交わしている。天の下の国々は、更に、太平の世ののどかな春を享受するのだ。

※「国ぐ」は多分、発句の「天が下」に対応して選ばれた語であろう。また、句末の「時」は、発句の「時は今」の「時」と、意図的に重ねられたと思われる。慶賀の気分で一座を終えるのが挙句の作法。その作法どおりの句である。

※作者・光慶は光秀の嫡子・明智十五郎（異説あり）。当時十四歳くらいと伝えられる。本能寺変後の一連の戦いの中で戦死か。出句はこの一句のみ。『林鐘談』に拠れば紹巴の代作だとのことであるが、真偽不明。

## 「愛宕百韻」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	ときはいま あめかしたなる さつきかな	夏									□	□													
	02	みなかみまさる にはのなつやま	夏						山	水	居															
	03	はなおつる いけのなかれを せきとめて	春				木			水																
	04	かせにかすみを ふきおくるくれ	春										聳								夕		風			
	05	はるもなほかねのひひきや さえぬらむ	春																			夜		聞		
	06	かたしくそては ありあけのしも	冬										降	光						衣	夜					
	07	うらかれになりぬるくさの まくらして	秋	枕		旅	□															夜				
	08	ききなれにたる のへのまつむし	秋						虫																	
初裏	09	あきはたた すずしきかたに ゆきかへり	秋																							
	10	をのへのあさけ ゆふくれのそら							山												×					
	11	たちつつく まつのこすゑや ふかからむ		松			木																			
	12	なみのまかひのいりうみのさと								水	居															
	13	こきかへる あまのをふねのあととほみ		船						水								人								
	14	へたりぬるも ともちとりなく	冬						鳥	水																
	15	しはしたた あらしのおともしつまりて																					風	聞		
	16	たたよふくもはいつちならむ												聳												
	17	つきはあき あきはもなかの よはのそら	秋	月											光							夜				
	18	それとはかりの こゑほのかなり	秋					□																聞		
	19	たたくとの こたへほとふる そてのつゆ	秋		恋						居	降									衣					
	20	われよりさきに たれちきるらむ			恋													人								
21	いとけなき けはひならぬはねたまれて			恋																						
22	といひかくいひそむくるしさ			恋																						
二表	23	たひたひの あたのなさは なにかせむ			恋																					
	24	たのみかたきは なほのちのおや																人								
	25	はつせちやおもはぬかたに いさなはれ																	名							
	26	ふかくたつぬる やまほとときす	夏						鳥	山																
	27	たにのとに くさのいほりを しめおきて					×		山		居															
	28	たききもみつも たえやらぬかけ									水															
	29	まつかえの くちそひにたる いはつたひ		松			木																			
	30	あらためかこふかきのふるてら										□						積								
	31	かすかのやあたりもひろきみちにして																	名							
	32	うらめつらしき ころもてのつき	秋	衣月											光					衣	夜					
	33	くすのはの みたるつゆやたまならむ	秋				草						降													
	34	たわわになひくいと はきのいろ	秋				草																			
35	あきかせも しらぬゆふへやぬるこてふ	秋						虫													夕		風			
36	みきりもふかく きりをこめたる	秋									□	□	聳													
二裏	37	むらたけの あはゆきなからかたよりて	冬	竹			竹					降														
	38	いはねをひたす なみのうすらひ	冬							水																
	39	をしかもやおりゐてはねを かはすらむ	冬						鳥	水																
	40	みたれふしたる あやめすかはら	夏				草			水																
	41	やまかせの ふきそふおとはたえやらて								山														風	聞	
	42	とちはてにける すまひさひしも										□														
	43	とふひとも くれぬるまにたちかへり																人			夕					
	44	こころのうちに あふやうらなひ			恋																					
	45	はかなきを たのみかけたる ゆめかたり		夢	恋																			夜		
	46	おもひになかき よはあしかた	秋			旅					水								名			夜				
	47	ふねはたた つきにそうかふなみのうへ	秋	船月							水				光							夜				
	48	ところどころに ちるやなきかけ	秋				木																			
	49	あきのいろを はなのほるまてうつしきて	春				木																			
	50	やまはみなせの かすみたつくれ	春							山				聳					名		夕					

「愛宕百韻」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	したとくる	ゆきの	しつくの	おとすなり							降											聞	
	52	なほもをりたく	しはの	やのうち			×				居													
	53	しをれしを	かさね	わたる	さよ	ころも													衣		夜			
	54	おもひなれぬ	つまも	へた	たる												人							
	55	あさからぬ	ふみのか	すかす	つも	らし																		
	56	とけるもの	りは	きき	うに	こそ											積							
	57	かしこきは	ときを	まち	つ	いつ	よに																	
	58	こころあり	ける	つりの	いと	なみ					水													
	59	ゆくゆくも	はまへ	つた	ひの	きり	は	れて			水		□	聳										
	60	ひとすち	しろし	つきの	かは	みつ					水				光							夜		
	61	もみちは	を	わくる	たつた	のみ	ね	お	ろ	し								名					風	
	62	ゆふへ	さひ	しき	さを	しか	の	こ	ゑ												夕		聞	
	63	さととほ	きい	ほも	あ	は	れ	に	す	み	な	れ												
	64	すてしう	きみ	も	た	のみ	こそ	あれ				居												
三 裏	65	みどり	この	お	ひ	た	つ	す	ゑ	を	おも	ひ	や	り			人							
	66	なほ	なか	か	れ	の	い	の	ち	なら	す	や												
	67	ちきり	たた	かけ	つ	つ	く	め	る	さ	か	つ	き	に										
	68	わか	れて	こそ	は	あ	ふ	さ	か	の	せ	き						名						
	69	たひ	なる	を	け	ふ	は	あ	す	は	の	か	み	も	し	れ								
	70	ひとり	なか	む	る	あ	さ	ち	ふ	の	つ	き						人				夜		
	71	ここ	か	し	こ	な	か	る	み	つ	の	ひ	や	か	に									
	72	あ	きの	ほ	た	る	や	く	れ	い	そ	く	ら	む								夕		
	73	む	ら	さ	め	の	あ	と	よ	り	も	な	ほ	き	り	ふ	り	て						
	74	つ	ゆ	は	ら	ひ	つ	つ	ひ	と	の	か	へ	る	さ									
	75	や	と	と	す	る	こ	か	け	も	は	な	の	ち	り	つ	く	し						
	76	や	ま	よ	り	や	ま	に	う	つ	る	う	く	ひ	す									
	77	あ	さ	か	す	み	う	す	き	か	う	へ	に	か	さ	な	り	て						
	78	ひ	き	す	て	け	ら	し	よ	こ	く	も	の	そ	ら								夜	
名 表	79	い	て	な	む	も	な	み	か	せ	か	は	る	と	ま	り	ふ	ね					風	
	80	め	く	る	し	く	れ	の	と	ほ	き	う	ら	う	ら									
	81	む	ら	あ	し	の	は	か	く	れ	さ	む	き	い	り	ひ	か	け					▽	
	82	た	ち	さ	わ	き	て	は	し	き	の	は	ね	か	き									
	83	ゆ	く	ひ	と	も	あ	ら	ぬ	た	の	も	の	あ	き	す	き	て						
	84	か	た	ふ	く	ま	ま	の	と	ま	ふ	き	の	つ	ゆ									
	85	つ	き	み	つ	つ	う	ち	も	や	あ	か	す	あ	さ	こ	ろ	も					衣	夜
	86	ね	も	せ	ぬ	そ	て	の	よ	は	の	や	す	ら	ひ								衣	夜
	87	し	つ	ま	ら	は	ふ	け	て	こ	む	と	の	ち	き	り	に	て					夜	
	88	あ	ま	た	の	か	と	を	な	か	の	か	よ	ひ	ち									
	89	う	つ	み	つ	る	た	け	は	か	け	ひ	の	み	つ	の	お	と						聞
	90	い	し	ま	の	こ	け	は	い	く	へ	な	る	ら	む									
	91	み	つ	か	き	は	や	ち	よ	へ	ぬ	へ	き	と	は	か	り	に						
	92	お	き	な	さ	ひ	た	る	そ	て	の	し	ら	ゆ	ふ									
名 裏	93	あ	く	る	ま	て	し	も	よ	の	か	く	ら	さ	や	か	に	て					△	夜
	94	と	り	と	り	に	し	も	う	た	ふ	こ	ゑ	そ	ふ								聞	
	95	は	る	は	る	と	さ	と	の	ま	へ	た	を	う	ゑ	わ	た	し						
	96	な	は	て	の	ゆ	く	へ	た	た	ち	と	は	し	れ									
	97	い	さ	む	れ	は	い	さ	む	る	ま	ま	の	う	ま	の	う	へ						
	98	う	ち	ゑ	み	つ	つ	も	つ	る	と	も	な	ひ										
	99	い	ろ	も	か	も	ゑ	ひ	を	す	す	む	る	は	な	の	も	と						
	00	く	に	く	に	は	な	ほ	の	と	か	な	る	と	き									

# Properties of TaWN and TaN/TaWN Coating Film Deposited on WC-Co-Based Cemented Carbide using Magnetron Sputter Ion Plating

Tadahiro WADA

MATTER: International Journal of Science and Technology, Volume 4 Issue 2, pp. 256-265  
(ISSN 2454-5880).

(Proceedings of ICRST (2018) XIth International Conference on Researches in Science Technology, 13-14 July 2018, Thailand)

## INTRODUCTION

Many difficult-to-cut materials are widely used. For dimensional accuracy, these difficult-to-cut materials are required to be machined by the metal removal process (Tadahiro Wada et al., 2017). It is necessary that the tool materials have good wear-resistance. Polycrystalline cubic boron nitride compact (c-BN) seems to be an effective tool material (Tadahiro Wada et al., 2017).

However, in turning at a high feed or a large depth of cut, a major tool failure of c-BN occurs by fracture. Coated tools seem to be effective tool materials (Tadahiro Wada et al., 2014). Titanium based films have been widely used as coating films (e.g., K. Sakagami et al., 1998, H. Nakagawa et al., 2002). R. Westergard, M. Bromark, M. Larsson, P. Hedenqvist, S. Hogmark, 1997, reported that tantalum nitride coatings were deposited onto high-speed steel using reactive DC magnetron sputtering. And, the coating abrasive wear resistance was assessed by dimple grinding, the abrasive wear rates of the tantalum nitride coatings were small compared with the wear rate of the TiN coating. Maria Nordin et al., 1999, reported that the highest abrasive wear resistance was found for single layered TaN and the lowest for TiN, too. The TaN has both high hardness and good adhesive strength, and can be used as a coating film of cutting tools (Tadahiro Wada et al., 2011). And, in cutting the hardened steel using TaN and (Ti, Al)N coated tools, the wear rate of the TaN coated tool was almost equivalent to that of the (Ti, Al)N coated tool (Tadahiro Wada et al., 2011). M. Nordin et al., 2000, reported that in milling AISI 316 stainless steel the tool life of the TaN coated tool was longer than that of the TiN coated tool.

Adding Si (silicon), V (vanadium), C (carbon), etc. to the coating film is effective for improving the performance of the coating film and improving the cutting performance. M. Kathrein et al., 2005, reported the remarkable influence of additional elements on the properties of Ti<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N based coatings. And, alloying with elements such as V, Ta, and B resulted in a significantly increased lifetime in various cutting applications. Yun Chena et al., 2016, reported that AlCrSiCN is harder than AlCrN.

It is considered that the TaWN coating film in which W (tungsten) is added to the TaN coating film is effective for improving the adhesion with WC, which is the main component of the substrate. However, no study has reported on the coating film performance and cutting performance of TaWN coating film with W added to TaN coating film.

The performance of the coating film and improving the cutting performance can be extended by the use of a multi-layer coating system (Maria Nordin et al., 1999, M. Nordin et al., 2000, M. Kathrein et al., 2005, Yun Chena et al., 2016, J.H. Hsieh et al., 1998, A.A. Vereschaka et al., 2014, Tsao Chung-Chen et al., 2002, M. Nouari et al., 2006, Q. Yang et al., 2015). However, it is unclear whether TaN/TaWN coating film can be used as a coating film of WC-Co cemented carbide cutting tools in cutting hardened steel.

In this study, the thickness, hardness and scratch strength of TaWN and TaN/TaWN coated tools were measured. The substrate used was a cemented carbide ISO K10. The work piece used was a hardened steel AISI D2. This work piece was turned with the TaWN and the TaN/TaWN coated tools. The tool wear of the TaWN and TaN/TaWN coated tools was investigated. Furthermore, the TaN coated tool was also used.

## CONCLUSIONS

In this study, the thickness, hardness and scratch strength of TaWN and TaN/TaWN coated tools were measured. The substrate used was a cemented carbide ISO K10. The work piece used was a hardened steel AISI D2. This work piece was turned with the TaWN and the TaN/TaWN coated tools. The tool wear of the TaWN and TaN/TaWN coated tools was investigated. Furthermore, the TaN coated tool was also used.

- (1) Droplets on the surface of both the TaWN and TaN/TaWN coating films were negligible.
- (2) The hardness of the TaWN and TaN/TaWN was 2340 HV<sub>0.25N</sub> and 2630 HV<sub>0.25N</sub>, respectively.

- (3) The critical load of both the TaWN and TaN/TaWN coated tools was over 130 N.
- (4) The friction coefficient of the TaN/TaWN and TaN was 0.44 and 0.53, respectively.
- (5) The wear rate of the TaN/TaWN coated tool was slower than that of the TaN or TaWN coated tool.

## REFERENCES

- Vereschaka, A.A., Grigoriev, S.N., Vereschaka, A.S., Popov, A.Yu. and Batako, A. D., (2014). Nano-scale multilayered composite coatings for cutting tools operating under heavy cutting conditions, *Procedia CIRP*, 14, 239-244. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.070>
- Nakagawa, H., Hirogaki, T. et al. (2002). Study On Tool Life In End-Milling Of Hardened Steel, in *Proc. 6th Int. Conf. on Progress of Machining Technology*, 81-86.
- Hsieh, J.H., Liang, C., Yu, C.H., Wu, W. (1998). Deposition and characterization of TiAlN and multi-layered TiN/TiAlN coatings using unbalanced magnetron sputtering, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 108-109, 132-137. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(98\)00684-7](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(98)00684-7)
- Sakagami, K., Yongming, G. and Yamamoto, T., (1998). Effects of Substrate and PVD-Coated Layers on Flank Notch wear of Carbide Tool in Stainless Steel Cutting, in *Proc. 4th Int. Conf. on Progress of Cutting and Grinding*, 38-42.
- Kathrein, M., Michotte, C., Penoy, M., Polcik, P., Mitterer, C. (2005). Multifunctional multi-component PVD coatings for cutting tools, *Surface & Coatings Technology*, 200, 1867-1871. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.08.105>
- Nordin, M., Sundstrom, R., Selinder, T.L., Hogmark, S. (2000). Wear and failure mechanisms of multilayered PVD TiN/TaN coated tools when milling austenitic stainless steel, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 133-134, 240-246. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(00\)00933-6](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(00)00933-6)
- Nouari, M., Ginting, A. (2006). Wear characteristics and performance of multi-layer CVD-coated alloyed carbide tool in dry end milling of titanium alloy, *Surface & Coatings Technology*, 200, 5663-5676. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.07.063>
- Maria Nordin, Mats Larsson, Sture Hogmark. (1999). Wear resistance of multilayered PVD TiN/TaN on HSS, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 120-121, 528-534. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00493-4](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00493-4)
- Q. Yang, R. McKellar. (2015). Nanolayered CrAlTiN and multilayered CrAlTiN-AlTiN coatings for solid particle erosion protection, *Tribology International*, 83, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2014.11.002>
- R. Westergard, M. Bromark, M. Larsson, P. Hedenqvist, S. Hogmark. (1997). Mechanical and tribological characterization of DC magnetron sputtered tantalum nitride thin films, *Surface and Coatings Technology*, 97(1), 779-784. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(97\)00338-1](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(97)00338-1)
- Tadahiro Wada, Koji Iwamoto, Keizo Tsukamoto and Kazuki Hiro. (2011). Properties of TaN Coating Film Deposited on WC-Co-based Cemented Carbide using Magnetron Sputter Ion Plating, *Applied Mechanics and Materials*, 87, 186-190.
- Tadahiro Wada, Mitsunori Ozaki, Hiroyuki Hanyu, and Kinya Kawase. (2014). Tool Wear of Aluminum-Chromium Based Coated Cemented Carbide in Cutting Hardened Sintered Steel, *International Journal of Engineering and Technology*, 6(3), 223-226. <https://doi.org/10.7763/IJET.2014.V6.701>
- Tadahiro Wada, Hiroyuki Hanyu. (2017). Tool wear of (Ti,Al) N-coated polycrystalline cubic boron nitride compact in cutting of hardened steel, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/264/1/012017>
- Tsao Chung-Chen, Hocheng Hong. (2002). Comparison of the tool life of tungsten carbides coated by multi-layer TiCN and TiAlCN for end mills using the Taguchi method, *Journal of Materials Processing Technology*, 123(1), 1-4. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)01152-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01152-9)
- Yun Chena, Hao Du, Ming Chen, Jun Yang, Ji Xiong, Haibo Zhao. (2016). Structure and wear behavior of AlCrSiN-based coatings, *Applied Surface Science*, 370, 176-183. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.12.027>

# Tool Wear of Aluminum/Chromium/Tungsten-Based Coated Cemented Carbide in Cutting Alloy Steel

Tadahiro WADA

Proceedings of 2017 8th International Journal of Advances in Science Engineering and Technology (ISSN(p): 2321–8991, ISSN(e): 2321–9009).

Vol-6, Iss-4, Spl. Issue-2, pp.79-82, Dec.-2018, <http://iraj.in>

(Proceedings of 140th IASTEM International Conference, London, UK, 18th-19th September 2018)

## INTRODUCTION

Ti<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N and Cr<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N alloys are among the most widely used physical and chemical vapor deposited hard coating materials due to their outstanding functional properties [1]. In order to improve the properties of the CrAlN-coating film, there is a method of forming a multilayered coating film [2, 3]. In another method, the properties of the CrAlN-coating film can be easily improved by adding silicon (Si)[4-9] to the target. Adding tungsten (W) to the film other than silicon is also affective for improving the properties of the CrAlN-coating film [10-14]. That is, in order to improve both the scratch strength and the micro-hardness of the (Al,Cr)N coating film, cathode material of an (Al,Cr,W)-target was used in adding tungsten to the cathode material of the (Al,Cr)-target [10]. In cutting hardened sintered steel, tool wear was experimentally investigated [10, 11]. Moreover, in cutting Sintered Steel [12] and hardened steel [13], tool wear was experimentally investigated. As a result, it was found that adding the tungsten composition to the (Al,Cr)-target has a considerable effect on the wear resistance of the cutting tool. However, the wear progress of the (Al,Cr,W)-based coated cemented carbide in cutting alloy steel have not been clarified.

In this study, to clarify of the effectiveness of the (Al,Cr,W)-coating film for cutting alloy steel, the tool wear was experimentally investigated.

## CONCLUSIONS

In this study, to clarify of the effectiveness of the (Al,Cr,W)-coating film for cutting alloy steel, the tool wear was experimentally investigated.

The following results were obtained:

- (1) The wear progress of coated cemented carbide tool deposited using the (Al,Cr,W)-target was slower than that of the coated cemented carbide tool deposited using the (Al,Cr)-target.
- (2) The wear progress of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)N-coated tool was slower than that of the (Al<sub>60</sub>, Cr<sub>25</sub>, W<sub>15</sub>)N-coated tool.
- (3) In the case of the coated cemented carbide tool deposited using the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)-target, although the adhesiveness of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)(C,N)-coated tool by adding carbon to the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)N-coating film became higher, the wear progress of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)(C,N)-coated tool became faster than that of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)N-coated tool.
- (4) As compared to the wear progress of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)C-coated and that of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)(C,N)-coated tool, the wear progress of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)C coated tool was slightly slower. For this reason, it was considered that although the micro-hardness of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)C-coating film was lower than that of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)(C,N)-coating film, the average value of the friction coefficient of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)N coating film, 0.26, was about half of that of the (Al<sub>64</sub>, Cr<sub>28</sub>, W<sub>8</sub>)(C,N) coating film, 0.53.

## ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number 17K06102 (Grant-in-Aid for Scientific Research (C)).

## REFERENCES

- [1] M. Bartosik, D. Holec, D. Apel, M. Klaus, C. Genzel, J. Keckes, M. Arndt, P. Polcik, C.M. Koller, P.H. Mayrhofer, "Thermal expansion of Ti-Al-N and Cr-Al-N coatings", *Scripta Materialia*, Volume 127, pp. 182-185, 2017.
- [2] T. Tepperneegg, C. Czettel, C. Michotte, C. Mitterer, "Arc evaporated Ti-Al-N/Cr-Al-N multilayer coating systems for cutting applications", *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 72, pp. 83–88, 2018.
- [3] Yin-Yu Chang, Shi-Yao Weng, Chun-Hsiao Chen, Fu-Xing Fu, "High temperature oxidation and cutting performance of AlCrN, TiVN and multilayered AlCrN/TiVN hard coatings", *Surface & Coatings Technology*, 332, pp. 494–503, 2017.
- [4] Mohan Chen, Wanglin Chen, Fei Cai, Shihong Zhang, Qimin Wang, "Structural evolution and electrochemical behaviors of multilayer Al-Cr-Si-N coatings", *Surface & Coatings Technology*, 296, pp. 33–39, 2016.
- [5] In-Wook Park, Dong Shik Kang, John J. Moore, Sik Chol Kwon, Jong Joo Rha, Kwang Ho Kim, "Microstructures, mechanical properties, and tribological behaviors of Cr–Al–N, Cr–Si–N, and Cr–Al–Si–N coatings by a hybrid coating system hard coatings", *Surface & Coatings Technology*, 201, pp. 5223–5227, 2007.
- [6] Tomas Polcar, Albano Cavaleiro, "High-temperature tribological properties of CrAlN, CrAlSiN and AlCrSiN coatings", *Surface & Coatings Technology*, 206, pp. 1244–1251, 2011.
- [7] Yuwei Ye, Zhiyong Liu, Wei Liu, Dawei Zhang, Yongxin Wang, Haichao Zhao, Liping Wang, Xiaogang Li, "Bias design of amorphous/nanocrystalline Cr–Al–Si–N films for remarkable anti-corrosion and anti-wear performances in seawater", *Tribology International*, 121, pp. 410–419, 2018.
- [8] Chang B. Liu, Wang Pei, Feng Huang, Li Chen, "Improved mechanical and thermal properties of CrAlN coatings by Si solid solution", *Vacuum* 125, pp. 180-184, 2016.
- [9] Shihong Zhang, Lei Wang, Qimin Wang, Mingxi Li, "A superhard CrAlSiN superlattice coating deposited by multi-arc ion plating: I. Microstructure and mechanical properties", *Surface & Coatings Technology*, 214, pp. 160–167, 2013.
- [10] Tadahiro Wada, and Hiroyuki 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.
- [11] Tadahiro Wada, Hiroyuki Hanyu, "Wear Mechanism of Aluminum/Chromium/Tungsten-based-coated Cemented Carbide Tools in Dry Cutting of Hardened Sintered Steel", *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)* Volume 3, Issue 2, pp. 56-60, 2015. (ISSN 2320–4060 (Online))
- [12] Tadahiro Wada, Hiroyuki 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, 2015.
- [13] Tadahiro Wada, Hiroyuki 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.

# Wear Mechanism of Multi-layer AlCrWN/AlCrWSiN Coatings on Cemented Carbide Tool Prepared by Arc Ion Plating in Dry Cutting of Sintered Steel

Tadahiro WADA and Hiroyuki HANYU\*

MATEC Web of Conferences 278, 02001 (2019) (ICBMM 2018), <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927802001>.

(Proceedings of 2018 2nd International Conference on Building Materials and Materials Engineering (ICBMM 2018), University of Lisbon, Portugal, September 26-28, 2018 (MATEC Web of Conferences (ISSN: 2261-236X)))

## INTRODUCTION

A machine part having a complicated shape can be accurately mass-produced by powder metallurgy, while a sintered material can be produced because it has a large degree of freedom in terms of material design. For dimensional accuracy, it is often necessary for sintered steel machine parts to be machined by a mass production metal removal process. The tool life in cutting sintered steel is shorter than that in cutting molten steel such as carbon steel. Moreover, as sintered machine parts are often cut at high cutting speed for mass-production, the tool materials must have effective wear resistance. An aluminium-chromium based coating film has been developed. Comparing the performance of AlCrN coated tool inserts with that of TiN coated ones, the former can achieve approximately 33% more depth of cut and can attain higher cutting speed due to better thermal resistance of the coated inserts [1]. However, the results of our study indicate that the critical scratch load, which was the value measured by the scratch test, of the AlCrN coating film was 77 N and the micro-hardness was 2760 HV<sub>0.25N</sub>. Therefore, in order to improve both the scratch strength and the micro-hardness of the AlCrN coating film, cathode material of an Al-Cr-W target was used in adding tungsten (W) to the cathode material of the Al-Cr target. As a result, the scratch strength and the micro-hardness of the AlCrWN coating film increased to 81 N and 3110 HV<sub>0.25N</sub>, respectively [2]. To improve the properties of the coating film, the cathode material of an Al-Cr-W-Si target was used [3-5]. For example, Yu-ping Feng et al. reported that the hardness of AlCrSiWN coating film is higher than that of AlCrN at temperatures below 700 degrees Celsius [3]. Many multi-layer coating materials to improve tool life have been developed [6-10]. The wear progress of the multi-layered AlCrWCN/AlCrWSiCN-coated tool was slower than that of the mono-layer AlCrWSiCN-coated tool in cutting hardened steel [11] or in milling hardened steel [12]. However, the properties of the multi-layer AlCrWN/AlCrWSiN-coated coating film have not been elucidated, and the tool wear of the multi-layer AlCrWN/AlCrWSiN-coated tool has not been clarified in cutting sintered steel.

In this study, to clarify the effectiveness of the multi-layer AlCrWN/AlCrWSiN-coated cemented carbide tool, the wear progress was investigated in cutting sintered steel using three types of coated tools.

## CONCLUSION

In this study, to clarify the effectiveness of the multilayer AlCrWN/AlCrWSiN-coated cemented carbide tool, the wear progress was investigated in cutting sintered steel using three types of coated tools. Tool I had a mono-layer (Al<sub>60</sub>Cr<sub>25</sub>W<sub>15</sub>)N-coating film, Tool II had a mono-layer (Al<sub>53</sub>Cr<sub>23</sub>W<sub>14</sub>Si<sub>10</sub>)N-coating film and Tool III had a multi-layer (Al<sub>60</sub>Cr<sub>25</sub>W<sub>15</sub>)N/(Al<sub>53</sub>Cr<sub>23</sub>W<sub>14</sub>Si<sub>10</sub>)N-coating film.

The following results were obtained:

- (1) The main tool failure of the three types of coated tools was flank wear within the maximum value of the flank wear width of 0.2 mm.
- (2) The wear progress of Type III, which was the multi-layer coating system, was the slowest in cutting sintered steel.

## 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 progressions and tool life enhancement with AlCrN coated inserts in high-speed dry and wet steel lathing, *Wear*, Volume 264, Issues 3-4, pp. 226-234 (2008)
- [2] Tadahiro Wada, Hiroyuki 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)
- [3] Yu-ping Feng, Li Zhang, Rong-xian Ke, Qing-lei Wan, ZheWanga, Zhi-hong Lu: Thermal stability and oxidation behavior of AlTiN, AlCrN and AlCrSiWN coatings, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 43 March, pp. 241-249 (2014)
- [4] Shihong Zhang, Lei Wang, Qimin Wang, Mingxi Li: A superhard CrAlSiN superlattice coating deposited by multi-arc ion plating: I. Microstructure and mechanical properties, *Surface & Coatings Technology*, 214, pp. 160-167(2013)
- [5] Lihui Zhu, Mingmei Hu, Wangyang Ni, Yixiong Liu: High temperature oxidation behavior of Ti<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>N coating and Ti<sub>0.5</sub>Al<sub>0.4</sub>Si<sub>0.1</sub>N coating, *Vacuum*, 86, pp. 1795-1799 (2012)
- [6] J.H. Hsieh, C. Liang, C.H. Yu, W. Wu: Deposition and characterization of TiAlN and multi-layered TiN/TiAlN coatings using unbalanced magnetron sputtering, *Surface and Coatings Technology*, 108-109, pp. 132-137 (1998)
- [7] A.A. Vereschaka, S.N. Grigoriev, A.S. Vereschaka, A. Yu. Popov and A. D. Batako: Nano-scale multilayered composite coatings for cutting tools operating under heavy cutting conditions, *Procedia CIRP*, 14, pp. 239-244 (2014)
- [8] Tsao Chung-Chen, Hocheng Hong: Comparison of the tool life of tungsten carbides coated by multi-layer TiCN and TiAlCN for end mills using the Taguchi method, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 123, Issue 1, pp. 1-4 (2002)
- [9] M. Nouari, A. Ginting: Wear characteristics and performance of multi-layer CVD-coated alloyed carbide tool in dry end milling of titanium alloy, *Surface & Coatings Technology*, 200, pp. 5663- 5676 (2006)
- [10] Q. Yang, R. McKellar: Nanolayered CrAlTiN and multilayered CrAlTiN-AlTiN coatings for solid particle erosion protection, *Tribology International*, 83, pp. 12-20 (2015)
- [11] Tadahiro Wada, Hiroyuki 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)
- [12] Tadahiro Wada, Hiroyuki Hanyu: Tool Wear of Aluminum/Chromium/Tungsten/Silicon-based coated End Mill Cutters in Milling Hardened Steel, *Proceedings of 3rd International Conference on Mechanical Properties of Materials (ICMPM 2016)*, December 14-17, Venice, Italy (PM008) (2016)

\* OSG Corporation

# Tool Wear of Poly Crystalline Diamond in Cutting WC-Co Cemented Carbide with High-Pressure Coolant Supplied

Tadahiro WADA

International Journal of Mechanical and Production Engineering, Vol. 7, Issue 5, May-2019, pp. 23-26  
(ISSN(p): 2320-2092, ISSN(e): 2321-2071 <http://iraj.in>).

(Proceedings of 148th ISERD International conference, 6th February, 2019, Krabi, Thailand, pp. 54-57.)

## INTRODUCTION

WC-Co hard metals or cemented carbides are used in applications where wear resistance is important [1]. For example, they are widely used for a variety of machining, cutting, drilling, and other applications [2] due to their very high hardness and excellent resistance to shock and wear [3]. Sintered WC-Co components have to be machined in order to meet the demands of good surface quality and precision [4]. To achieve hard metal parts finishing, replacement of electro-discharge machining (EDM) and diamond wheel grinding is required. In fact, both are time consuming techniques, the former being very expensive due to the electrode cost, while the latter suffers from reduced lifespan of the tools, and the wheels requiring frequent dressing and sharpening [5]. Polycrystalline diamond (PCD) cutting WC-Co cemented carbide is described in the catalog of several cutting tool makers [6]. Katsuko Harano et al. [7] reported that in turning WC-7% mass Co cemented carbide (grain size: 2  $\mu\text{m}$ ) with the PCD tool, whose average grain size was 5  $\mu\text{m}$ , under the condition of a cutting speed of 0.33 m/s, a depth of cut of 0.05 mm and a feed rate of 0.1 mm/rev, the flank wear width is about 0.22 mm after cutting to 280 m. Therefore, when cutting cemented carbide at a high cutting speed, due to elevation of the cutting temperature, the tool life is remarkably shortened. For this reason, the recommended cutting speed is 0.17- 0.33 m/s in cutting cemented carbide with a PCD tool [6]. On the other hand, a high-pressure coolant cutting which supplies cutting fluid to the rake face and the flank face is an effective way to lower the cutting temperature [8]-[12]. However, the influences of the cutting speed on the tool wear in higher speed cutting of WC-Co cemented carbide with high-pressure coolant supplied have not been reported.

In order to identify an effective PCD tool for the high-speed cutting of WC-16 mass% Co cemented carbide, the influences of the diamond content and the diamond particle size on the tool wear were experimentally investigated. As the WC-16 mass% Co cemented carbide was turned with high-pressure coolant supplied, the tool wear was experimentally investigated.

## CONCLUSIONS

To identify an effective PCD tool for the high-speed cutting of WC-16 mass% Co cemented carbide, the influences of the diamond content and the diamond particle size on the tool wear were experimentally investigated. As the WC-16 mass% Co cemented carbide was turned with high-pressure coolant supplied, the tool wear was experimentally investigated.

The following results were obtained:

- (1) In turning WC-16 mass% Co cemented carbide with the PCD tool, the wear progress slowed down considerably by using the high-pressure coolant supplied method.
- (2) In the case of the cutting of high-pressure coolant supplied by the PCD tool, the tool wear of the PCD tool decreased with the increase in the diamond particle size.
- (3) In the case of the cutting of the high-pressure coolant supplied by the PCD tool, which has a large diamond particle size, WC-16 mass% Co cemented carbide could be cut at the higher cutting speed of 1.167 m/s.

## ACKNOWLEDGMENTS

I am grateful to Mr. Yusuke Morigo, who is a researcher

of TOKUPI Corporation (3-167 Otake Yao Osaka, 572-8530, JAPAN) and Mr. Kazuki Okayama, who was a student of 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 turning test, which enabled this work to be conducted. I would also like to express gratitude to Tungaloy Corporation for the supply of both the tool holder and PCD inserts.

## REFERENCES

- [1] J.C.P. Zunega, M.G.Gee, R.J.K.Wood, J.Walker, Scratch testing of WC/Co hardmetals, *Tribology International*, 54, (2012), pp. 77-86.
- [2] Hwan-Cheol Kim, In-Jin Shon, Jin-Kook Yoon, Jung-Mann Doh, Consolidation of ultra fine WC and WC-Co hard materials by pulsed current activated sintering and its mechanical properties, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 25, (2007), pp. 46-52.
- [3] R.A. Mahdavinjad, A. Mahdavinjad, ED machining of WC-Co, *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163, (2005), pp. 637-643.
- [4] Wolfgang Hintze, Stefan Steinbach, Claudia Susemihl, Falko Kähler, HPC-milling of WC-Co cemented carbides with PCD, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 72, (2018), pp. 126-134.
- [5] M. Belmonte, P. Ferro, A.J.S. Fernandes, F.M. Costa, J. Sacramento, R.F. Silva, Wear resistant CVD diamond tools for turning of sintered hardmetals, *Diamond and Related Materials*, 12, (2003), pp. 738-743.
- [6] e. g., Tungaloy Corporation, catalog of cutting tool, (2013-2014), p. 3-20.
- [7] Katsuko Harano, Takeshi Satoh, Hitoshi Sumiya and Satoru Kukino, Cutting Performance of Nano-Polycrystalline Diamond, *SEI Technical Review*, 71, (Oct. 2010), pp. 98-103.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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 (ICMAE2017)*, Prague, Czech Republic, (2017), pp. 50-55.

# Tool Wear in Intermittent Cutting of AISI 304 Stainless Steel by Thermally-Sprayed Coatings

Tadahiro WADA

Key Engineering Materials, Vol. 821, pp 287-293 (ISSN: 1662-9795, Submitted: 2019-04-19, Accepted: 2019-05-23, Online: 2019-09-11).

Selected peer reviewed papers from 2019 The 9th International Conference on Key Engineering Materials, March 29-April 1, 2019, Oxford, United Kingdom.

## INTRODUCTION

Engineering processes can be used to modify the surface properties of metallic materials in different types of industries. Thermal spraying is a technique commonly used for obtaining the metal matrix and deposited coatings due to easy process ability, reasonable material costs and good mechanical properties [1]. To increase the wear, erosion, and corrosion resistance of tribologically-stressed functional surfaces, the use of thermally-sprayed coatings is increasing [2]. Many studies on thermal spraying have been reported [3-8].

Ni-based materials alloyed with Cr or/and Al such as NiCr, NiAl or NiCrAlY are frequently employed as coatings to protect components against high-temperature corrosion [8]. A thermally-sprayed coating such as NiCrBSi made by adding Cr, B, Si to a Ni-based thermally-sprayed coating, presents a high bonding strength and excellent resistance to adhesive and abrasive wear at elevated temperatures. So, typical applications are, for example, piston rings or rollers in steel making [3].

WC-Co coating is widely used for wear resistance applications. The addition of Cr to WC-Co improves binding of the metallic matrix with the WC grains and provides a better wear-resistant coating [9]. Stellite-21, WC-Co-Cr and Cr3C2-NiCr coating powders were deposited on high tensile steel being used for tiller blades by the pulsed detonation spraying technique and the wear behavior of these coatings was evaluated by the pin-on-disc mechanism at an ambient temperature under dry conditions in accordance with the ASTM G-99 standard [10]. As a result, it was observed that the WC-Co-Cr coating on high tensile steel provided higher wear resistance in abrasion in comparison to Cr3C2-NiCr and Stellite-21 [10].

Ball valves are widely used in the processing industry to control the flow rate and flow direction or cut off the flow of the pipeline system [11]. Stainless steel is renowned for its corrosion resistance, and it is widely used for applications such as ball valves in corrosive environments [12]. In order to improve the wear resistance, a thermally-sprayed coating may be applied to the ball of the ball valve in some cases. To improve the dimensional accuracy or surface roughness, it is often necessary for thermally-sprayed machine parts to be machined by the removal process. As a thermally-sprayed coating often shows difficult-to-cut properties, a cutting [13], grinding [2, 9] or honing [14] process is usually employed. Replacement of the grinding process with a cutting process is an effective method of improving the productivity. Cutting is performed intermittently because there is a hole in the ball part. However, there are no studies on intermittent cutting of thermally-sprayed coatings.

In this study, in order to obtain an effective tool material for intermittent cutting of two types of thermally-sprayed coatings, tool wear was investigated experimentally. The Ni-based self-fluxing alloy coating (Ni67, Cr16, B4, Si4, Cu3, Mo 3, Fe2.5, C0.5) and the thermally-sprayed (WC-Cr-Ni) cermet coating (W70, Cr19, Ni5, C6) were used as the thermally-sprayed coatings. AISI 304 stainless steel was used as a substrate material of thermally-sprayed coatings. In the case of the intermittent cutting of Ni-based self-fluxing alloy coating, conventional cutting materials, namely CVD-coated cemented carbide and ceramics, were used as cutting materials. In the case of the intermittent cutting of the thermally-sprayed (WC-Cr-Ni) cermet coating, in addition to Si3N4 ceramics, three types of uncoated cBN and a coated cBN were also used as the tool materials. Intermittent cutting of these two types of thermally-sprayed coatings was carried out with various cutting materials.

## CONCLUSIONS

In this study, to obtain an effective tool material for the intermittent cutting of two types of the thermally-sprayed coating AISI 304, the tool wear was investigated experimentally.

The results are as follows:

- A. In the case of intermittent cutting of Ni-based self-fluxing alloy coating AISI 304:
- (1) The Si3N4 ceramics are considered an effective tool material.
  - (2) There was little difference in the maximum value of flank wear width "VBmax" of the Si3N4 ceramic among 0.50 m/s, 1.00 m/s and 1.67 m/s.
- B. In the case of intermittent cutting of thermally-sprayed (WC-Cr-Ni) cermet-coated AISI 304:
- (1) The uncoated cBN is considered to be a suitable tool material.
  - (2) The cBN having the large grain size of cBN and high

contents rate was effective for wear resistance.

- (3) cBN having excellent hardness and the transverse-rupture strength was effective for wear resistance.
- (4) In the case of the cBN C, there was little difference in the VBmax between 0.50 m/s and 1.00 m/s.

## ACKNOWLEDGMENT

This work was carried out as part of the joint research system with Nippon Ball Valve Co., Ltd. (main office: 5-650 Otoriminamimachi, Nishi-ku, Sakai-shi, Osaka, JAPAN). I am grateful to Mr. Kazuhiro Sugieda and Mr. Takumi Ogata from the National Institute of Technology, Nara College, for their help in the execution of the cutting experiment. I would also like to express our sincere thanks to the Tungaloy Corporation for their cooperation in the supply of cutting inserts.

## REFERENCES

- [1] Chao Zheng, Yonghong Liu, Jie Qin, Cheng Chen, Renjie Ji, "Wear behavior of HVOF sprayed WC coating under water-in-oil fracturing fluid condition", *Tribology International*, 115, pp. 28-34, 2017.
- [2] Sebastian Goeke, Tobias Brüggemann, and Dirk Biermann, "Development of Machining Processes for the Use of Multilayer High-Performance Coatings", *ISRN Tribology*, vol. 2013, 6 pages, 2013.
- [3] J. Rodriguez, A. Martin, R. Fernández, J.E. Fernández, "An experimental study of the wear performance of NiCrBSi thermal spray coatings", *Wear*, 255, pp. 950-955, 2003.
- [4] G. Bolelli, L.-M. Berger, T. Börner, H. Koivuluoto, L. Lusvarghi, C. Lyphout, N. Markocsan, V. Matikainen, P. Nylén, P. Sassatelli, R. Trache, P. Vuoristo, "Tribology of HVOF- and HVAF-sprayed WC-10Co4Cr hardmetal coatings: A comparative assessment", *Surface and Coatings Technology*, 265, pp. 125-144, 2015.
- [5] S. Sampath, X.Y. Jiang, J. Matejcek, L. Prchlik, A. Kulkarni, A. Vaidya, "Role of thermal spray processing method on the microstructure", *Materials Science and Engineering A*, 364, pp.216-231, 2004.
- [6] Davide Fantozzi, Ville Matikainen, Mikko Uusitalo, Heli Koivuluoto, Petri Vuoristo, "Chlorine-induced high temperature corrosion of Inconel 625 sprayed coatings deposited with different thermal spray techniques", *Surface and Coatings Technology*, 318, pp. 233-243, 2017.
- [7] P. Cavaliere, A. Silvello, N. Cinca, H. Canales, S. Dosta, I. Garcia Cano, J. M. Guilemany, "Microstructural and fatigue behavior of cold sprayed Ni-based superalloys coatings", *Surface and Coatings Technology*, 324, pp. 390-402, 2017.
- [8] E. Sadeghimeresht, N. Markocsan, M. Huhtakangas, S. Joshi, "Isothermal oxidation of HVAF-sprayed Ni-based chromia, alumina and mixed-oxide scale forming coatings in ambient air", *Surface and Coatings Technology*, 316, P. 10-21, 2017.
- [9] J.K.N. Murthy, D.S. Rao, B. Venkataraman, "Effect of grinding on the erosion behaviour of a WC-Co-Cr coating deposited by HVOF and detonation gun spray processes", *Wear*, 249, pp. 592-600, 2001.
- [10] Amardeep S. Kanga, Jasmaninder S. Grewal, Gurmeet S. Cheema, "Effect of thermal spray coatings on wear behavior of high tensile steel applicable for tiller blades (5th International Conference on Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016)", *Materials Today: Proceedings* 4, pp. 95-103, 2017.
- [11] Baoling Cui, Zhe Lin, Zuchao Zhu, Huijie Wang, Guangfei Ma, "Influence of opening and closing process of ball valve on external performance and internal flow characteristics", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 80, pp. 193-202, 2017.
- [12] J. Vetter, T. Michler, H. Steuernagel, Hard coatings on thermochemically pretreated soft steels: application potential for ball valves, *Surface and Coatings Technology*, 111, pp. 210-219, 1999.
- [13] Z.W. Zhong, Z.F. Peng, N. Liu, "Surface roughness characterization of thermally sprayed and precision machined WC-Co and Alloy-625 coatings", *Materials Characterization*, 58, pp. 997-1005, 2007.
- [14] Dirk Biermann, Sebastian Goeke, Wolfgang Tillmann, Jan Nebel, "Improvement of wear resistant thermally sprayed coatings by micro finishing", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 62, pp. 559-562, 2013.

奈良工業高等専門学校 研究紀要第55号

令和2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. 55, 2019  
CONTENTS

## Papers

Production of KATANA Objects Using Powder Metallurgy Technique ..... Hiroki KOTAKE, Mitsunori OZAKI, Hirotsugu SHIMADA, Tomohiro INOUE ..... 1 Ryuichi FUKUDA, Natsuki TANIMOTO, Atsushi SUDA, Yukinori TANIGUCHI	1
Effect of Circulation of Vortex Rings Discharged from Elliptical cell on Unsteady Supersonic Jet ..... Hiroshi FUKUOKA, Kotaro UEDA, Kazumasa KITAZONO ..... 5	5
Development of sap flow measurement system based on stem heat balance method ..... Hiroshi FUKUOKA, Taishu IRIGUCHI ..... 10	10
Study on Safety of Work Monorail Turnouts and Crossings - Proposal Using PLC Controller - ..... Mitsuki HOSHIDA, Naoki MATSUMOTO, Haruki NAKANISHI ..... 16 Masayoshi KONDO, Nozomi IGUCHI, Takao MUROMAKI, Atsushi SUDA	16
A Study for Cooling Characteristics of Polymer Aqueous Solutions ..... Mitsuyoshi SHIMAOKA, Shigeto NAKAMURA and Nobuhiro IKEDA ..... 21	21
Reconsideration of Atago-Hyakuin ..... Katsuhiro SETA ..... 28	28

## Abstract

Properties of TaWN and TaN/TaWN Coating Film Deposited on WC-Co-Based Cemented Carbide using Magnetron Sputter Ion Plating ..... Tadahiro WADA ..... 42	42
Tool Wear of Aluminum/Chromium/Tungsten-Based Coated Cemented Carbide in Cutting Alloy Steel ..... Tadahiro WADA ..... 43	43
Wear Mechanism of Multi-layer AlCrWN/AlCrWSiN Coatings on Cemented Carbide Tool Prepared by Arc Ion Plating in Dry Cutting of Sintered Steel ..... Tadahiro WADA and Hiroyuki HANYU ..... 44	44
Tool Wear of Poly Crystalline Diamond in Cutting WC-Co Cemented Carbide with High-Pressure Coolant Supplied ..... Tadahiro WADA ..... 45	45
Tool Wear in Intermittent Cutting of AISI 304 Stainless Steel by Thermally-Sprayed Coatings ..... Tadahiro WADA ..... 46	46