

立 命 館 大 学
理 工 学 研 究 所 紀 要
第73号

MEMOIRS
OF THE
INSTITUTE
OF
SCIENCE & ENGINEERING

RITSUMEIKAN UNIVERSITY
KUSATSU, SHIGA, JAPAN
NO. 73

2014

<一般論文>

1. 代数体上の平方剰余の相互法則	石井 秀則	1
2. エポキシ樹脂研磨パッドの粘弾性と研磨特性	谷 泰弘・張 宇・村田 順二	5
3. 電着工具用の部分Ni被覆ダイヤモンド砥粒の開発	張 宇・谷 泰弘・村田 順二	15
4. ワイヤ擦過援用ウェットエッチングによるシリコンインゴットの切断の基礎的検討	谷 泰弘・張 宇・村田 順二	27
5. 言語コミュニケーション論における「希望学」―「分かり合う」ことは可能か： W.V.O. Quine, D. Davidson, R. Rortyの議論を出発点に	山中 司	37
6. Formation of Forsterite Grains and Direct Observation of The Sublimation of Crystal Formation Grain	堀内 千尋	45
7. 敷葉（しきば）工法とその起源	奥田 昌男・中根 洋治・可児 幸彦・西村 勝広・早川 清	53
8. 遺跡から知る切盛土工	西村 勝広・可児 幸彦・奥田 昌男・中根 洋治・早川 清	63
9. オペレーションズリサーチ エクセルソルバーで解く線形計画法1	林 芳樹	71
大型研究装置成果報告書		79
理工学研究所記事		125

代数体上の平方剰余の相互法則

石井秀則

=====

Quadratic reciprocity law over number fields

Hiddenori Ishii

Quadratic reciprocity law, which was first proved by C.F. Gauss [1], can be viewed as a relation of two quadratic Dirichlet characters. The author has given a proof by virtue of the functional equation of Dedekind zeta function of biquadratic number fields. [3], In this paper, similar argument as in [3] will be applied to relative biquadratic extensions of number fields. Then we will show a generalization of quadratic reciprocity law over number fields.

Keywords ; Quadratic reciprocity, quadratic extension of number fields, functional equation of Dedekind zeta function, Hecke characters of the ideal class group

E-mail: ishii@se.ritsumei.ac.jp

=====

立命館大学理工学部数理科学科

Department of Mathematical Sciences, Ritsumeikan University,
Kusatsu, Shiga, 525-8577, Japan

1 序文

次の平方剰余の相互法則は 1801 年に Gauss[1] が最初の証明を与えてから、ガウス自身も含め、多くの数学者により、約 240 の別証明が与えられてきた。cf.Lemmermeyer[4]

定理（平方剰余の相互法則）

p と q は相異なる奇素数とする。このとき

$$\left(\frac{p}{q}\right)\left(\frac{q}{p}\right) = (-1)^{\frac{p-1}{2} \frac{q-1}{2}}$$

が成り立つ。

著者は [3] において、 $L = \mathbf{Q}(\sqrt{p^*}, \sqrt{q^*})$ とし、 L のデデキント・ゼータ関数 $\zeta_L(s)$ を類体論を用いて分解し、関数等式を適用することによって、平方剰余の相互法則を証明した。ここで、 $p^* = (-1)^{\frac{p-1}{2}} p$, $q^* = (-1)^{\frac{q-1}{2}} q$ である。この方法は、有理数体の特殊性を使わないので一般の代数体上の場合に拡張が可能であった。本論文においては、 F を代数体とし、 F の 2 と素な相異なる素イデアル $\mathfrak{p}, \mathfrak{q}$ に対し、 $\chi_{\mathfrak{p}}, \chi_{\mathfrak{q}}$ をそれぞれ、導手 $\mathfrak{p}, \mathfrak{q}$ のイデアル類指標で、位数が 2 のものとする。このとき、次が成り立つ。

定理 1.

$$\chi_{\mathfrak{p}}(\mathfrak{q}) = \chi_{\mathfrak{q}}(\mathfrak{p})$$

2 関数等式について

K は代数体とし、実素点の個数、虚素点の個数をそれぞれ、 r_1, r_2 とする。また、 $\mathfrak{m}$ は K の整イデアルとする。 $\mathfrak{m}$ を法とする原始的類指標 χ が $\forall \alpha \equiv 1 \pmod{\mathfrak{m}}$ に対して、

$$\chi((\alpha)) = \prod_v \left(\frac{\alpha_v}{|\alpha_v|} \right)^{u_v}$$

ここで、積は実素点を走る。 α_v は実素点 v に対応する α の共役である。 $u_v = 0, 1$

このとき、

$$\Lambda_K(s, \chi) = (d_K N(\mathfrak{m}))^{\frac{s}{2}} \prod_v \left(\pi^{-\frac{s+u_v}{2}} \Gamma\left(\frac{s+u_v}{2}\right) \right) (2(2\pi)^{-s} \Gamma(s))^{r_2} L(s, \chi)$$

とおく。ここで、積は実素点を走る。 d_K は K の判別式である。 $L(s, \chi)$ は Hecke の L 関数で、

$$L(s, \chi) = \sum_{\mathfrak{n}} \chi(\mathfrak{n}) N(\mathfrak{n})^{-s}$$

とくに、 $\chi = 1$ のときは $L(s, 1) = \zeta_K(s)$ は K のデデキントゼータであることに注意する。 $\Lambda_K(s) = \Lambda(s, 1)$ と書く。次に、ガウス和 $W(\chi)$ について説明する。

$$\chi_{\infty}(\alpha) = \prod_v \left(\frac{\alpha_v}{|\alpha_v|} \right)^{u_v}$$

とおく。ここで、積は実素点を走る。

$$\chi_f(\alpha) = \chi((\alpha))\chi_\infty(\alpha)^{-1}$$

とする。 K の共役差積 $\mathfrak{d}$ に対して、 $\mathfrak{d}m\mathfrak{c} = (b)$ となるように 整イデアル $\mathfrak{c}$, $(\mathfrak{c}, m) = 1$ をとり、

$$W(\chi) = \frac{\chi_\infty(b)}{\chi(\mathfrak{c})} \sum_{\alpha} \chi_f(\alpha) e^{2\pi i \text{tr}(\alpha/b)}$$

によって、ガウス和 $W(\chi)$ を定義する。(cf. Miyake.[5])

Hecke[2] は次の関数等式を証明した。

定理 (Hecke)

$$\Lambda(1-s, \chi) = T(\chi) \Lambda(s, \bar{\chi})$$

$$T(\chi) = i^{-u} W(\chi) / N(m)^{1/2}$$

$$u = \sum_{\mathfrak{p}} u_{\mathfrak{p}}$$

3 定理 1 の証明

F は n 次代数体とし、 F の異なる奇素イデアル $\mathfrak{p}, \mathfrak{q}$ に対し、 $\chi_1 = \chi_{\mathfrak{p}}, \chi_2 = \chi_{\mathfrak{q}}$ をそれぞれ、導手 $\mathfrak{p}, \mathfrak{q}$ の類指標で、位数が 2 のものとする。 χ_1, χ_2 に対応する F の 2 次拡大体をそれぞれ、 K_1, K_2 とし、その合成体を L とする。 L は F 上の (2,2) 型アーベル拡大体であり、あと 1 つの 2 次中間体を K_3 とし、 K_3 に対応する類指標を χ_3 とすると、 $\chi_3 = \chi_1 \chi_2$ である。類体論により、 ζ_L は次のように分解する。

$$\zeta_L(s) = \zeta_F(s) \prod_{i=1}^3 L(s, \chi_i).$$

これより、 $\chi_3 = \chi_1 \chi_2$ ならびに、 $|d_L| = |d_F|^4 \prod_{i=1}^3 N(m_i)$ (m_i は χ_i の導手) に注意して、

$$\Lambda_L(s) = \Lambda_F(s) \prod_{i=1}^3 \Lambda(s, \chi_i).$$

が得られる。 χ_i は位数が 2 なので、 $\chi_i = \bar{\chi}_i$ である。そこで、 $\Lambda_L(1-s) = \Lambda_L(s)$ の両辺に代入して、

$$\prod_{i=1}^3 W(\chi_i) = \prod_{i=1}^3 N(m_i)^{1/2}$$

がわかる。 $m_1 = \mathfrak{p}, m_2 = \mathfrak{q}$ は互いに素なので、 $m_3 = \mathfrak{p}\mathfrak{q}$ 、また、

$$W(\chi_1 \chi_2) = \chi_1(\mathfrak{q}) \chi_2(\mathfrak{p}) W(\chi_1) W(\chi_2)$$

$$W(\chi_i)^2 = |W(\chi_i)|^2 = N(m_i) \quad (i = 1, 2)$$

$$\chi_1(\mathfrak{q}) \chi_2(\mathfrak{p}) = 1$$

これで、定理 1 が証明された。

参考文献

- [1] Gauss, C. F. Disquisitiones arithmeticae, Lipsiae (Leipzig): Gerhard Fleischer (1801)
- [2] Hecke, E. Über eine neue Art von Zetafunktionen und ihre Beziehungen zur Verteilung der Primzahlen. Math.Z.,1(1918), 357-376;4(1920),11-21.
- [3] Ishii, H. Functional equations and the law of quadratic reciprocity, Mem. Inst. Sci. Eng. Ritsumeikan Univ.No.57(1998)1-3.
- [4] Lemmermeyer,H. Reciprocity Laws From Euler to Eisenstein, , Springer-Verlag(2000)..
- [5] Miyake, T. Modular forms, Springer-Verlag(1989).

エポキシ樹脂研磨パッドの粘弾性と研磨特性

谷 泰弘¹⁾, 張 宇¹⁾, 村田順二²⁾

=====

Relationship between polishing performance and viscoelasticity of epoxy resin polishing pads

Yasuhiro TANI¹⁾, Yu ZHANG¹⁾ and Junji MURATA²⁾

Polishing performances of glass using epoxy resin polishing pads from the aspect of their mechanical properties are described. Material removal rates are independent to the hardness of the epoxy resin pads. The different types of epoxy resin pads are produced by varying the composition of the resin and the curing agent. Dynamic mechanical analysis (DMA) of the epoxy and conventional urethane resin polishing pads was conducted to investigate the relationship between the material removal rates and the mechanical properties of the epoxy resin polishing pads. DMA measurement indicates that the epoxy resin polishing pads showed a significant difference in the storage and loss modulus compared to the conventional urethane pads. Moreover, the epoxy resin pads showed a higher loss tangent ($\tan \delta$) than the urethane resin polishing pad. From the investigation of the relationship between the material removal rates and $\tan \delta$ of the polishing pads, the strong positive correlation between the material rate and $\tan \delta$ is observed. Finally, the dependence of polishing conditions on the material removal rate by the epoxy and urethane resin pads is evaluated. It is found that the difference in the material removal rate between the epoxy and urethane resin pads becomes larger under a condition of a low abrasive concentration and a high rotation rate.

Key Words : Polishing, Abrasive Grain, Polishing Pad, Epoxy Resin, Cerium Oxide, Glass, Viscoelasticity

E-mail : zhangyu@fc.ritsumeai.ac.jp (Y. Zhang)

=====

¹⁾ 立命館大学理工学部機械工学科

²⁾ 近畿大学理工学部機械工学科

¹⁾ Department of Mechanical Engineering, Ritsumeikan University,
Kusatsu, Shiga, 525-8577, Japan

²⁾ Department of Mechanical Engineering, Kinki University,
Higashiosaka, Osaka, 577-8502, Japan

1. 緒 言

ガラスの鏡面研磨に多用されている研磨材、酸化セリウムは昨今のレアアース供給不足の影響を受け、国内における価格が高騰している。このような状況のなか、ガラス研磨における酸化セリウム砥粒の使用量を低減することや他の砥粒に代替する取り組みが産学官において進められている（須田，2012）（山崎他，2011）（池田他，2011）。筆者らは、その取り組みとして新規高機能研磨材や研磨工具の開発を行っている。（一廻穂他，2009 など）その一つに従来のウレタン樹脂に代わりエポキシ樹脂を採用した多孔質エポキシ樹脂研磨パッドがある。多孔質エポキシ樹脂研磨パッドはスラリーに対する親和性が高く、作用砥粒数が向上することから、従来の多孔質ウレタンパッドと比較して2倍程度の研磨能率が得られることがわかっている。また、表面粗さやうねりなどの仕上げ面品質の向上が確認されている。さらに、ジルコニア砥粒とエポキシ樹脂研磨パッドを併用することにより、酸化セリウム砥粒の完全な代替を実現している（村田他，2011）。研磨パッドが研磨特性に与える要因には、スラリーに対する親和性以外にパッドの機械的物性が挙げられる。しかし、エポキシ樹脂研磨パッドの機械的特性と研磨特性の関係については明らかになっていない。そこで、本報では、エポキシ樹脂研磨パッドの機械的な物性が研磨特性に与える影響を調査した。まず、エポキシ樹脂研磨パッドを用いてガラスの研磨特性評価を行い、研磨パッドの硬度が研磨特性に及ぼす影響について評価を行った。次に、エポキシ樹脂研磨パッドの粘弾性を動的機械分析（Dynamic Mechanical Analysis, DMA）により評価し、研磨パッドの粘弾性と研磨特性との関係を調べた。最後に、エポキシ樹脂研磨パッドの研磨特性の加工条件依存性を評価し、従来のウレタン樹脂研磨パッドとの比較を行うことで、エポキシ樹脂研磨パッドに適した使用方法の検討を行った。

2. エポキシ樹脂研磨パッドの硬度と研磨特性の関係

まず、エポキシ樹脂研磨パッド（以下、エポキシパッドとする）の硬度が研磨特性に与える影響について評価

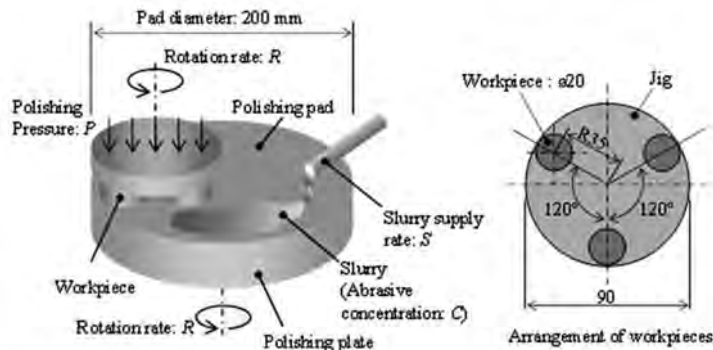


Fig. 1 Schematic view of polishing experiment

Table 1 Experimental condition

Workpiece		Abrasives	
Material	Soda-lime glass	Material	CeO ₂
Dimension	φ20 mm×t10 mm	Average diameter (D50)	1.2 μm
Surface roughness	0.4 μmRa	Product name	SHOROX A-10
Polishing condition		Slurry	
Polishing machine	φ200 mm single-sided	Base fluid	Deionized water
Polishing pressure, <i>P</i>	20 kPa	Abrasive concentration, <i>C</i>	3.0 wt%
Rotation rate, <i>R</i>	90 rpm	Supply rate, <i>S</i>	25 mL/min
Polishing time	30 min		

を行った。評価した研磨パッドは硬度（A デュロメータ硬度）が異なるエポキシパッド、ならびに比較対象として市販の多孔質ウレタン樹脂研磨パッド（九重電気，KSP-66A，以下，ウレタンパッドとする）である。エポキシパッドの硬度の違いは，研磨パッド内に含まれる気孔率および樹脂組成の差によるものである。図 1 および表 1 に研磨実験装置および研磨条件を示す。研磨機には，定盤径 200 mm の片面精密ラッピング装置（ナノファクタ，NF-300）を用いた。工作物はソーダガラスであり，3 点の工作物を直径 90 mm のワークホルダに対し，中心から半径 35 mm の位置に等間隔で貼付けた。工作物表面は，前処理として粒度#2000 の緑色炭化珪素（GC）砥粒を用いたラッピングにより表面粗さを約 $0.4\ \mu\text{mRa}$ に加工した。研磨パッドの表面は，ノーズ半径 0.5 mm のダイヤモンドバイトを用いて，切込み量 150 μm ，バイト送り速度 0.5 mm/s，パッド回転速度 100 rpm の条件で切削（フェイシング）を行った。その後，粒度#100 のダイヤモンド電着砥石を用いて，ドレッサ/パッド回転速度 90 rpm の条件でドレッシングを 10 分間行った。研磨能率は加工前後の工作物の質量差によって算出した。研磨後工作物の表面粗さは，位相シフト干渉顕微鏡（Zygo, NewView 7300）により $0.70 \times 0.52\ \text{mm}$ の領域を測定し，カットオフ値 0.08 mm の高域フィルタを適用して，算術平均粗さ R_a を算出した。

図 2 に研磨パッドの硬度と研磨特性の関係を示す。エポキシパッドによる研磨能率は，パッド硬度に関わらずほぼ一定の値を示し，いずれも従来のウレタンパッドと比較して 70 % 程度高い値を示すことが分かった。一方，仕上げ面粗さはエポキシパッドの硬度に依存しており，硬度が小さくなるにつれてより優れた仕上げ面粗さが得られた。これは軟質な研磨パッドでは砥粒がパッドに沈み込むため，研磨パッドの砥粒保持性が向上し，作用砥粒数が増加したことによると考えられる。また，パッド硬度が低くなると砥粒切り込み深さは小さくなるため，これによっても表面粗さは改善される。一方，研磨能率は作用砥粒数の増加と切り込み深さの低下が相殺されることにより，パッド硬度によらずほぼ一定となったと考えられる。

以上より，エポキシパッドの硬度は研磨能率に影響を与えないことがわかった。しかし，本実験で使用した研磨パッドは，樹脂原料およびその配合比，気孔率など，複数のパラメータが異なっているため，最も研磨特性に寄与する要素を抽出することは困難である。そこで，樹脂の配合比のみを変化させたエポキシパッドを作製し，そ

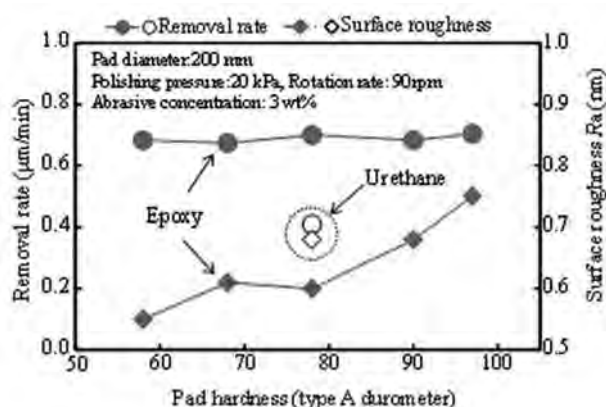


Fig. 2 Material removal rate and surface roughness by the urethane and epoxy resin pads as a function of pad hardness

Table 2 Composition and hardness of epoxy resin polishing pads

Pad resin type	Epoxy					Urethane
Product code	A	B	C	D	E	KSP66A
Prepolymer (wt%)	60.4	57.0	54.8	52.1	50.5	-
Curing agent-X (wt%)	12.6	11.2	10.2	9.1	8.4	-
Curing agent-Y (wt%)	27.0	31.8	35.0	38.8	41.1	-
Hardness (type D durometer)	77.5	72.0	64.5	57.5	48.5	30.0

の機械的特性を DMA を用いて評価し、研磨特性との関係性を評価することとした。

3. エポキシ樹脂研磨パッドの粘弾性の評価

エポキシ樹脂は主剤と硬化剤の種類や配合比を変化させることで、種々の機械的特性を有する硬化物を作製することができる。そこで、主剤および硬化剤の種類は同一とし、配合比を変化させたエポキシパッドを作製し、DMA および研磨特性の評価を実施した。作製したエポキシパッドの主剤と硬化剤の配合比、ならびに硬度を表 2 に示す。使用したエポキシ樹脂主剤はビスフェノール A 型の液状樹脂（三菱化学（株）、jer834）であり、エポキシ当量は 230 g/eq である。硬化剤はアミン系であり、活性水素当量が 60 g/eq（X とする。JEFFAMINE D-230, Huntsman corp.）および 514 g/eq（Y とする。JEFFAMINE D-2000）の二種類である。エポキシ樹脂主剤、硬化剤を混合（いずれも当量配合）し、150 °C で 3 時間加熱を行うことで、直径 200 mm、厚さ約 5mm の円盤状硬化物を得た。本研究では、エポキシパッドの樹脂組成による影響のみを評価対象とするため、気孔剤は添加せず無気孔のパッドを作製した。開発したエポキシパッドは硬化剤 Y の増加に伴い、硬度が低下することが分かる。

次に、開発したエポキシパッドの DMA 評価をレオメータ（HR-2, TA Instruments - Waters LLC）を用いて行った。測定条件は、引張りモードで昇温速度は 5 °C /min とし、周波数 1 Hz、入力歪 0.05 % とした。また、試験片として 10 × 50 mm、厚さ 1.5 mm に切り出したエポキシパッドを用いた。実験装置、測定原理を図 3 に示す。

エポキシ樹脂やウレタン樹脂組成物のような高分子体は、粘弾性といわれる弾性固体と粘性液体の両方の性質を示す。そこで引張り制御されている試験片にサイン波のねじり歪みを入力し、測定される応力と入力歪みの位相差 δ を用いて粘弾性を評価する。完全弾性体の位相差 δ は 0 ° となり、完全粘性体の位相差 δ は 90 ° となる。高分子のような粘弾性体の位相差 δ は 0 から 90 ° の間となる。まず、時間的な遅れを持った歪みと応力は式 (1) に示されるように複素弾性率 G^* で表される。

$$G^* = \sigma_0 / \varepsilon_0 \quad (1)$$

次に、粘弾性体に入力された歪みと同位相の応力成分である貯蔵弾性率 G' および、歪みより $\pi/2$ だけ位相が進んだ応力成分である損失弾性率 G'' はそれぞれ式 (2), (3) のように示される。

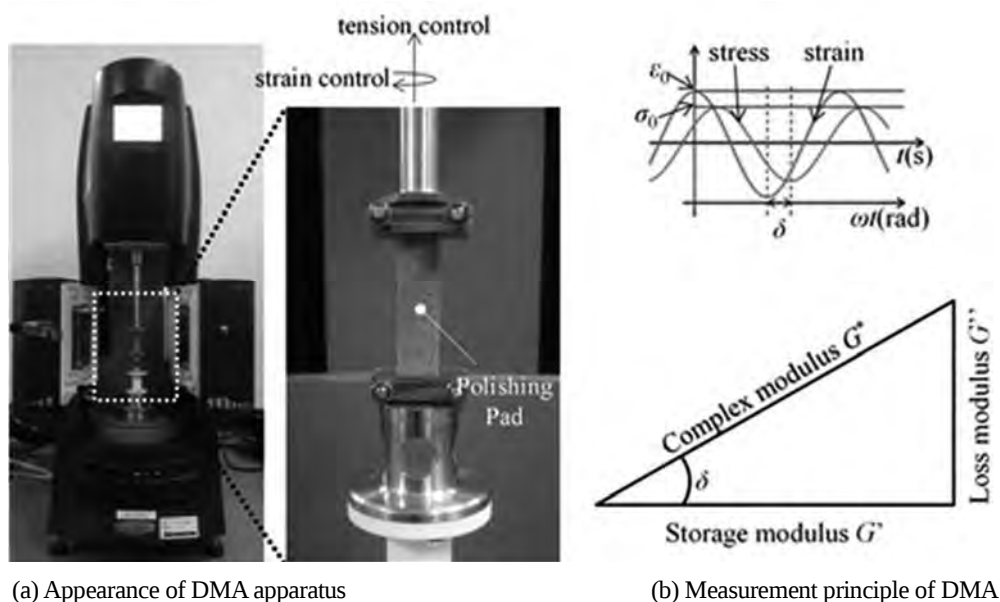


Fig. 3 Experimental setup of dynamic mechanical analysis (DMA)

$$G' = G^* \cos \delta \quad (2)$$

$$G'' = G^* \sin \delta \quad (3)$$

また、損失正接 $\tan \delta$ は損失弾性率と貯蔵弾性率の比であり、式 (4) に示される。

$$\tan \delta = G'' / G' \quad (4)$$

損失正接 $\tan \delta$ の値が大きい物質は歪みと応力の位相差が大きいため、応答が遅れることとなる。一方、 $\tan \delta$ の値が低い物質は位相差が小さいために応答が早いことを意味している。また、 $\tan \delta$ が最大となる温度はガラス転移温度 T_g と定義される (Charns, et al., 2005)。

作製したエポキシパッドの DMA 評価結果を図 4 に示す。エポキシパッドはウレタンパッドと比較して DMA 特性が大きく異なることが分かる。具体的には、エポキシパッドは従来のウレタンパッドと比較して雰囲気温度 (T_{DMA}) の上昇に伴い、貯蔵弾性率と損失弾性率が大きく低下する (図 4 (a), (b))。また、図 4 (c) に示すように、エポキシパッドの $\tan \delta$ は常温付近でウレタンパッドよりも大きな値を示すことも分かる。各エポキシパッドに着目すると、エポキシ樹脂の硬化剤 Y の増加 (A→C→E の順) と共に T_g が低温側に移動している。これは、活性水素当量の大きい硬化剤 Y の増加により、樹脂硬化物内の架橋密度が低下し、分子鎖の流動性が大きくなったためである。一方、ウレタンパッドは温度によって貯蔵弾性率や損失弾性率がほぼ変化しないことが分かった。

4. エポキシ樹脂研磨パッドの粘弾性と研磨能率

前章で述べたように、エポキシパッドは従来のウレタンパッドと比較して粘弾性が大きく異なることが分かった。そこで、エポキシパッドの粘弾性と研磨特性の関係を調査するべく、エポキシパッドの研磨能率の評価を行った。実験条件は表 1 と同様である。使用した研磨パッドは表 2 に示したエポキシパッド C および E である。エポキシパッドの粘弾性は温度によって大きく変化したが、その研磨特性への影響を調べるため、研磨温度を 11, 22, 33 °C として研磨特性を評価した。図 5 に示すように、定盤とスラリーを恒温水で冷却、またはヒータによって加熱を行いながら研磨を行った。また、研磨パッドの表面温度 T_{ps} (°C) を赤外線放射温度計 ((株) 堀場製作所, IT-540E) により測定した。パッド表面と工作物が接触している点においては、摩擦熱が発生しパッド表面の温度が増大していると考えられる (杉本他, 1994)。パッド表面の測定点における温度 T_{ps} に対し、研磨点での温度上昇を α (°C) と定義した。

図 6 に各研磨温度による研磨特性の評価結果を示す。ウレタンパッドは研磨温度 T_{ps} に対して、研磨能率の変

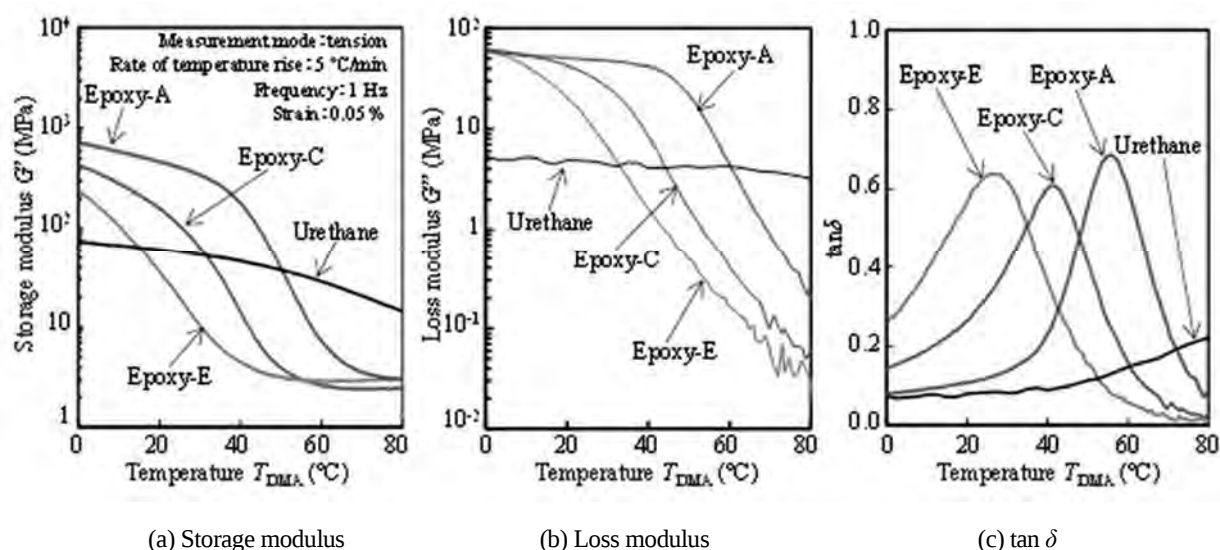


Fig. 4 Dynamic viscoelastic properties of the urethane and epoxy resin pads as a function of temperature

化は少なくほぼ一定であった。これは、前章で示したように、ウレタンパッドの粘弾性が温度によってほとんど変化しないためであろう。また、ガラスの研磨特性に影響を与える要因としてスラリーの温度も挙げられる (Kim, et al., 2005) が、本実験での温度の範囲では、その影響はわずかであることがわかった。それに対し、エポキシパッドは、研磨能率が研磨温度 T_{ps} によって大きく変化した。また、いずれの研磨温度においても、エポキシパッドはウレタンパッドと比較して高い研磨能率、優れた仕上げ面粗さが得られることが分かる。エポキシパッド C は 22 °C、エポキシパッド E は 11 °C において最大の研磨能率を示した。このように、樹脂の組成によってエポキシパッドの研磨能率に大きな差が現れることが分かった。

そこで、DMA により得られるパラメータの 1 つである $\tan \delta$ に着目し研磨能率との関係を評価した結果、図 7 (a) に示すように、研磨能率と $\tan \delta$ に合致はみられなかった。しかし、赤外線放射温度計で測定された温度と加工点での温度は異なるため、その影響を考慮する必要がある。そこで、研磨能率と $\tan \delta$ が合致すると仮定し、両者の残差平方和を計算した結果、 α が 20 °C の時に最小となった (図 7 (b))。よって、測定温度に対して加工点は 20 °C 上昇していると推定した。推定された温度を用いて、再度、研磨能率と $\tan \delta$ の関係を描画してみると、図 7 (a) に示すように、 α が 0 または 40 °C の際に比べて両者に合致がみられることがわかる。

次に、研磨温度を 22 °C と一定とし、作製した種々のエポキシパッドの研磨特性と $\tan \delta$ の関係を評価した。図 8 に示されるように、エポキシパッドは全て従来のウレタンパッドと比較して高い研磨能率を示したが、主剤と硬化剤の配合比によって、研磨特性が大きく異なることがわかった。そこで、各エポキシパッドの研磨能率と $\tan$

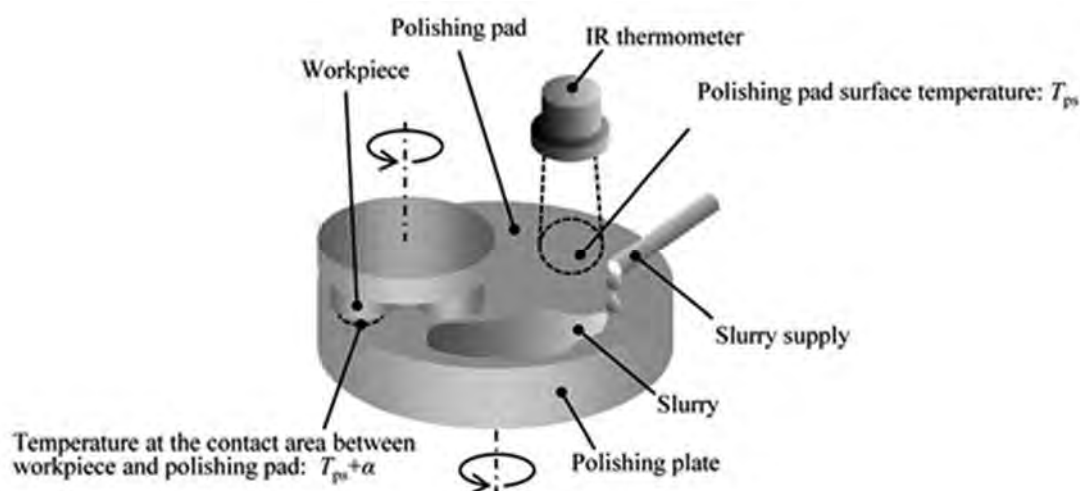


Fig. 5 Schematic view of the polishing experiment

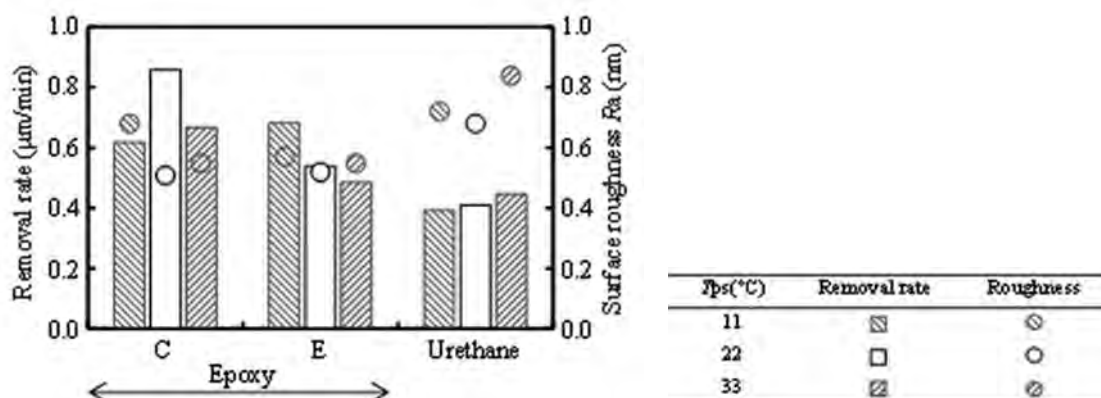


Fig. 6 Comparison of the material removal rate and surface roughness by the urethane and epoxy pads under the different temperature conditions

δ をプロットしたものが図9である。この時、 α は20℃としている。図に示されるように、種類の異なる研磨パッドを使用しても研磨能率と $\tan \delta$ にはやはり強い正の相関を示すことがわかった。図7では、研磨能率が $\tan \delta$ に依存するとの仮定のもと、研磨点での上昇温度 α を見積もったが、図9の結果から、研磨温度を一定とし、異なる種類のエポキシパッドで評価した場合にも同様の結果が得られたため、この仮定は妥当であったと結論付けられる。

上記のような、研磨パッドの粘弾性と研磨特性の関係について考察を行った。図10(a)に示されるように遊離砥粒研磨では、パッド上に保持された砥粒が、工作物表面を引っかき、その微小な切削作用で工作物表面の除去が進行する。加工域に侵入しパッド上に保持された砥粒は、工作物からの圧力によって研磨パッドに沈み込みながら工作物を除去する。またこの時、研磨パッドは工作物や砥粒から負荷を受け圧縮される。図10(b)に示すように、工作物が移動した後に、研磨パッドは工作物から受けていた荷重から解放されるため、研磨パッドの変位が回復する。この時 $\tan \delta$ の値が小さい研磨パッドは、研磨パッドの変位の回復が早く砥粒がパッド表面上から離れスラリー中に浮遊する。一方、 $\tan \delta$ の値が大きい研磨パッドはパッドの変位の回復が遅いために、多くの砥粒が保持された状態でパッド表面上に残留すると考えられる。こうして保持された砥粒は、次に工作物と研磨パッドが接触する際にもパッド上に保持されたままであり、この砥粒が工作物表面を除去することとなる。図10では、工作物表面の凹凸が砥粒よりも小さく描いているが、実際の工作物表面は砥粒よりも大きな凹凸があり、

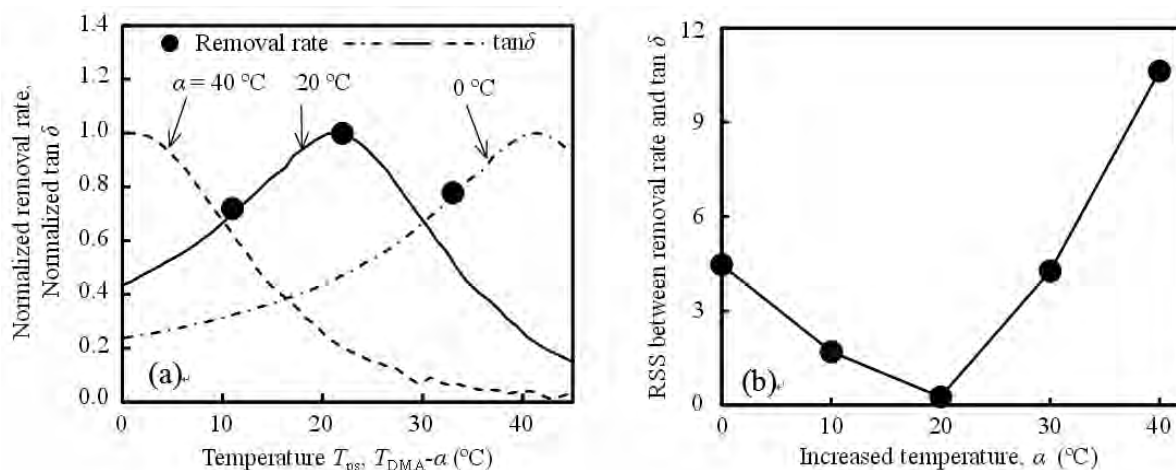


Fig. 7 (a) Temperature dependence of the material removal rate and $\tan \delta$ of the epoxy resin pad (C). (b) Residual sum of squares (RSS) between the material removal rate and $\tan \delta$ of the epoxy resin pad (C) as a function of the increased temperature α .

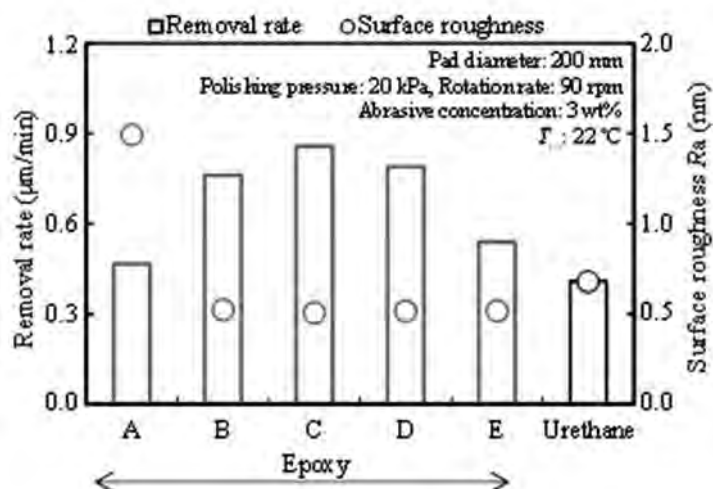


Fig. 8 Comparison of the material removal rate and the surface roughness by the different type of epoxy resin pads

研磨パッドの圧縮とその開放は1つの工作物内において、短い周期で繰り返されている。 $\tan \delta$ の値が高い研磨パッドは砥粒の保持性が高く、加工域に多くの砥粒が存在することとなり、高い研磨能率が得られたと考えられる。

5. エポキシ樹脂研磨パッドの研磨特性の加工条件依存性

異なる粘弾性を有する二種類のエポキシパッド (C, E) を用いて、研磨特性の加工条件依存性を評価した。本実験では、定盤径 380 mm の片面研磨装置 (SPL-15F, (株) 岡本工作機械製作所)、定盤/工作物回転数は 60 rpm に変更し、その他の実験条件は表 2 と同様である。

まず、研磨時間と工作物表面粗さの関係を評価したものが図 11 である。ウレタンパッドは 15 分程度で表面粗さが飽和したのに対し、エポキシパッド C, E は 5 分程度とより短い研磨時間で到達粗さに達した。また、研磨時間 5 分後に注目するとエポキシパッド C はどの研磨パッドよりも優れた仕上げ面粗さが得られることが分かる。このように、 $\tan \delta$ の値が高い研磨パッドは砥粒の保持性に優れているために、多くの作用砥粒数が得られ研磨時間の短縮や短時間で優れた仕上げ面粗さが得られる。結果として、ウレタンパッドの 15 分研磨後と、エポキシパッド C の 5 分研磨後のガラス表面の仕上げ面粗さがほぼ同等なことから、エポキシパッド C を使用することで研磨時間を約 3 分の 1 にすることが可能であることが確認された。

次に、砥粒濃度および回転速度がエポキシパッドの研磨特性に与える影響について評価した。実験条件として、定盤回転数 60 rpm、砥粒濃度 3 wt% を基本条件とし、それぞれを独立に変化させ研磨特性を評価した。図 12 (a) にスラリー中の酸化セリウム砥粒濃度と研磨能率の関係を示す。開発したエポキシパッドはウレタンパッドと比較して全ての砥粒濃度において高い研磨能率が得られることが分かった。エポキシパッドはやはり $\tan \delta$ が大きい

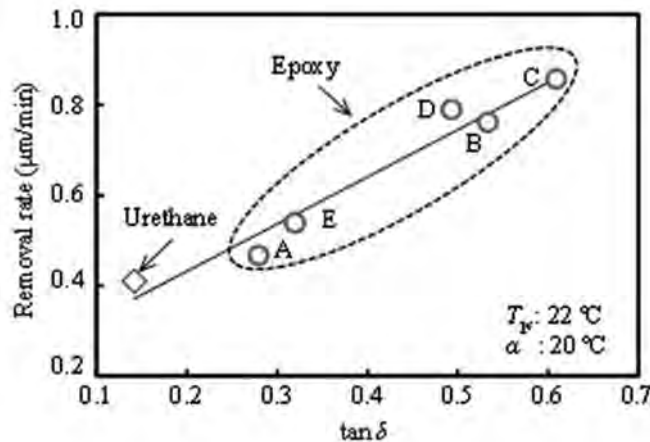


Fig. 9 Relationship between the material removal rate and $\tan \delta$ of the polishing pads

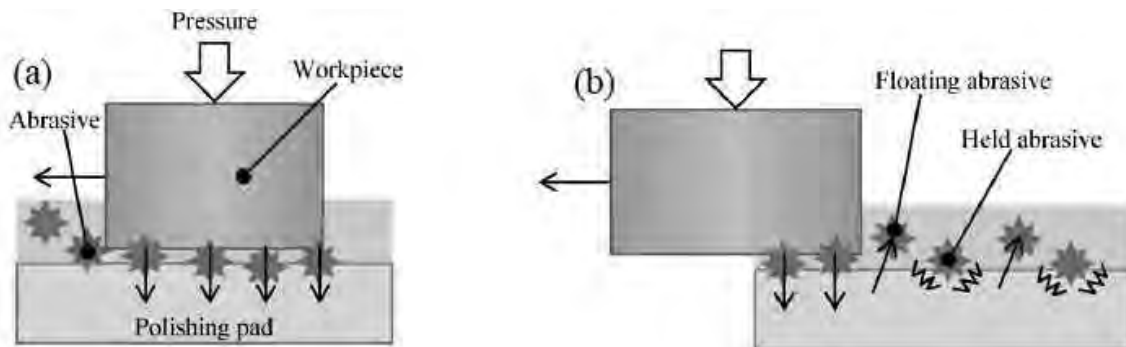


Fig. 10 Schematic drawing of the loose abrasive polishing

ため砥粒の保持性が高く、低砥粒濃度のスラリーにおいても多くの作用砥粒数が得られるためであると考えられる。エポキシパッドCはEと比較して高い研磨能率が得られたが、9 wt%の高砥粒濃度ではほぼ同等の研磨能率であった。砥粒濃度が増加するとスラリー中の砥粒間隔が小さくなり、砥粒同士が互いの動きを妨げるため、パッドの $\tan \delta$ によらず砥粒の滞留性が高くなることが要因である。ウレタンパッドは、スラリー親和性に乏しいことから、高い砥粒濃度でも加工域に十分なスラリーが供給されないため、エポキシパッドに比べて低い研磨能率を示したと考えられる。結果としてエポキシパッドCの砥粒濃度 0.5 wt%の研磨能率とウレタンパッドの砥粒濃度 9 wt%の研磨能率がほぼ同等のことから、エポキシパッドCを使用することで使用砥粒を約 94%低減できることが可能であることが分かった。

回転速度が研磨能率に与える影響を示したものが図 12 (b) である。低い定盤回転速度では砥粒またはスラリーに作用する遠心力が小さく、研磨パッドの種類によらず十分な作用砥粒数が得られるため、ウレタンパッドとエポキシパッドでは研磨特性に大きな差異が現れない。定盤回転速度を高くすると、砥粒と工作物の相対速度が上がり研磨能率は向上する。一方、定盤回転速度の増加に伴い砥粒に作用する遠心力が大きくなるため、砥粒の滞留性が低下する。砥粒の保持性の悪いウレタンパッドは 30 rpm 以上の回転速度では、研磨能率がほぼ飽和していることがわかる。一方、エポキシパッドCは砥粒の保持性が高いために、高回転速度条件においても十分な作用砥粒数が得られ、通常のウレタンパッドやエポキシパッドEと比較して高い研磨能率が得られたと考えられる。

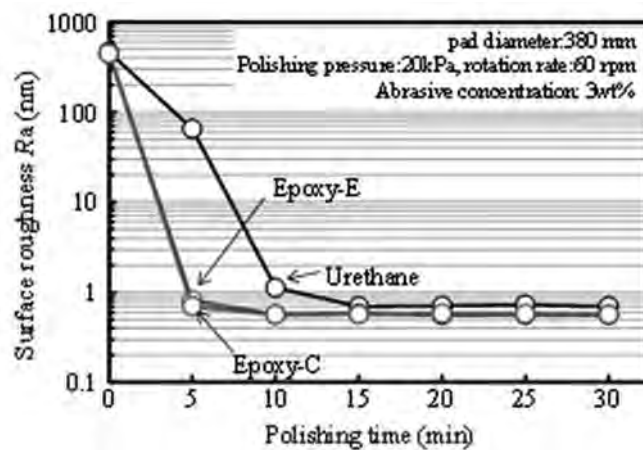
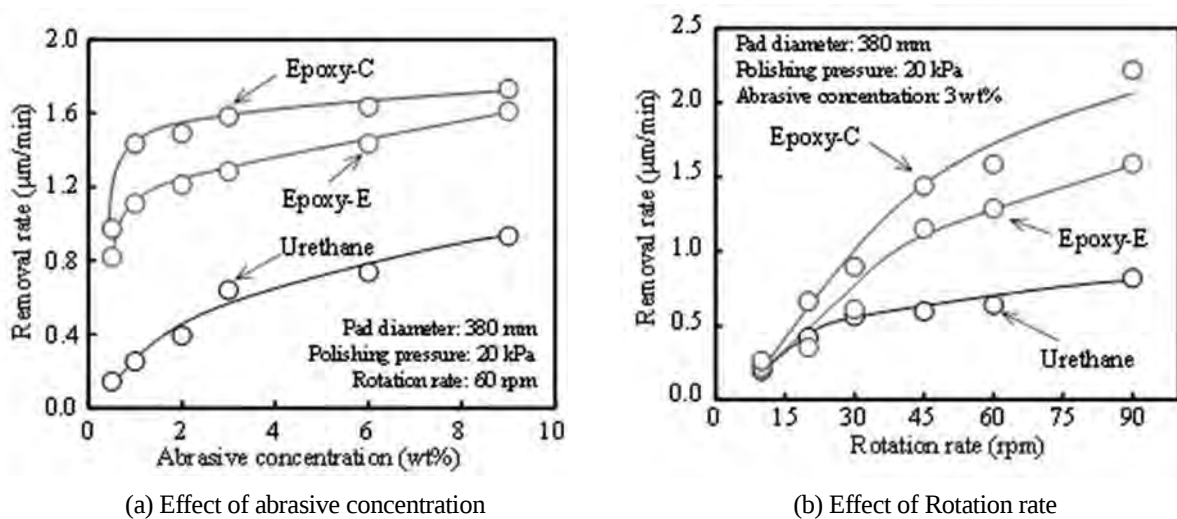


Fig. 11 The surface roughness of workpieces as a function of polishing time



(a) Effect of abrasive concentration

(b) Effect of Rotation rate

Fig. 12 Relationship between the material removal rate and polishing conditions

6. 結 語

本研究では、エポキシ樹脂研磨パッドの機械的物性値である粘弾性に着目し研磨特性との関係を調査した。また、研磨特性の加工条件依存性を評価した。以下に、本研究で得られた結果についてまとめる。

- (1) 樹脂の原料配合比を変化させたエポキシ樹脂研磨パッドを作製し、動的粘弾性評価を行った結果、従来のウレタンパッドと比較して、大きな $\tan \delta$ を示すことがわかった。
- (2) エポキシパッドの研磨能率と $\tan$ が合致するとの仮定し、加工点における研磨パッドの温度を見積もった結果、測定温度に対する加工点での温度上昇は 20°C と推定された。
- (3) 異なる樹脂組成のエポキシパッドの研磨特性を評価し、推定された上昇温度において研磨能率と $\tan \delta$ の関係を調べた結果、両者の間に正の相関関係が認められた。
- (4) エポキシ樹脂研磨パッドはウレタン樹脂研磨パッドと比較して短い研磨時間で到達粗さに達し、かつ優れた仕上げ面粗さが得られることが分かった。
- (5) エポキシ樹脂研磨パッドは低砥粒濃度、高回転速度の条件においても優れた研磨能率が得られることが分かった。また、従来のウレタンパッドと比較して砥粒使用量を約 94 %低減できることが分かった。

文 献

- Charns, L., Sugiyama, M. and Philipossian, A., Mechanical properties of chemical mechanical polishing pads containing water-soluble particles, thin solid film, Vol. 485 (2005), pp. 188-193.
- 一廻穂 直聡, 山口雄也, 櫻井健行, 谷 泰弘, 金 泰元, 洗浄性を考慮した複合砥粒の開発とその研磨特性, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 75, No. 757 (2009), pp. 2429-2434.
- 池田 洋, 赤上陽一, 畠田道雄, 大西 修, 黒河周平, 土肥俊郎, 電界砥粒制御技術を適用したガラス基板の高効率研磨技術の開発-電界がスラリー挙動とガラスの研磨特性に及ぼす影響-, 精密工学会誌, Vol. 77, No. 10 (2011), pp. 960-965.
- Kim, N-H., Seo, Y-J. and Lee, W-S., Effects of Silica Slurry Temperature on Chemical Mechanical Polishing for Tetraethyl Orthosilicate Film, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 40 (2005), pp. L1256-L1258.
- 村田順二, 谷 泰弘, 広川良一, 野村信幸, 張 宇, 宇野純基, ガラス研磨用多孔質エポキシ樹脂研磨パッドの開発, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 77, No. 777 (2011), pp. 2153-2161.
- 須田聖一, ナノ分散化によるガラス研磨材の開発, マテリアルインテグレーション, Vol. 25, No. 6 (2012), pp. 45-50.
- 杉本文利, 鉾 宏真, 有本吉弘, 伊藤隆司, 酸化膜 CMP におけるウエハ温度の in situ モニタリング, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 94, No.194 (1994), pp.1-6
- 山崎 努, 土肥俊郎, 黒河周平, 大西 修, 畠田道雄, 梅崎洋二, 山口靖英, 岸井貞浩, 酸化セリウムとその代替を目指す酸化マンガ系スラリーによるガラス基板の研磨特性とその加工メカニズム, 精密工学会誌, Vol. 77, No. 12 (2011), pp. 1146-1150.

電着工具用の部分 Ni 被覆ダイヤモンド砥粒の開発

張 宇¹⁾, 谷 泰弘¹⁾, 村田順二²⁾

=====

Development of partially Ni-coated diamond abrasives for electroplated tools

Yu ZHANG¹⁾, Yasuhiro TANI¹⁾ and Junji MURATA²⁾

Electroplated diamond tools are developed for grinding hard and brittle materials because of its low wear resistance. To improve the grinding performance of diamond tools, a single layer of diamond abrasives is electroplated on the tool body. The electroplating process delivers a homogeneous layer with diamonds embedded in nickel alloy at high speed. In order to facilitate the adhesion of diamond abrasives, the diamond abrasives are coated by nickel membrane. Therefore, the cutting edges of diamond abrasives are hidden and the grinding performance of diamond tools decreases. Moreover, a phenomenon of abrasive aggregation generates and leads to bad abrasive distribution. In this paper, in order to solve those problems, authors developed partially Ni-coated diamond abrasives, which were produced from the commercially available full Ni-coated diamond abrasives. The adhesion characteristics of partially Ni-coated diamond abrasives were discussed, too. The grind-abilities of diamond tools, which are fabricated with using non-coated diamond abrasives, Ni-coated diamond abrasives and partially Ni-coated diamond abrasives, have been evaluated. As the results, the problems when using non-coated diamond abrasives or Ni-coated diamond abrasives could be solved and the grind-abilities of electroplated tools were improved with using partially Ni-coated diamond abrasives.

Key Words : Diamond tool, Abrasive grain, Electroplating, Grinding force, Abrasive distribution, Tool life

E-mail : zhangyu@fc.ritsumei.ac.jp (Y. Zhang)

=====

¹⁾ 立命館大学理工学部機械工学科

²⁾ 近畿大学理工学部機械工学科

¹⁾ Department of Mechanical Engineering, Ritsumeikan University,
Kusatsu, Shiga, 525-8577, Japan

²⁾ Department of Mechanical Engineering, Kinki University,
Higashiosaka, Osaka, 577-8502, Japan

1. 緒 言

世界のエネルギー政策における太陽光発電の重要性は近年ますます高まっている。結晶系シリコン太陽電池に使われるシリコンウェーハはマルチワイヤソーでシリコンインゴットをスライシング加工することにより製造される。スライシング加工工程においては、ピアノ線を高速走行させながら加工液に GC 砥粒を懸濁させたスラリーをかける研磨切断法とダイヤモンド砥粒をピアノ線に電着したダイヤモンドワイヤ工具を走行させて水溶性研削液のみをかける研削切断法がある (Webster and Tricard, 2004)。研削切断方式は研磨切断方式に比べて 2~3 倍程度の切断能力を有するため、現在シリコン、サファイア、SiC などの硬脆材料の切断に研削切断方式の普及が進んでいる。電着ダイヤモンドワイヤ工具の製造工程では、砥粒の析出速度と砥粒の保持力を向上するために一般的にニッケルなどの金属皮膜が被覆された導電性を有するダイヤモンド砥粒が使用されている (千葉他, 2003)。一方、ガラス、セラミックス等の硬脆材料の研削には形状精度、耐摩耗性に優れた電着ダイヤモンドホイールがよく利用されている (前田, 2013)。電着ダイヤモンドホイールについては一般的に砥粒をめっき液中に懸濁し共析させるめっき法や砥粒を沈降させて析出金属により粒子を埋め込んでいく沈降共析法などの方法 (榎本他, 1989) で製造され、砥石の切れ味を高めるため金属被覆のないダイヤモンド砥粒が使用されている。一般に電着工具の目立てを行うドレッシング作業においては、硬い金属結合剤が使用されているためドレッシング作業が困難である。電着ダイヤモンドワイヤ工具のドレッシングは細いワイヤの円周における全ての箇所をドレッシングする必要があり、より一層難しくなる。そのため、ドレッシングを必要としない電着ダイヤモンドワイヤ工具の開発が期待されている。

それを実現するために著者らはダイヤモンド砥粒の表面状態と砥粒の工具台金への析出状態との関連性に注目している。本研究ではダイヤモンド砥粒の一部分のみが Ni 皮膜で覆われた部分 Ni 被覆ダイヤモンド砥粒を提案する。この砥粒を今後部分 Ni 被覆砥粒と称する。これに対して通常の全面が Ni で被覆された砥粒を全面 Ni 被覆砥粒と称する。その部分 Ni 被覆ダイヤモンド砥粒の電着工具母材への析出状態について検討した。そして、全面 Ni 被覆ダイヤモンド砥粒および非金属被覆ダイヤモンド砥粒と比較しながら、試作した部分 Ni 被覆ダイヤモンド砥粒を用いた際の電着工具の製造条件を検討した。被覆状態を変えた各種砥粒を用いて作製した電着工具を使用し、硬脆材料を代表するシリコンとガラスの研削実験を行い、研削抵抗により電着工具の切れ味を評価した。その結果、開発した部分 Ni 被覆ダイヤモンド砥粒を使用した場合、非金属被覆ダイヤモンド砥粒より電着工具上の砥粒保持力が高く、全面 Ni 被覆ダイヤモンド砥粒より切れ味が優れることが確認できたので報告する。

2. 部分金属被覆ダイヤモンド砥粒の提案

現在、電着ダイヤモンド工具の製造においてはめっき液にダイヤモンド砥粒を懸濁させた電気ニッケル複合めっき法が生産現場でよく利用されている。電着工具を製造する場合には、砥粒の切れ味を考慮して非金属被覆のダイヤモンド砥粒が多用されている。めっき層の焼けを生じさせないためにこの複合めっき工程では電流密度を 1 kA/m^2 以下と低く設定されており、電着速度が遅い。さらに、導電性のないダイヤモンド砥粒が使用されているため、砥粒とめっき層の密着性が低くなる。そこで、電着ダイヤモンドワイヤ工具では、砥粒とめっき層との密着性や共析率を向上するため、金属被覆ダイヤモンド砥粒が用いられている。金属被覆ダイヤモンド砥粒を使用することにより、ダイヤモンド砥粒を工具台金に析出する複合めっき工程の時間が短縮でき、電着工具の製造速度を著しく向上させることができる。しかし、金属被覆砥粒を使用すると突出した砥粒先端にめっきが多く析出するため電着工具の切れ味が低下してしまう。また、複合めっきを行う際に砥粒の凝集共析が顕著となる。そこで、著者らは金属被覆ダイヤモンド砥粒と非金属被覆ダイヤモンド砥粒のメリットを活かすことができ、複合めっき液中で低い砥粒濃度でも砥粒の析出が速く、切れ味が優れる工具の実現のため、ダイヤモンド砥粒の一部分のみが金属で覆われる部分金属被覆ダイヤモンド砥粒を提案する。

砥粒の導電性に関して砥粒近傍のめっき層の成長について詳しく論述されている (佐藤, 鈴木, 1982, 1987)。複合電気めっきを行う際に導電性のある砥粒を使用した場合には、図 1(a)に示すように砥粒の全面が導電性皮膜に覆われるため台金に析出した砥粒が陰極の一部となり、突出した砥粒の上に金属皮膜や砥粒が多く析出する。

その結果、砥粒の析出が速く砥粒の保持力が高くなるが、砥粒の凝集が起きて工具上の砥粒分布が不均一になる。それに対して、導電性のない砥粒を使用した場合には図 1(b)に示すように電着工具上の砥粒と台金の接触面積が少ないため、砥粒の保持力が低くなる。また、砥粒の表面には導電性がないため、析出した砥粒の表面の上にさらに砥粒や金属皮膜の析出が生じず砥粒の凝集がほとんど生じないため切れ味が良いが、析出速度が遅くなる。これらの問題を解決するために図 1(c)に示すように切れ刃の一部分に金属皮膜がない砥粒を作れば工具に析出した砥粒の分散性が良く保持力の高い電着工具の作製が可能となるものと思われる。そこで、著者らは、前述したように電着工具の問題点を克服するため砥粒表面の一部分だけに導電性を持つ Ni 皮膜で被覆された部分 Ni 被覆ダイヤモンド砥粒を開発した。部分 Ni 被覆砥粒の上部には金属皮膜がないため、必ず砥粒の導電性のある部分が下になって台金に析出しめっき層が成長する。砥粒の全面がめっき層に覆われないため、保持力が高く切れ味のよい電着工具の作製が可能となる。

部分 Ni 被覆砥粒の作製方法に関しては、非被覆砥粒表面の一部分に無電解 Ni めっきにより Ni 皮膜を形成させる部分めっき法と全面 Ni 被覆された砥粒表面の一部分の Ni 皮膜を剥離させる部分剥離法がある。部分めっき法

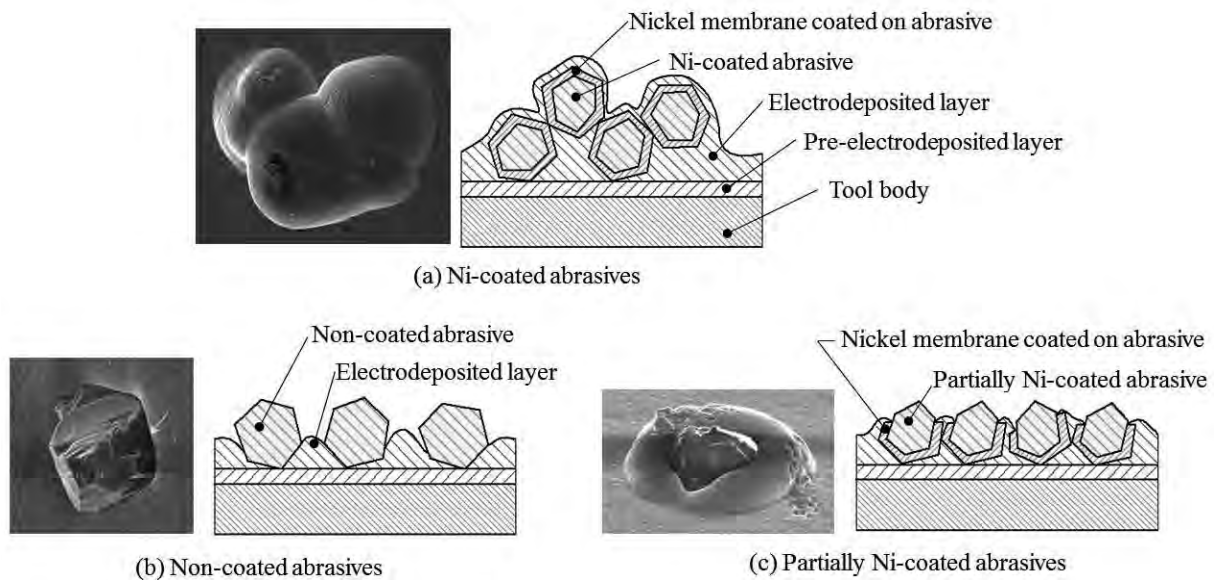


Fig. 1 Effect of nickel membrane coated on abrasives on growth of electrodeposited layer along the surface of abrasives

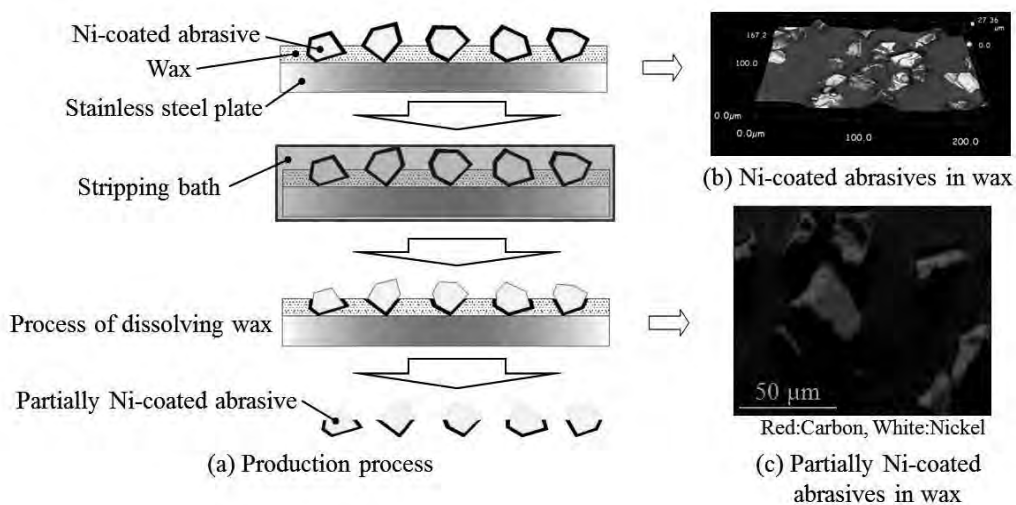


Fig. 2 Production method of partially Ni-coated abrasives

に使用されるダイヤモンド砥粒の前処理により砥粒と Ni 皮膜の密着性が大きく異なるため、本研究では部分剥離法により部分 Ni 被覆砥粒を作製した。なお、部分剥離法で作成しても、部分めっき法で作成しても、電着工具の研削性能はほとんど変化がないことが確認されている（中川他，2008）。図 2(a)には、部分剥離法による部分 Ni 被覆砥粒の作製プロセスを示す。まず、厚み 2 mm の耐薬品性が優れるステンレス鋼板 (SUS430, □150×150 mm) 上にホットプレートにより 120 °C に加熱することでワックス (KPW-A, 九重電気 (株) 社製) を 20 μm 程度塗布した。市販の全面 Ni 被覆ダイヤモンド砥粒 (粒径: 30~40 μm, 55 wt%Ni) をワックス上に均一に散布し、上部よりスポンジを押し当て加熱により軟化させたワックス内に砥粒を押し込んだ。この状態では、図 2(b)に示されるように砥粒がワックスの表面から半分程度露出している。この砥粒を散布した鋼板を表 1 に示したニッケル剥離浴に浸漬し、ワックスに覆われていない部分の Ni 皮膜を剥離させた。その結果、図 2(c)に示されるように剥離終了後に元素分析を行った結果、砥粒表面にニッケルが検出されず、砥粒表面には炭素（ダイヤモンド）が露出することが確認できた。その後、ステンレス鋼板をトルエンの中に浸し、ワックスを完全に溶かし、脱落した砥粒を含んだ溶液を紙フィルタでろ過することにより部分 Ni 被覆砥粒を取り出した。

図 3 にはエネルギー分散型 X 線分光器 (EDX, INCA x-act, Oxford Instruments 社製) を用いて、作製した部分 Ni 被覆砥粒の表面元素分析を行った結果を示す。砥粒表面の一部分の Ni 皮膜がなくなりダイヤモンド（炭素）

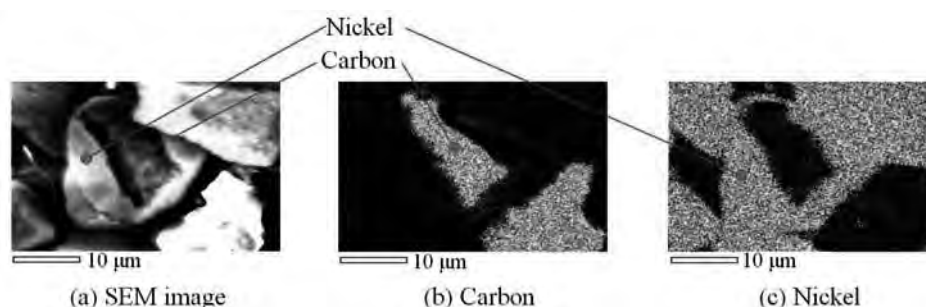


Fig. 3 Elemental analysis of partially Ni-coated abrasives

Table 1 Conditions of stripping nickel membrane

Stripping agent (Okuno Chemical Industries Co., Ltd)	Top rip PF-1	180 g/L
	Top rip F-85	90 g/L
Operating temperature	75 °C	
Number of rotation of agitating device	500 rpm	

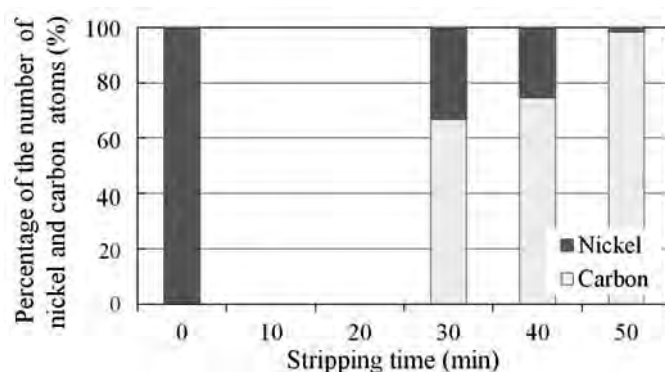


Fig. 4 Ratio of carbon and nickel atoms on the surface of partially Ni-coated abrasives

が露出していることが確認できる。剥離液への浸漬時間を 30 min, 40 min, 50 min と変化させて得られた砥粒を一方向から EDX 分析することにより C と Ni との原子数の割合を求めた。その結果、図 4 に示すように剥離時間が長くなるにつれて炭素の割合が増えることが分かった。剥離時間が 50 min の場合には砥粒とワックスの隙間に剥離液が侵入し、砥粒全面の Ni 皮膜がほとんど剥離されたものと考えられる。図 5 は作製した部分 Ni 被覆砥粒の SEM 写真を示す。30 min の場合ではワックスの表面に露出した Ni 皮膜が完全に剥離されていないが、40 min の場合には砥粒の約半分の部分が剥離されていることが確認できる。50 min の場合では、砥粒の表面にわずかな Ni 皮膜しか残っていない。本研究では剥離時間が 30 min, 40 min, 50 min の部分 Ni 被覆砥粒（それぞれが今後部分 Ni 被覆砥粒 30 min, 40 min, 50 min と称する）を用いて電着工具を作製し、それらの加工特性を評価した。

3. 電着工具の作製

3・1 電着工具の製造装置および製造条件

細線であるワイヤでは砥粒の凝集状態観察が困難であるため、本研究では製作した部分 Ni 被覆砥粒と市販の全面 Ni 被覆砥粒および非被覆砥粒を複合電気めっき法により、あらかじめアルカリ脱脂処理および酸洗処理（齋藤他, 2011）を施した直径 10 mm の丸棒（S45C）に電着した。図 6 には電気ニッケルめっき実験装置のイメージ図を示す。陽極とした純ニッケル丸棒をビーカーの内壁に固定した。工具母材となる S45C 丸棒を回転装置の軸の下部に取り付け、丸棒の周囲に均一なめっきができるように丸棒をゆっくりと回転させながらめっきを行った。電着ダイヤモンドワイヤ工具の製造速度は 10 m/min 以上を目標としているため、丸棒の回転速度が電着ダイヤモンドワイヤ工具の製造速度と同じ程度になるように 300 rpm に固定した。回転装置の軸の金属芯の上端と直流電源の陰極を接続し金属芯を通して丸棒に通電した。ビーカーは加熱と攪拌の機能をもつマグネティックスターラの上に載せ、めっき浴を加熱しながらめっき浴を攪拌した。前述したダイヤモンド砥粒（粒径：30~40 μm ）をめっき浴に分散させるため、スターラの回転数は 1000 rpm に固定した。電着ダイヤモンド工具の作製におけるめっき工程は一般的にストライクめっき、複合めっき、後めっきの 3 ステップで行われる。ウッド浴は、強酸浴で陰極付近に大量の水素ガスを発生し、陰極付近において還元雰囲気中で工具母材の表面酸化物を還元しながらめっきす

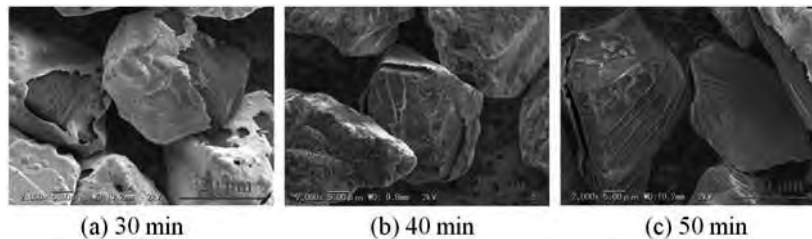


Fig. 5 Surface state of partially Ni-coated abrasives stripped in 30 min, 40 min and 50 min

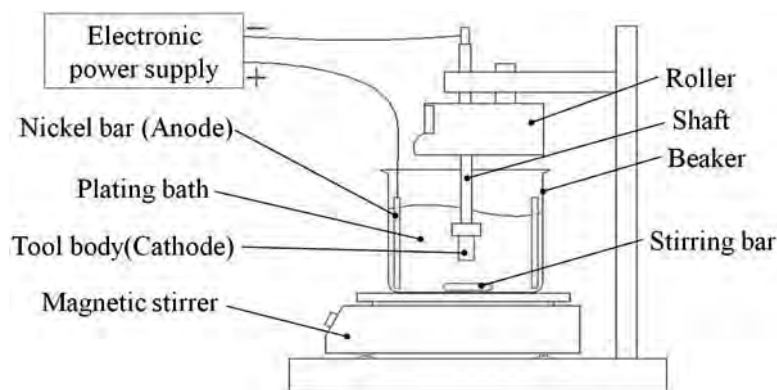


Fig. 6 Schematic diagram of plating setup for manufacturing diamond tools

ることが可能で母材とめっき層との密着性が良くなる．そのため、ストライクめっきにはウッド浴を選択した．砥粒を析出する複合めっき浴と砥粒の保持力を高める後めっき浴には、電着応力が小さく成膜速度が速いスルファミン酸ニッケル浴を選択した．具体的なめっき浴の組成およびめっき条件を表 2 にまとめた．ストライクめっきの膜厚は $0.5\ \mu\text{m}$ になるようにストライクめっきの時間を $150\ \text{s}$ とした．後めっきの条件では、めっきの成膜速度が $3\ \mu\text{m}/\text{min}$ であるため、砥粒径の $1/3$ 程度 ($10\ \mu\text{m}$) が埋め込まれるように後めっきの時間を $200\ \text{s}$ とした．複合めっきの時間は砥粒の析出量に影響を与えるため、砥粒の析出量を考慮しながら複合めっきの時間を調整した．また、高成膜速度の維持のため塩基性炭酸ニッケルとアミド硫酸を用いて複合めっき浴と後めっき浴が pH4 になるように管理した．

3・2 複合めっき条件による電着工具表面の砥粒の析出量と分布

前章に述べたように砥粒表面の金属被覆率は工具に析出した砥粒量に影響を与え、部分 Ni 被覆砥粒の析出量が全面 Ni 被覆砥粒と非被覆砥粒の間になると考えられる．作製した部分 Ni 被覆砥粒と市販の非被覆砥粒および全面 Ni 被覆砥粒を用いて同一条件で電着した工具の表面に析出した砥粒の分布状態は図 7 に示される．非被覆砥粒の場合には砥粒がほとんど析出していない．全面 Ni 被覆砥粒を使用した場合には工具に析出した砥粒が最も多いが、砥粒同士が凝集して析出する傾向が見られる．それに対して、部分 Ni 被覆砥粒を使用した場合には全面 Ni 被覆砥粒と比べて析出砥粒数はやや少ないが、砥粒の分散性がよくなっている．また、砥粒の Ni 皮膜剥離時間が長いほど析出した砥粒の量が少なくなることが確認できる．千葉らは、金属材質が異なる被覆砥粒を用い、砥粒の析出量が砥粒導電性に密接に関係し、導電性が高いほど砥粒が析出しやすいと論じた (千葉他, 2003)．その結果通り、本研究に使用された砥粒は全面 Ni 被覆砥粒、部分 Ni 被覆砥粒 $30\ \text{min}$ 、 $40\ \text{min}$ 、 $50\ \text{min}$ 、非被覆砥粒の順に砥粒表面の金属皮膜が少なく導電性が悪くなったため、砥粒の析出量が低くなったと考えられる．

Table 2 Compositions of plating baths and plating conditions

	Strike-plating	Complex plating	After-plating
Composition	Nickel chloride 250 g/L Hydrochloric acid 100 mL/L	Nickel sulfamate 450 g/L Nickel chloride 10 g/L Boric acid 30 g/L	Nickel sulfamate 450 g/L Nickel chloride 10 g/L Boric acid 30 g/L Brightener (NSF-E) 5 mL/L
Temperature	25 °C	60 °C	
Current density	1 kA/m ²	1.5 kA/dm ²	
Plating time	150 s	5~60 s	200 s

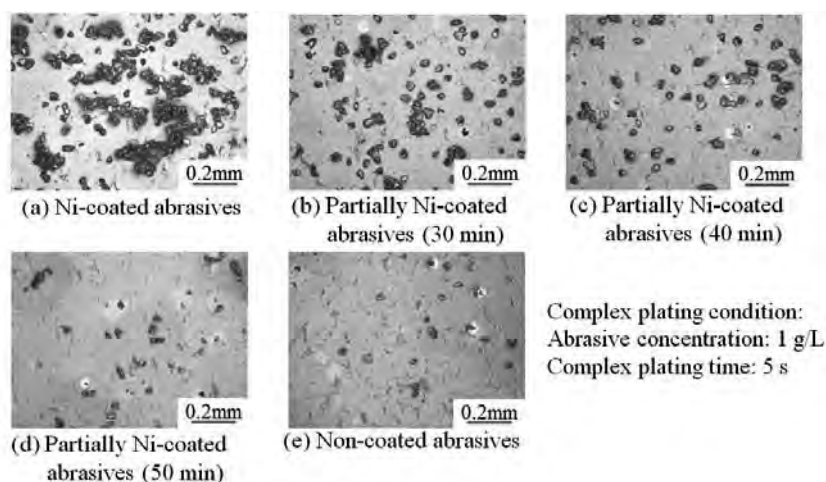


Fig. 7 Distribution states of various abrasives deposited on tools

一般的な電着ダイヤモンドワイヤ工具は砥粒密度が 150 mm^2 程度であるため、全面 Ni 被覆砥粒、部分 Ni 被覆砥粒および非被覆砥粒を用いて複合めっきの条件を変化させ、析出した砥粒の量を調べた。図 8 には複合めっき浴中の砥粒濃度、複合めっき時間等を変化させた際、工具表面の単位面積あたりに析出した砥粒個数（砥粒密度）を示す。いずれの砥粒においても複合めっき浴中の砥粒濃度や複合めっき時間が増えるほど析出した砥粒の量が増加することがわかった。非被覆砥粒の場合には、析出した砥粒密度が 150 mm^2 に達するためには浴中の砥粒濃度を 40 g/L 、複合めっき時間を 60 s にしなければならない。全面 Ni 被覆砥粒を使用する場合には、 0.5 g/L の低砥粒濃度、複合めっきの時間を 5 s にして目標の析出量が得られる。それに対しては、部分 Ni 被覆砥粒 30 min の場合には、浴中の砥粒濃度を 1 g/L 、複合めっき時間を 5 s にすれば 150 mm^2 の砥粒密度が得られ、全面 Ni 被覆砥粒より砥粒の析出がやや遅れるが非被覆砥粒に比べて著しく速いことが分かった。剥離時間が長い部分 Ni 被覆砥粒 50 min では、砥粒濃度を 10 g/L 、複合めっき時間を 60 s にする必要がある。部分 Ni 被覆砥粒を使用することにより、複合めっき時間や複合めっき浴中の砥粒濃度が全面 Ni 被覆砥粒よりやや高いが、非被覆砥粒よりかなり低いことが確かめられた。

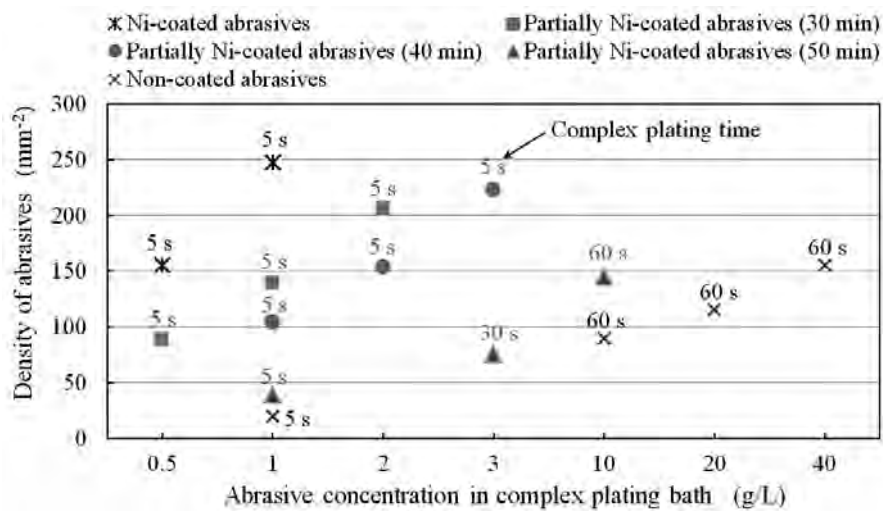


Fig. 8 Effect of complex plating conditions on density of abrasives on tool surface

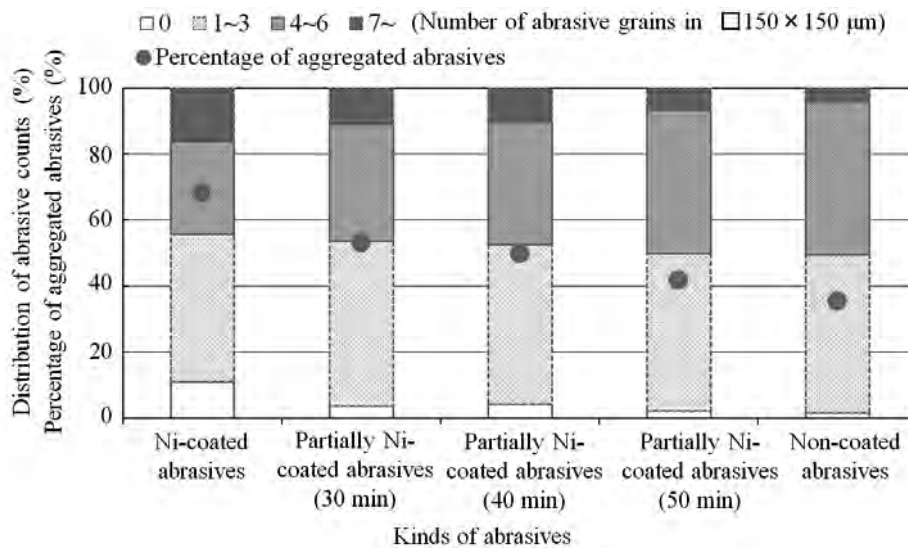


Fig. 9 Relationship between grain distribution on tools and kinds of abrasives

電着工具表面の砥粒密度と砥粒分布状態は工具の研削特性に大きく影響を与えると考えられる。そのため、電着ダイヤモンドワイヤ工具と同じく、砥粒密度が 150 mm^{-2} 程度の電着工具を作成し、工具表面の砥粒分布状態を調べた。砥粒の分布状態を数値的に評価するため、一辺 $150 \mu\text{m}$ 四方形の領域に析出した砥粒の個数を 200 箇所数え、砥粒の個数を統計的に分類した。砥粒の凝集に関しては、砥粒間の中心距離が $40 \mu\text{m}$ 以内の砥粒個数を数え、全体の砥粒数との割合で砥粒凝集率を定義した。図 9 には工具表面に析出した各種砥粒の凝集率と個数分布頻度を示す。全面 Ni 被覆砥粒を使用した工具には、凝集した砥粒がかなり多く約 70 % に達し、砥粒が存在しない領域と 7 個以上の領域が 30 % 程度占める。非被覆砥粒の場合には、析出した砥粒の中に凝集率が最も低く 40 % 以下になっている。それらの砥粒に対しては、開発した部分 Ni 被覆砥粒は、非被覆砥粒より砥粒の凝集率がやや高いが、全面 Ni 被覆砥粒より大きく低減することができた。部分 Ni 被覆砥粒 30 min と 40 min の場合には分布状態の差異がほとんど見られず全面 Ni 被覆砥粒と比べて凝集した砥粒の量が 15 % 程度少なくなることが確認された。砥粒が存在しない領域と 7 個以上の領域においても、部分 Ni 被覆砥粒が全面 Ni 被覆砥粒に比べて半分程度低減することがわかった。部分 Ni 被覆砥粒 50 min は非被覆砥粒と変わらないほど砥粒分布状態がよいことが確認できる。表面に導電性がある砥粒の付近には電位が高く砥粒が析出しやすいためだと考えられる。部分 Ni 被覆砥粒を使用すると全面 Ni 被覆砥粒の場合により砥粒の凝集共析が抑制でき、電着工具上の砥粒の分散性を改善する効果があることが確かめられた。

部分 Ni 被覆砥粒においては Ni 皮膜のない部分が研削工具上で台金に対して外向きにならないと電着工具の切れ味の向上を実現することができないため、工具に析出した部分 Ni 被覆砥粒の向きを観察した。図 10 は工具表面に電着された部分 Ni 被覆砥粒 50 min の SEM 画像と炭素分布図 (EDX) を示す。砥粒のあるところには炭素がほとんど観察されるため Ni 皮膜のない部分が外向きになっていることが確認できる。導電性のない非被覆砥粒が大変析出しにくいことと、導電性のある全面 Ni 被覆砥粒が析出しやすいことを前述された。砥粒が液中にランダムに運動し部分 Ni 被覆砥粒のすべての面が台金に接触する頻度が同じと考えられるが、砥粒のダイヤモンド部分には導電性がなく台金に接触しても固着されないまたは固着されにくいと推測できる。それに対し、Ni 皮膜の部分が台金に接触すると接触部分に電気が流れめっき層が高速に成長し砥粒が固着されやすいと考えられる。なお、部分 Ni 被覆砥粒表面 Ni 膜のどの部分が台金に固着されるのが判断することができなかった。したがって、析出した部分 Ni 被覆砥粒が色々な方向に向かずダイヤモンドが露出した部分が台金に対して外向きになりやすいと定性的に考察した。また、図 5 に示されたように部分 Ni 被覆砥粒の Ni 皮膜と砥粒の間に剥離液が多少侵入し隙間が生じ砥粒の保持力が低下することが懸念されたが、図 1(c) と図 10(a) に示されるように砥粒と Ni 皮膜の界面にはその隙間が確認されておらず、電着中にめっき液が侵入し析出したニッケルより埋められたと推察される。以上の理由により、部分 Ni 被覆砥粒を用いて作製した研削工具は全面 Ni 被覆砥粒と非被覆砥粒の長所を有し、砥粒の保持力が高いま切れ味がよいものと考えられる。

図 12 は作製した電着工具を用いてガラスとシリコンを研削した際の単位幅当りの研削抵抗および工作物の表面粗さを示す。この結果から砥粒表面の Ni 皮膜の被覆率により電着工具の研削特性が異なることが分かる。部

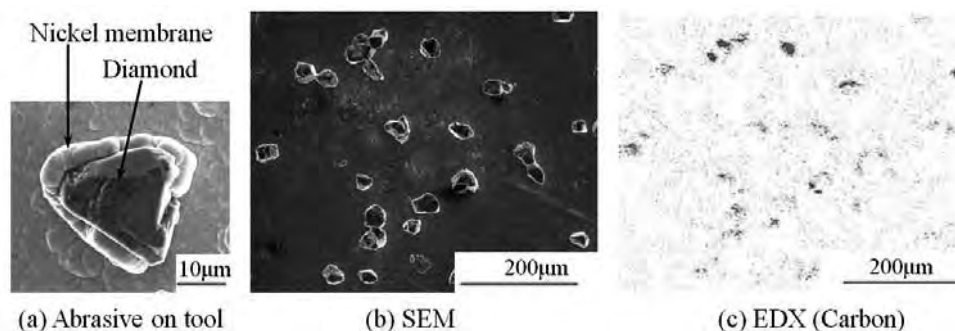


Fig. 10 Orientation of partially Ni-coated abrasives (50 min) and EDX analysis of carbon on tool

分 Ni 被覆砥粒を用いた工具の場合には、全面 Ni 被覆砥粒の工具に比べ研削抵抗が低くなっている。非被覆砥粒を使用した場合に、研削抵抗が最も小さくなった。これは、図 1 に示されるように電着工具の表面に析出した非被覆砥粒または部分 Ni 被覆砥粒の表面には Ni 皮膜がなく、本来のダイヤモンド砥粒の鋭い切れ刃を持つため、研削抵抗が小さくなったと考えられる。部分 Ni 被覆砥粒を作製する際の剥離時間が長くなるにつれて研削抵抗が小さくなっている。図 4 に示されるように剥離時間が長いほど砥粒表面の Ni 皮膜が少なく、ダイヤモンド砥粒の露出部分が増えたためと考えられる。また、工作物の材質によって研削動力が異なり、ガラスの場合にはシリコンより研削抵抗が倍程度高くなっている。ガラスは非晶質で粘り強い難研削材料と知られており、シリコンと比べて硬くて工具が滑りやすいため研削抵抗が増大したと考えられる。

工作物研削面の表面粗さについては、図 12 に示されるように部分 Ni 被覆砥粒を使用した工具の場合は全面 Ni 被覆砥粒の工具の場合より表面粗さがやや低くなることがわかった。全面 Ni 被覆砥粒の工具の場合には凝集した砥粒の量が多く砥粒の分散性が悪いため砥粒間隔のばらつきが大きい。さらに、図 1 に示されるように全面 Ni 被覆砥粒が台金の半径方向にも凝集し、切れ刃の高さが揃っていないため、表面粗さの値が大きくなったのではないかと考察した。これに対し、部分 Ni 被覆砥粒または非被覆砥粒の工具の場合には、析出した砥粒の分散性がよいだけでなく、砥粒の先端に導電しないダイヤモンドとなっており砥粒が縦に凝集することが少なく砥粒の先端高さが揃っていたため、研削面の表面粗さがよくなったと考えられる。これらの結果を図 9 の結果と合わせて考慮すれば、電着工具に析出した砥粒の分布状態がよいほど研削面の性状が良くなることが明らかとなる。

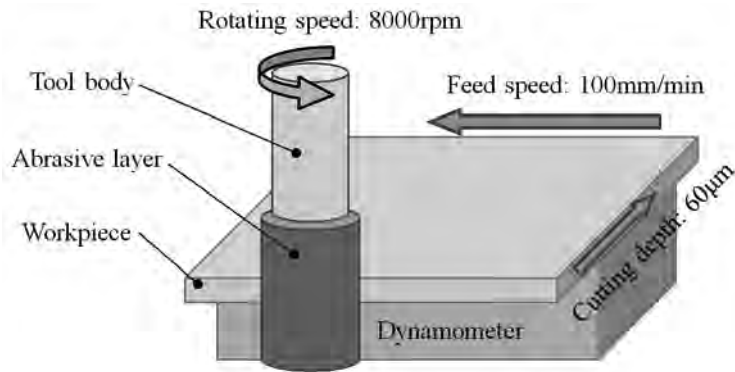


Fig. 11 Schematic diagram of grinding tests

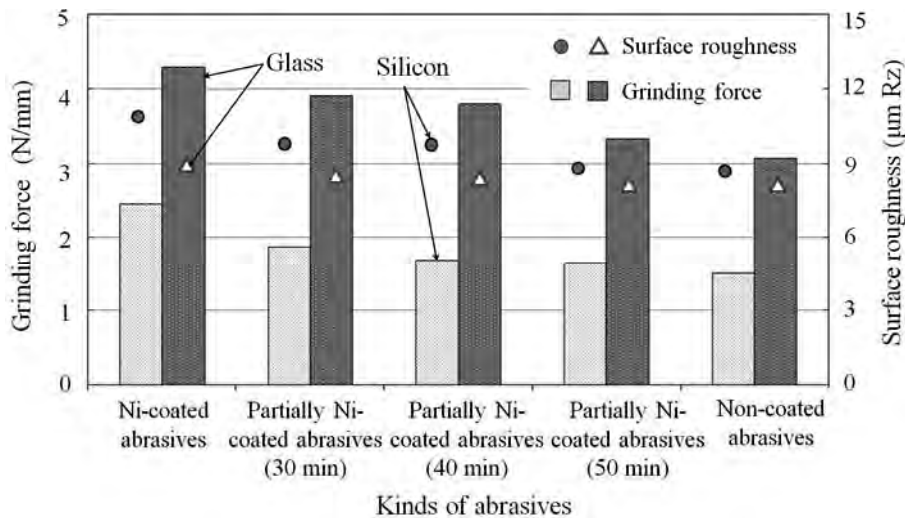


Fig. 12 Influence of kinds of abrasives on grinding force and surface roughness

電着ダイヤモンドワイヤ工具は砥粒層が単層であり、砥粒の保持力は工具寿命に大きく影響する。各種の砥粒の保持力を評価するため、研削条件の切込み量を $150\ \mu\text{m}$ に増加しガラスの重研削を行った。図 13 には、各種の砥粒を使用した電着工具を用いて研削回数を増加しながら研削加工を行った際の研削抵抗の変化を示す。部分 Ni 被覆砥粒を用いた工具は、全面 Ni 被覆砥粒の工具により工具破壊に至るまでの研削抵抗が安定することが確認される。全面 Ni 被覆砥粒の場合、研削初期では砥粒先端に覆われた Ni 皮膜が摩耗されダイヤモンドが露出し研削抵抗が減少する傾向がみられる。部分 Ni 被覆砥粒の場合では、砥粒の先端に Ni 皮膜が少ないため、研削抵抗が安定して低い値を示したと考察した。工具寿命（研削回数）は砥粒周囲の Ni 皮膜分布状態および砥粒分布の均一性に大きく影響される。強固な Ni 膜で囲まれる砥粒が均一に工具上に分布した研削工具は工具寿命が長いと考えられる。非被覆砥粒を使用した場合には、わずか 7 回目の研削で工具が破壊した。図 1 に示されるように、非被覆砥粒が母材との接触する部分でめっき膜が凹んでいたため、砥粒の保持力が弱くなり、工具寿命が最も短かったと考えられる。これに対して、全面 Ni 被覆砥粒を使用した場合には、非被覆砥粒を使用する場合よりも工具寿命は伸びているが、12 回研削以後には研削抵抗が急激に増大し工具のめっき層が剥がされ工具破損に至った。それは、一部の保持力が弱い砥粒が先に工具から脱落し、残った砥粒には大きな研削力が受けられ大規模の砥粒脱落が生じ、研削能力のないめっき層が工作物に直接に当たって剥がされることにより工具の破壊に至ったと推察した。部分 Ni 被覆砥粒 30 min と 40 min を用いた工具の場合、13 回研削まで工具が破損せずに研削できた。部分 Ni 被覆砥粒 30 min と 40 min の工具は全面 Ni 被覆砥粒の工具より工具寿命がやや長いことが分かった。砥粒表面の Ni 皮膜の剥離時間を適切に調整した部分 Ni 被覆砥粒を用いることにより、全面 Ni 被覆砥粒より高い寿命を有する電着工具が作製できることがわかった。部分 Ni 被覆砥粒 30 min と 40 min を用いた電着工具の工具寿命が長くなる原因としては、砥粒が工具に析出した状態が異なるためと考えられる。全面 Ni 被覆砥粒の場合には、図 1 に示されるように部分 Ni 被覆砥粒と比べ砥粒に導電性の Ni 皮膜があるためめっき層の成長形態は似ており砥粒の保持力が高いと考えられるが、凝集した砥粒の塊にかかる研削力が大きくその砥粒が工具から剥離しやすいため、部分 Ni 被覆砥粒 30 min と 40 min の工具より寿命が短くなったのではないかと考察した。なお、部分 Ni 被覆砥粒 50 min の工具は 10 回目の研削を行った際に工具が壊れ、他の部分 Ni 被覆砥粒の工具より工具寿命が短かった。剥離時間が 50 min になると砥粒の表面の Ni 皮膜がほとんどないため、砥粒の保持力が弱く非被覆砥粒よりわずかに高い程度になったと考えられる。したがって、部分 Ni 被覆砥粒表面の Ni 皮膜の量は工具の研削特性に大きく影響し、適切な Ni 皮膜を有する部分 Ni 被覆砥粒を使用することにより、砥粒の保持力が高くて切れ味の優れる電着工具が作製できることが分かった。

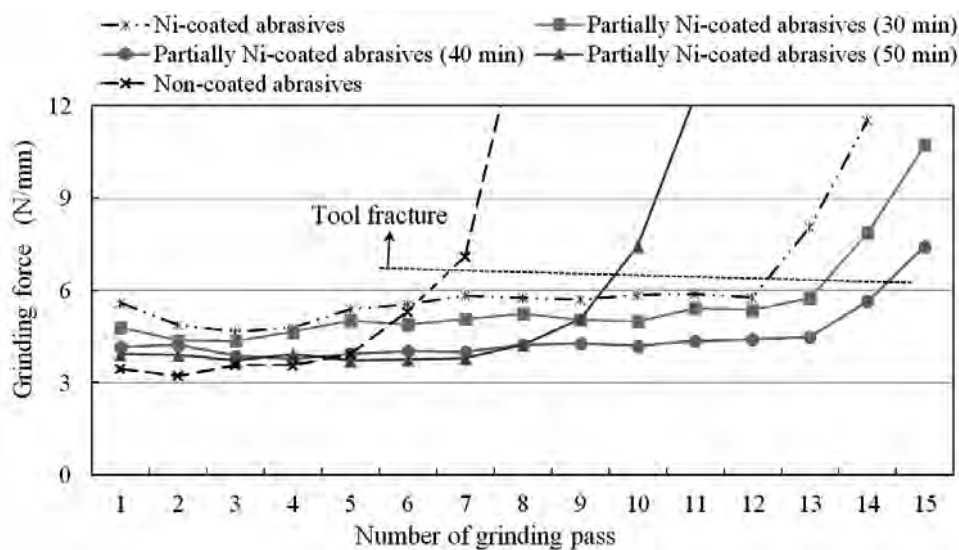


Fig. 13 Variations of grinding force using various tools according to the number of grinding pass

5. 結 語

本研究では、電着工具の切れ味と砥粒保持力のトレードオフを解決し高性能電着工具を開発するために、部分Ni被覆砥粒を提案した。全面Ni被覆砥粒表面の一部分のNi皮膜を剥離することにより部分Ni被覆砥粒の作製を試みた。開発した部分Ni被覆砥粒を市販の全面Ni被覆砥粒および非被覆砥粒と比較しながら、電着条件による砥粒の電着工具への析出特性や分布状態の相違を検討した。部分Ni被覆砥粒と全面Ni被覆砥粒、非被覆砥粒を用いて同じ砥粒密度の電着工具を作製し、シリコンとガラスの研削実験を行い、研削抵抗や研削面の状態を評価した。得られた結果は、以下の通りである。

- (1) 全面Ni被覆砥粒表面のNi皮膜を剥離することによりNi皮膜の量が異なる部分Ni被覆砥粒の作製ができた。
- (2) 複合電気めっき法による電着ダイヤモンド工具の作製においては、部分Ni被覆砥粒が全面Ni被覆砥粒に比べて析出量がやや劣るが砥粒の凝集量が少なく、分散性がよくなる。非被覆砥粒より部分Ni被覆砥粒の凝集率はやや高いが、砥粒の析出量が多くなることが分かった。
- (3) 部分Ni被覆砥粒を使用することによりダイヤモンド砥粒の鋭い切れ刃が外向きになり、研削抵抗が低くなることがわかった。砥粒の保持力が劣ることなく優れた研削特性が維持できることがわかった。
- (4) 部分Ni被覆砥粒を用いた電着工具は全面Ni被覆砥粒に比べて砥粒の凝集が少なく分散性がよいため、研削面粗さが良好であることがわかった。Ni皮膜の剥離時間を40 minにした砥粒を使用した工具の研削特性が最も優れることがわかった。

最後に、本研究を行うに当たって実験に協力された立命館大学元学生・宝田真吾氏、中川晃宏氏、橋爪雄大氏、金偉氏に心より感謝いたします。

文 献

- 千葉康雅, 谷泰弘, 榎本俊之, 電着ダイヤモンドワイヤ工具の高速製造法の開発, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.69, No.680 (2003), pp.303-309.
- 榎本英彦, 古川直治, 松村宗順, 複合めっき, 日刊工業新聞社 (1989), p.4.
- 前田知洋, 研削用電着ホイールの紹介, 砥粒加工学会誌, Vol.57, No.8 (2013), pp.502-505.
- 中川晃宏, 宝田真吾, 谷泰弘, 電着工具用部分コーティングダイヤモンド砥粒の開発, 2008年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 (2008), pp.467-468.
- 斎藤 圀, 本間英夫, 山下嗣人, 新めっき技術 (2011), p.75
- 佐藤金司, 鈴木数夫, 電着ダイヤモンド砥石の作成とその研削挙動, 金属表面技術, Vol.33, No.6 (1982), pp.285-290.
- 佐藤金司, 鈴木数夫, 電着ダイヤモンド砥石の性能に対する砥粒物性の効果, 金属表面技術, Vol.38, No.3 (1987), pp.92-96.
- Webster, J. and Tricard, M., Innovations in abrasive products for precision grinding, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.53, No.2 (2004), pp.597-617.

ワイヤ擦過援用ウェットエッチングによるシリコンインゴットの 切断の基礎的検討

谷 泰弘¹⁾, 張 宇¹⁾, 村田順二²⁾

=====

A feasibility study for the application for slicing Si ingots using a wet etching assisted by wire-friction

Yasuhiro TANI¹⁾, Yu ZHANG¹⁾ and Junji MURATA²⁾

Silicon (Si) wafers for electronic or photovoltaic devices are fabricated by slicing a Si ingot using mechanical slicing with a diamond wire. Recently, the slicing method without generating damage on Si surface has been strongly required because of the increasing demand of ultra-thin Si wafers. In this study, we have developed a novel machining method for Si grooving based on a wet chemical etching. In this method, Si was processed by the chemical etching in HNO₃ and HF mixture combined with an abrasion effect of metallic wires that contains no abrasives. The extremely low kerf loss with approx. 100 μm was achieved by optimizing the composition of etchant. SEM observation showed that Si surfaces processed by the proposed method had no crack and tool mark contrary to the mechanical slicing. Furthermore, Raman microscopy exhibited that the proposed method generated no disordered layer on Si surfaces, whereas the mechanical slicing caused amorphous layers. Surface roughness was improved by adding CH₃COOH to the etchant.

Key Words : Silicon, Etching, Slicing, Mixed acid, Kerf loss

E-mail : zhangyu@fc.ritsumei.ac.jp (Y. Zhang)

=====

¹⁾ 立命館大学理工学部機械工学科

²⁾ 近畿大学理工学部機械工学科

¹⁾ Department of Mechanical Engineering, Ritsumeikan University,
Kusatsu, Shiga, 525-8577, Japan

²⁾ Department of Mechanical Engineering, Kinki University,
Higashiosaka, Osaka, 577-8502, Japan

1. 緒 言

エネルギーや地球環境に対する関心が高まるなか、太陽電池は再生可能なクリーンエネルギーの一つとして需要が増加している。太陽電池のさらなる普及率の増加には、太陽電池パネルのコストの低減が重要となる。太陽電池パネルはシリコン（Si）ウェーハを用いて製造される。太陽電池パネル全体のコストのうち、Si ウェーハの材料コストや製造コストが占める割合は少なくない。Si ウェーハはインゴット（結晶塊）から薄く切出して製造されるため、インゴットから材料の無駄を少なく、より多くの基板を切り出すことが低コスト化の鍵となる。Si インゴットの切断には、ワイヤ工具を用いたマルチワイヤによる加工が用いられている。従来では、砥粒を懸濁したスラリーをピアノ線工具に供給し切断を行う遊離砥粒切断方式（諏訪部他，2008）が用いられていたが、切断能率の向上や作業環境の改善等のため、ダイヤモンド砥粒をワイヤに付着させたダイヤモンドワイヤによる固定砥粒切断（千葉他，2003）が急速に普及を伸ばしている。しかし、ダイヤモンドワイヤによる切断では、切出した Si ウェーハ表面にダメージが発生することや、切断溝幅（カーフロス）の低減に限界があるなどの問題がある。

このような背景のもと、機械加工によらない新しい Si の切断技術として、放電加工（宇野他，2009）や電解加工（Lee, et al., 2011），プラズマエッチング（森他，2001）などの加工技術の適用が検討されている。これらの方法では、Si ウェーハに機械的ダメージを発生させずに切断が可能であるが、加工速度やカーフロス、加工コスト等に問題があり、従来の砥粒加工による切断を代替するには至っていない。そこで、筆者らは、ウェットエッチングを利用した新しい切断技術である「ワイヤ擦過援用ウェットエッチング」の開発を行っている。この加工技術は、エッチング液（エッチャント）中で走行する金属ワイヤにより、Si を擦過することで化学的な作用を主体として加工を行うことを特徴とする。本報では、開発した加工技術により Si に対して深溝加工を施し、加工機構やエッチャント組成、加工条件が加工特性に与える影響や切断面品質について調査を行い、Si インゴット切断への適用可能性について検討を行った。

2. 新規加工技術の概要と加工要素の選定

2・1 ワイヤ擦過援用ウェットエッチングの概要

ウェットエッチングは通常等方性エッチングとなるため、Si 表面にマスクを施してもサイドエッチが生じる。そのため、Si ウェーハの切出しで必要となるアスペクト比の高い微細溝を加工することは通常では困難である。

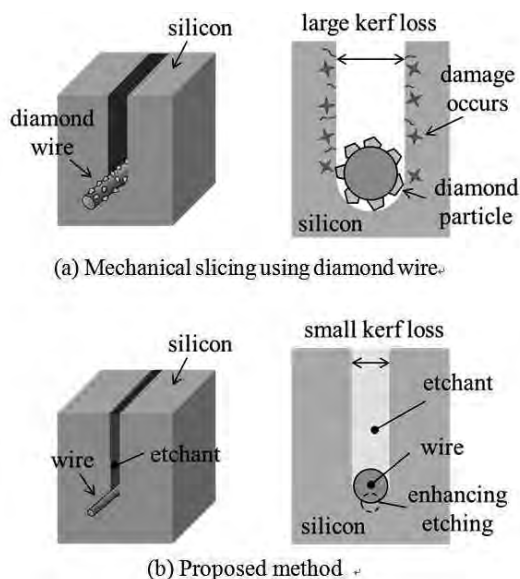


Fig. 1 Schematic diagram of the slicing method

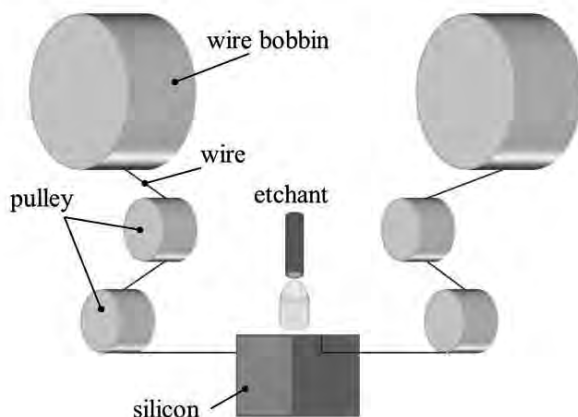


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

著者らは、溝の幅方向のエッチング速度を抑制し、深さ方向のエッチングを促進することができれば異方性の加工が実現できると考えた。そこで、図1に示すように、Si インゴットにエッチャントを供給し、走行する金属ワイヤによりインゴットを擦過する加工方法を着想した。Si インゴットと金属ワイヤの擦過点において、摩擦熱の発生や新鮮なエッチャントの引き込みなどによって深さ方向へのエッチング速度の向上を図った。一方、エッチャント組成の最適化により、溝幅方向のエッチングの抑制を検討した。このような加工方法が実現できれば、化学的作用に基づく材料除去であるため、ダイヤモンドワイヤ切断で問題となる切断面への機械的ダメージを発生させずに加工ができる。機械的ダメージはウェーハの抗折強度の低下に繋がるため、薄肉ウェーハの切出しにおいて歩留まりが悪化する。一方、ワイヤ擦過援用ウェットエッチングではウェーハへのダメージの発生がなく極薄ウェーハの切出しも見込める。さらに、ダイヤモンドワイヤ切断と比較して、工具ワイヤへの負荷を低減できるため、細線ワイヤの使用によるカーフスの低減が可能となるなどの利点が挙げられる。

2・2 エッチャント・加工装置・工具ワイヤの選定

Si のウェットエッチングでは、KOH や TMAH などのアルカリ溶液 (Sato, et al., 2000) や、硝酸とフッ化水素酸 (フッ酸) の混酸であるフッ硝酸 (Steinner, et al., 2005) が多用されている。アルカリ溶液によるエッチングでは、エッチング速度の結晶方位依存性が高く、エッチング速度も低い。それに対し、フッ硝酸は結晶方位依存性が小さく、実用的なエッチング速度 (最大 800 $\mu\text{m}/\text{min}$ (Yoshikawa, et al., 2010)) が得られる。また、太陽電池製造工程におけるダメージ除去のエッチャントとして実績があることなどから、本加工技術におけるエッチャントとして選択した。上記の新しい加工技術による Si の切断加工の可能性を検証するため、図2に示すシングルワイヤ加工装置を開発した。工具ワイヤを巻きつけたボ빈をモータにより回転することでワイヤを走行させ、プーリーを介して工作物表面をワイヤが擦過する機構である。フッ硝酸への耐薬品性を考慮して、接液部は基本的に PVC (Polyvinyl chloride) または PEEK (poly ether ether ketone) で構成されている。エッチャントは工作物上方から滴下することで供給している。工具ワイヤは、腐食性の極めて高いフッ硝酸に耐食性を有することが要求される。また、高速で走行しながら Si インゴットを擦過することから、高い引張強度が必要となる。様々な、合金ワイヤから耐食性の高い材料を選択し、フッ硝酸に対する腐食量を評価した。表1に示すように、フッ硝酸(硝酸 40wt%, フッ酸 4wt%) 浸漬後のワイヤの直径減少量を計測した結果、ニクロム (NCHW1) 並びにステンレス (SUS316L) ワイヤが高い耐食性を示したことから、これらをワイヤ工具として選択した。

Table 1 Corrosive and mechanical properties of wire

Material	Reduction of diameter (mm) [※]	Tensile strength $\times 10^2$ (N/mm ²)
80Ni-20Cr	0	0.7
Inconel [®]	0.04	0.6
HASTELLOY [®]	0.04	0.9
Austenitic stainless steel	0	2.7

※after 2h immersion of HNO₃ (40 wt%) and HF(4wt%) solution

Table 2 Experimental conditions

Workpiece	Mono- and Poly-Si ingot (10 × 10 × 10 mm ³)
Wire	Ni-Cr (φ160 μm), Stainless steel (φ100 μm)
Wire running speed, V	Max. 200 m/min
Wire tension, T	5 N
Etchant	HNO ₃ /HF mixed solution, room temperature

3. 加工速度およびカーフロスの評価

3・1 加工条件が加工特性に与える影響

表 2 に示す加工条件を基本とし、加工条件が加工特性に与える影響を評価した。なお、加工実験は全て室温下で行った。まず、エッチャント組成が加工特性に与える影響を調べたものが図 3 である。図 3(a) はフッ酸濃度を固定し、硝酸濃度のみを変化させた際の加工特性であり、図 3(b) は硝酸濃度を固定し、フッ酸濃度のみを変化させた際の加工特性を示している。図 3(a) に示すように、硝酸濃度を増加させると加工速度が向上したが、カーフロスは硝酸濃度に対して変化せずほぼ一定の約 170 μm であった。一方、図 3(b) に示すように、フッ酸濃度を増加させると、加工速度だけでなくカーフロスも増加することがわかった。

次に、ワイヤの走行速度が加工速度に与える影響を調べたものが図 4 である。ワイヤ走行速度の増加と共に、加工速度もほぼ比例的に増加することがわかる。ワイヤの走行速度を増加させると、Si の擦過点における摩擦熱が増加すると考えられる。図 5 に示すように、Si ウェーハをフッ硝酸に浸漬させた際のエッチング速度はエッチャントの加熱によって促進される。従って、ワイヤ走行速度の増加に伴う摩擦熱の増加が、加工速度向上の一つの要因であろう。また、ワイヤ走行速度の増加が擦過点における反応生成物や Si 表面の不働態膜の除去を促進させたことなども要因として考えられる。

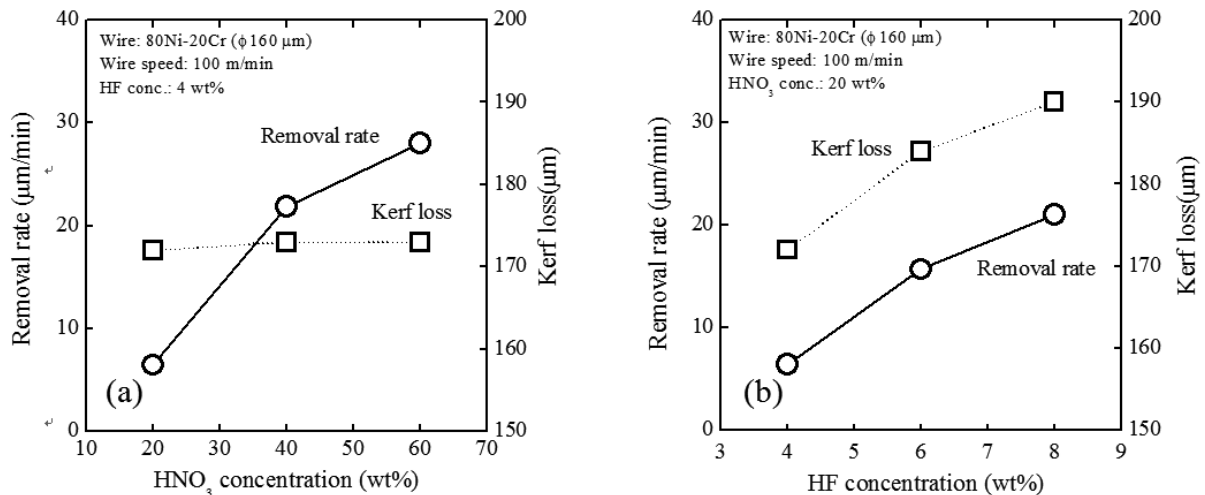


Fig. 3 Material removal rate and kerf loss of Si as a function of (a) HNO_3 and (b) HF concentration

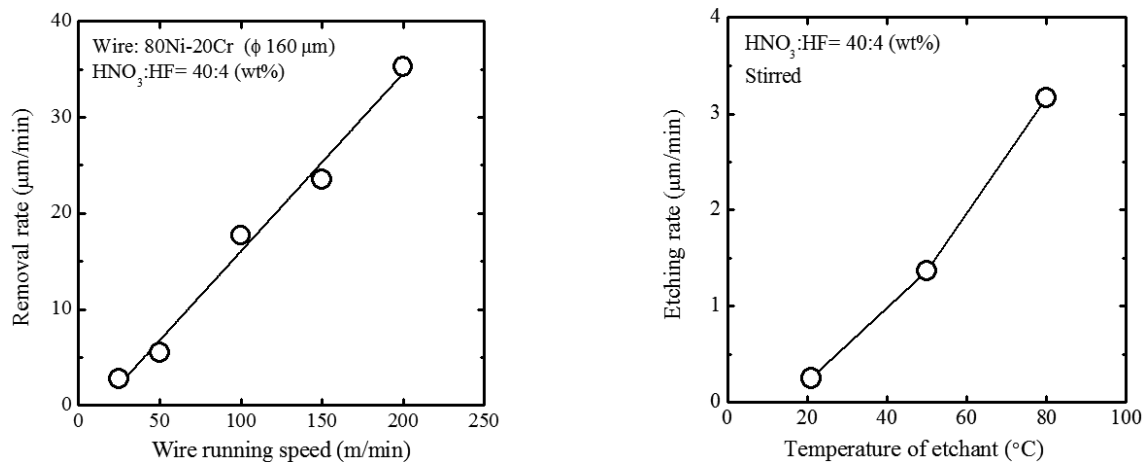


Fig. 4 Material removal rate and kerf loss of Si as a function of wire running speed

Fig. 5 Dependence of etchant temperature on etching rate of Si (100) wafer surface

3・2 異方性エッチングのメカニズムに関する考察

上記の結果から、エッチャント組成を硝酸濃度 40 wt%、フッ酸濃度 4 wt%と決定し、溝加工を施した Si の加工光学顕微鏡像を図 6 に示す。図 6(a)は直径 160 μm のニクロムワイヤを用いた加工溝であり、カーフロス約 175 μm であった。カーフロスは加工溝全体にわたってほぼ一定であり、溝の入口部においても広がることなく、高いアスペクト比を有することがわかる。直径 100 μm のニクロム線を用いた場合、加工中に断線が生じたため、より引張強度の高いステンレスワイヤを用いて加工を行った。図 6(b)に示すように、こちらの場合もカーフロスは 109 μm となり、ワイヤ直径より 10 μm 程度大きいカーフロスの加工溝が得られた。上記のように、一般的には等方性エッチングとなるフッ硝酸を用いたにも関わらず、開発した加工技術においては異方性エッチングとなり、高いアスペクト比の加工が実現した。この要因について以下に考察する。フッ硝酸による Si のエッチングは、下式に示すように、硝酸による Si 表面の酸化と (式(1)) とフッ酸による酸化膜の溶解 (式(2)) により反応が進行する (Steinnert, et al., 2005)。



硝酸濃度が高く、フッ酸濃度が低いエッチャント (図 3(a)) では、Si の酸化速度は十分大きいですが、フッ酸による酸化膜の溶解速度が小さく、これが律速過程となる。そのため、ワイヤ擦過部以外のエッチング速度 (つまり溝幅方向のエッチング速度) は小さくなる。一方、ワイヤと Si の擦過点においては、Si 表面に生成した酸化膜がワイヤの擦過作用により除去されることが予想される。また、前述したようにワイヤの擦過点では摩擦熱が発生し、酸化膜の溶解速度が増加すると考えられる。さらに、加工点ではエッチャントの引き込みが促される。図 5 では液温を均一にするためエッチャントを攪拌し、エッチングレートの評価を行ったが、同じ薬液組成で室温かつ攪拌を行わない条件では、シリコン表面のエッチングが確認されなかった。これは、シリコン表面で生成する NO ガスや H_2SiF_6 などの反応生成物がエッチングを妨げるためである (大見他, 2012)。ワイヤの近傍では、ワイヤの運動によりエッチャントが攪拌されるのに対し、ワイヤから遠ざかった部分ではエッチャントが滞留するため、反応生成物が除去されずエッチング速度が著しく低下しているものと考えられる。このため、本技術においては、加工溝の幅方向に対するエッチング速度は無視できるほど小さく、それに対して深さ方向エッチング速度が十分に大きいため、異方的なエッチングが実現したと思われる。シリコンインゴットのサイズが大きくなった場合、加工時間も長時間となるが、上記の理由から加工時間の増加に伴う溝幅の増大は極めて小さいと考えられる。一方、フッ酸濃度を高めると、酸化膜の除去速度が高まり、ワイヤ擦過点以外のエッチング速度も大きくなった結果、カーフロスの増大に繋がったと考えられる (図 3(b))。

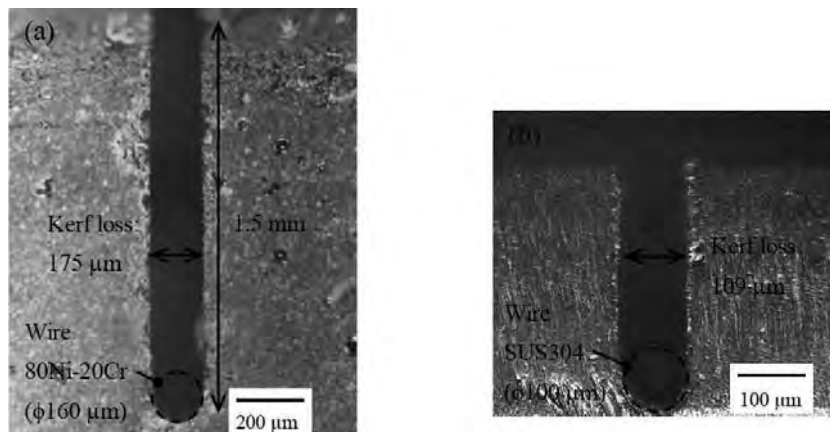


Fig. 6 Optical microscope images of Si kerf processed by proposed method

3・3 多結晶 Si の加工特性

太陽電池パネルには、単結晶 Si よりも安価であることから、多結晶 Si ウェーハも使用されている。単結晶 Si とは異なり、多結晶 Si はインゴット中に異なる結晶方位を持つ結晶粒が存在することから、化学的な加工では結晶粒毎に加工特性が異なる可能性がある。そこで、本加工技術において多結晶 Si の加工特性を調べた。図 7 に示すように、単結晶と多結晶 Si を同条件で加工した結果、ほぼ同等の加工速度とカーフロスが得られた。エッチング速度の結晶方位依存性を調べるため、(111)面と(100)面の Si ウェーハを浸漬させた際のエッチング速度を測定した。図 8 に示すように、水酸化カリウム水溶液によるエッチングでは(111)面と比較し、(100)面において非常に大きなエッチング速度であった。それに対しフッ硝酸では(111)面と(100)面においてほぼ同等のエッチング速度であった。そのため、本加工技術では多結晶 Si の加工においても、単結晶 Si と同等の加工特性が得ることができたと考えられる。

4. 加工面品質の評価

4・1 加工ダメージ

ワイヤ擦過援用ウェットエッチングにより加工した Si のダメージを評価し、ダイヤモンドワイヤ加工との比較を行った。図 9 はダイヤモンドワイヤならびに本加工技術による Si インゴットの加工面を観察した SEM 像である。ダイヤモンドワイヤによる加工面には多数のクラックが発生している他、ワイヤ走行方向と平行にソーマーク（研削痕）が見られる。それに対し、本技術による加工面はクラックやソーマークが存在しない等方的な表面であることがわかる。より詳細に加工面のダメージを調査するため、走査型マイクロラマン顕微鏡 (RENISHAW, Raman microscope Invia Reflex 532) による加工面評価を行った。Si のラマン分光においては、波数 520 cm^{-1} 付近

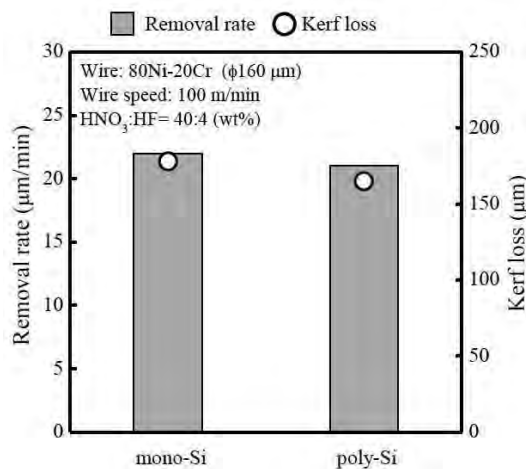


Fig. 7 Comparison of slicing characteristics between mono-Si and poly-Si

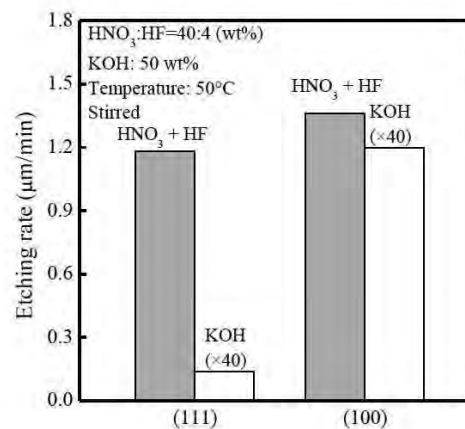


Fig. 8 Comparison of the etching rate of Si (111) and (100) wafer surface immersed in HF-HNO₃ mixture and KOH solution

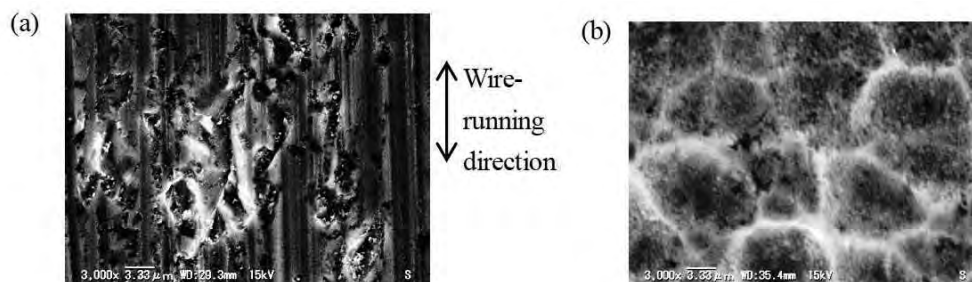


Fig. 9 SEM micrograph of Si surfaces processed by (a) diamond wire slicing and (b) proposed method

に結晶性 Si (c-Si) のシャープなピークが現れ、非晶質 (アモルファス) Si (a-Si) は波数 400-500 cm^{-1} にブロードなピークとして現れる (Zwick and Carles, 1993) . 図 10 は加工後の Si 表面をラマン顕微鏡により観察し、結晶性 Si のピーク (波数 520 cm^{-1}) 強度をマッピングしたものである. 入射光は波長 532 nm のレーザを対物レンズにより直径約 1 μm に集光したものであり、サンプルステージを 1 μm ピッチで走査させ、それぞれの位置でのラマンスペクトルを取得した. なお、図中の挿入図は加工面の同一箇所を可視光で観察した光学顕微鏡像である. 図 10(a) に示すダイヤモンドワイヤ加工面では、強度のばらつきが大きく、結晶性 Si のピーク強度が低い部分が存在する. 可視光顕微鏡像と比較すると、ソーマーク部の強度が低く、クラック部の強度が大きいことがわかる. 一方、本加工技術により加工した表面 (図 10(b)) は、表面の凹凸に対応して若干の強度ばらつきが見られるものの、全体に高い結晶性 Si のピーク強度を示した. 図 10 のラマン顕微鏡像に示した A 点, B 点 (ダイヤモンドワイヤ加工面), C 点 (本技術による加工面) におけるラマンスペクトルを示したものが図 11 である. ダイヤモンドワイヤによる加工面のクラック部 (A 点) は、結晶性 Si のピークのみが確認されたが、ソーマーク部 (B 点) では結晶性 Si に加え、アモルファス Si のブロードなピークで構成されていることがわかった. ソーマークの存在する Si 表面の直下では、ダイヤモンド砥粒の切削作用により、結晶構造が破壊され、アモルファス層が形成されたと考えられる. クラック部においては、アモルファス層が剥ぎ取られたため、素地の結晶性 Si が露出したものと思われる. このような傾向はダイヤモンド切削した Si 表面のラマン分析においても報告されている (Yan, 2004) . それに対し、本技術による加工面 (C 点) のラマンスペクトルは結晶性 Si のピークのみが観察されており、かつそのピーク半値幅もダイヤモンドワイヤによる加工 (B 点) と比較して小さいことがわかった. 上記のラマン分光による評価の結果、本加工技術による加工面にはアモルファス層が形成されておらず高い結晶性を有することが明らかとなった. 切断後のウェーハに発生した加工ダメージは、パネルの発電性能に悪影響を及ぼすことから、後工程の等方性エッチングにおいて除去する必要がある. しかし、ダメージ層の除去は Si 原料のロス

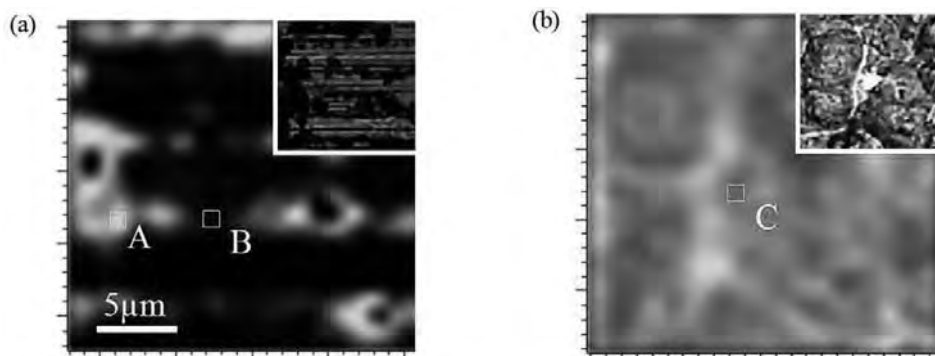


Fig. 10 Micro-Raman mapping of Si surfaces processed by (a) diamond wire slicing and (b) proposed method

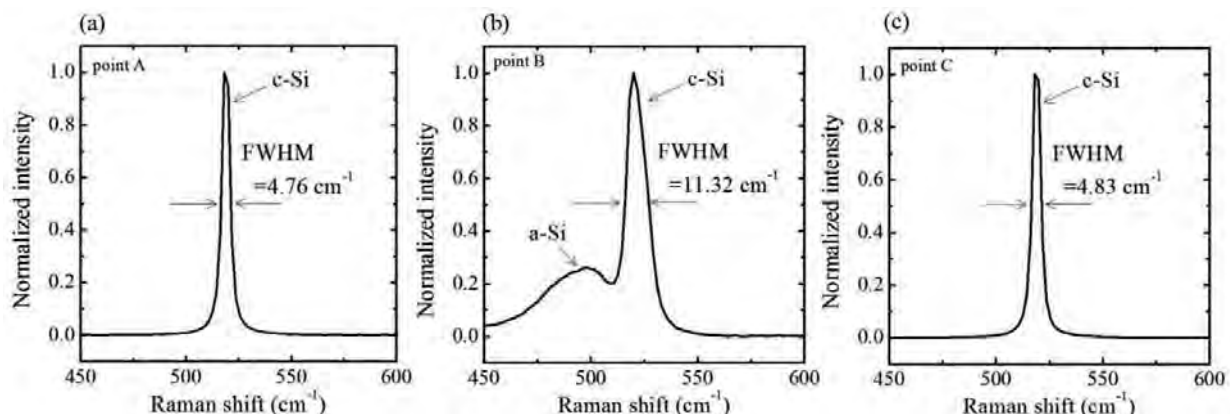


Fig. 11 Raman spectra of Si surface at positions A, B and C in the Fig.10.

となる他、工程数の増加に伴う高コスト化の要因となる。本加工技術によりダメージのない Si 表面が得られたことは、太陽電池パネル製造コスト低減の観点からダイヤモンドワイヤ切断に対して大きな優位性があると言える。

4・2 加工後表面粗さ

太陽電池用 Si ウェーハは、表面の反射率を低減するため、異方性エッチングにより周期構造を形成するテクスチャリング処理が施される。切断後のウェーハ表面の粗さは、テクスチャリング工程に影響を与える可能性があり、ワイヤ擦過援用ウェットエッチングにより加工した Si のダメージを評価し、ダイヤモンドワイヤ加工との比較を行った。図 9 はダイヤモンドワイヤにおいても、既存技術であるダイヤモンドワイヤ切断面と同等の表面粗さが要求される。ダイヤモンドワイヤと本技術による加工後表面を位相シフト干渉顕微鏡 (Zygo, Newview5032) により評価したものが図 12 である。本技術による加工面は表面の凹凸が大きく、また表面粗さも $1.33 \mu\text{mRa}$ であり、ダイヤモンドワイヤ加工面 ($0.34 \mu\text{mRa}$) よりも大きな表面粗さであった。そこで、本技術において表面粗さを改善するため、エッチャント組成の検討を行った。Si のフッ硝酸エッチングでは、希釈剤 (フッ酸と硝酸以外の成分) に酢酸を添加することで表面粗さを改善できることが報告されている (濱口, 1985)。図 13 は本技術における、エッチャント中の酢酸濃度と加工面粗さの関係を示している。なお、フッ酸ならびに硝酸濃度はそれぞれ 4 wt%, 40 wt% で固定している。エッチャント中の酢酸濃度が増加するに伴い、加工面の表面粗さが改善されていることがわかる。それぞれの加工面を光学顕微鏡により観察すると、酢酸を添加しない場合には大きさ数十 μm の楕円形構造が観察された。これはフッ硝酸による Si エッチングを行った際に見られる典型的な構造であり、エッチャント中の活性反応種 (ニトロソニウムイオン, NO^+) が Si 表面に偏在することに起因すると報告されている (Patzig-Klein, et al., 2010)。酢酸濃度の増加に従いこの楕円形構造の大きさが小さくなり、最も高い酢酸濃

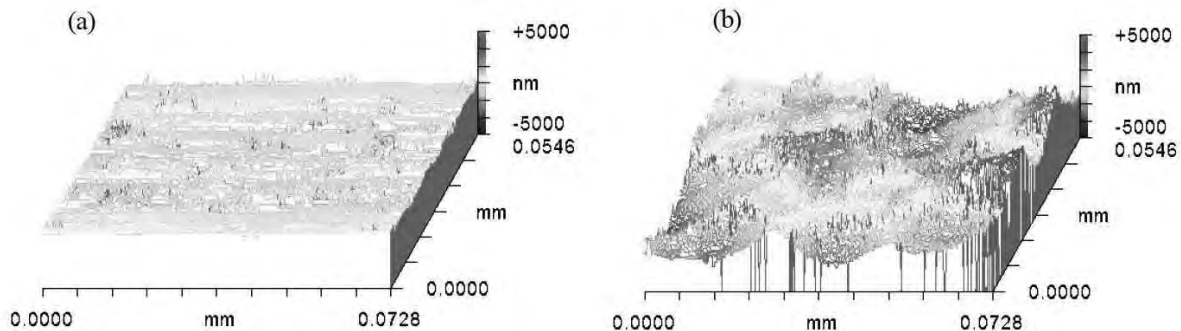


Fig. 12 3D images of silicon surface processed by (a) diamond wire slicing and (b) proposed method

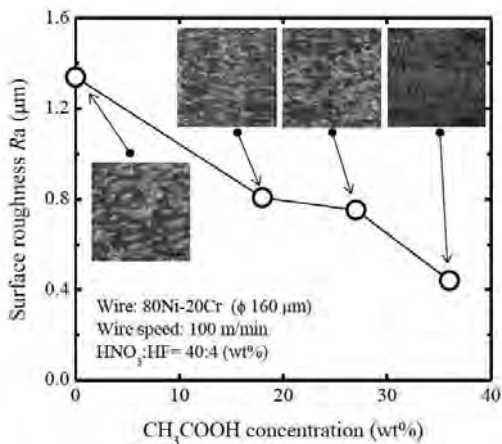


Fig. 13 Surface roughness of processed Si surfaces as a function of CH_3COOH concentration in etchant

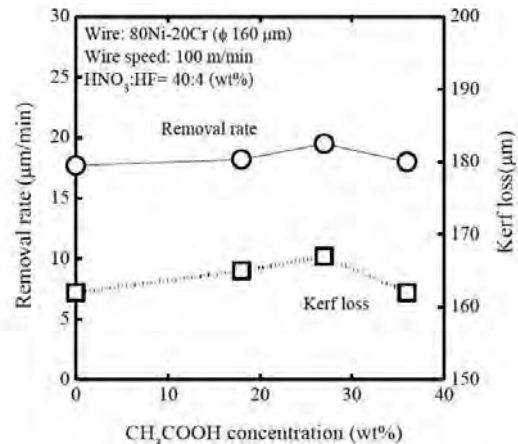


Fig. 14 Material removal rate and kerf loss of Si as a function of CH_3COOH concentration in etchant

度のエッチャントではほとんど観察されなくなった。これは酢酸の添加によりエッチャント中の反応種の偏在が抑制されたためであると思われる。また、エッチャントへの酢酸添加が加工特性に与える影響を評価した。図 14 に示すように、加工速度ならびにカーフスを酢酸濃度によらずほぼ一定の値を示しており、酢酸の添加が加工特性に悪影響を与えないことが確認された。上記のように、エッチャントの希釈液に酢酸を用いることで、加工特性を悪化させず、加工面粗さを改善することができ、ダイヤモンドワイヤ加工面とほぼ同等の表面粗さが得られた。

5. 結 言

本論文では、ワイヤ擦過により促進されたウェットエッチングを用いた新規加工技術の開発を行い、シリコンインゴットのスライシングに向けた基本的な加工特性として、加工速度、カーフス、加工面品質について評価を行った。以下に、本論文で得られた結果をまとめる。

- (1) 硝酸ならびにフッ酸濃度を増加させると加工速度が向上したが、フッ酸濃度の増加はカーフスの増大に繋がるということがわかった。硝酸濃度に対してカーフスは変化せず一定となった。また、ワイヤ走行速度の増加にともない加工速度が向上した。
- (2) ワイヤ擦過援用ウェットエッチングにより、ワイヤ直径より 10 μm 程度大きいカーフスが得られた。硝酸濃度の高いエッチャントの使用により、溝幅方向のエッチング速度を低減し、深さ方向のエッチングを促進させることで、異方性の高い加工が実現できることがわかった。また、多結晶 Si の加工特性は単結晶 Si と同等であることがわかった。
- (3) 加工後表面を光学顕微鏡により観察した結果、ダイヤモンドワイヤ加工面はクラックやソーマークが発生しており、加工ダメージが観察されたのに対し、開発技術による加工面はこれらの欠陥のない表面であることがわかった。
- (4) ラマン分光による加工面評価の結果、ダイヤモンドワイヤ加工面にはアモルファス層のピークが存在したが、開発技術による加工面は結晶性 Si のピークのみが観察された。
- (5) エッチャントの希釈液に対し、酢酸を添加することで加工速度やカーフスに影響を与えることなく切加工後表面粗さを改善することができ、ダイヤモンドワイヤ加工面と同等の表面粗さが得られた。

上記の結果から、本加工技術は低カーフス、薄肉ウェーハが要求される太陽電池用シリコンインゴットの切断法として、従来の機械加工法を代替しうると期待される。しかし、本技術が実用化に至るには、現状では加工速度やインゴットの大型化に課題があり、今後加工条件やエッチャント組成等を見直すことによる加工の高度化が必要であると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は、NEDO 新エネルギーベンチャー技術革新事業、三豊科学技術振興協会、先端加工機械技術振興協会の援助を受けて行われました。ここに深く謝意を表します。

文 献

- 千葉康雅, 谷泰弘, 榎本俊之, 電着ダイヤモンドワイヤ工具の高速製造法の開発, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 69, No. 680 (2003), pp. 1139-1144.
- 濱口恒雄, シリコンウェーハの化学エッチング, 精密機械, Vol. 51, No. 5 (1985), pp. 1013-1018.
- Lee, C. L., Kanda, Y., Ikeda, S. and Matsumura, M., Electrochemical method for slicing Si blocks into wafers using platinum wire electrodes, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 95, No. 2(2011), pp. 716-720.
- 森勇藏, 山内和人, 山村和也, 佐野泰久, プラズマ CVM による機能材料の切断加工—内周刃型切断加工装置の試作とその切断加工特性—, 精密工学会誌, Vol. 67, No. 2 (2001), pp. 295-299.

- 大見忠弘, 長谷部類, 吉田達郎, 内村徹平, 添田一喜, 平塚亮輔, 吉川利博, 須川成利, 村川順之, シリコン表面の室温三工程洗浄技術と超高速ウェットエッチングによるウェーハ薄化技術, 表面技術研究会 2012 講演予稿集 (2012), pp.1-27.
- Patzig-Klein, S., Roewer, G. and Kroke, E., New insights into acidic wet chemical silicon etching by $\text{HF}/\text{H}_2\text{O}-\text{NOHSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ solutions, *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol. 13, No. 2 (2010), pp. 71-79.
- Sato, K., Shikida, M., Yamashiro, T., Tsunekawa, M. and Ito, S., Differences in anisotropic etching properties of KOH and TMAH solutions, *Sensors and Actuator A*, Vol. 80, No. 2 (2000), pp. 179-188.
- Steinert, M., Acker, J., Henßge, A. and Wetzig, K., Experimental studies on the mechanism of wet chemical etching of silicon in HF/HNO_3 mixtures, *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 152, No. 12 (2005), C843-C850.
- 諏訪部仁, 阿部義紀, 葦沢賢太朗, 石川憲一, マルチワイヤソーにおけるスラリー供給方法とスラリー挙動の関係, 砥粒加工学会誌, Vol. 52, No. 8 (2008), pp. 472-477.
- 宇野義幸, 岡本康寛, 岡田晃, シリコンインゴットのマルチワイヤ放電スライシング技術, 砥粒加工学会誌, Vol. 53, No. 11 (2009), pp. 663-666.
- Yan, J., Laser-mirco-Raman spectroscopy of single-point diamond machined silicon substrates, *Journal of Applied Physics*, Vol. 95, No. 4 (2004), pp. 2094-2101.
- Yoshikawa, K., Yoshida, T., Soeda, K., Uchimura, T., Nemoto T. and Ohmi, T., High speed and precision silicon wafer thinning technology for three-dimensional integrated circuit by wet etching, *Proceedings of 22nd International Microelectronics conference*, (2010), pp. 14-19.
- Zwick, A. and Carles, R., Multiple-order Raman scattering in crystalline and amorphous silicon, *PHYSICAL REVIEW B*, Vol. 48, No. 9 (1993), pp. 6024-6032.

言語コミュニケーション論における「希望学」—「分かり合う」
ことは可能か: W.V.O. Quine, D. Davidson, R. Rortyの議論を出発点に

山 中 司

Social Sciences of Hope in the Theory of Language Communication and
Language Philosophy - Is it possible for us to fully understand each other? :
From discussions of W.V.O. Quine, D. Davidson & R. Rorty

Tsukasa Yamanaka

Are people able to “understand each other fully” in the ultimate manner? Differences of languages and cultures make them differentiate their final epistemology and philosophy? Since individual distinction could be decisive, is it impossible for people to “understand each other fully?” We should appreciate the profoundness of philosophical significance in that the Sapir-Whorf hypothesis was ever proposed, suggesting a renewed focus on two extreme frame of mind; “relativism” and “universalism”, both of which might surely have a valid point. This paper reconsiders the discussion between “relativism” and “universalism” based on reviewing theories of W.V.O. Quine, D. Davidson and R. Rorty who made a commitment to pragmatism. The paper sides with universalism conclusively. Suggesting remediation of Rorty’s argument by converging “social sciences of hope” with pragmatism, it deals with theoretical new horizons of communication focused on “hope”.

Keywords; Pragmatism, Quine, Davidson, Rorty, Social sciences of hope

E-mail: yaman@fc.ritsumeai.ac.jp (T. Yamanaka)

立命館大学生命科学部
College of Life Sciences, Ritsumeikan University,
Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

1 はじめに: 「言語相対論」の問題提起

言語とコミュニケーションとの関係を論考するにあたり、かつて大胆な一理論として「サピア＝ウォーフの仮説」があった。この理論は特に後半、ウォーフにより「言語が異なることで、人間の認識までも異なる」と拡張されるのであるが、現在では相対主義の極論的な考えと見做され、様々な観点から実証性を含め手厳しく批判されている(Deutscher 2010ほか)。以降では「サピア・ウォーフの仮説」そのものには深入りせず、この仮説の問題提起としての意義を追求してみたい。

「言語が違えば認識が異なる」、さらに言えば「言語が違えば分かり合えない」とは、この「言語」をどう捉えるかによって根本的な哲学問題となる。すなわち、パロールとしての個々人の言語が程度の問題で異なっているとするならば、我々人類は同じ「日本語」であっても究極的に分かり合うことができるのかという問題にすり替わるのである。仮に同じ言語内ですら相対主義が適用されるのであれば、異なった言語間であれば尚更である。我々は互いにコミュニケーションをし、時に複数の言語を操り翻訳しながら「やり取りできている」と思っていることは幻想なのだろうか。

相対主義と絶対(普遍)主義の両極端の軸を仮定し、我々の認識や理解がそのどちらに汲みしているのかを議論することには意義がある。もちろん現実の日常社会においては、両端を結ぶグラデーションの中の「適切な混合具合」に位置していることは十分に予想できることであり、そのどちらに偏っていたとしても生活に重大な支障を及ぼすものではない。同時に、この問題は容易く回答できる類のものではなく、まさにオープン・エンド・クエスチョンであるといえる。しかしながら、たとえ「程度の問題」であったとしても、我々のコミュニケーションが「相対主義」であるならば、人々は究極的・根本的に「分かり合う」ことは不可能であり、そうであるならば、例えばコミュニケーション教育や英語教育をはじめとする外国語教育はやめてしまった方がよい。外国語教育を教育機関で教える正当性はなく、生徒や学生がその出来を評価されるあり方には論理的な矛盾が生じるからである。外国語教育は、基本的にA言語とB言語が翻訳(置き換え)可能であるとの認識に立つものであり、相対主義はその根本的な足場を否定する。例えばQuine(1960)は「翻訳の不確定性」を提議しており、異なった言語における解釈には必然的に不確定性が残ることを論じている。

逆に我々の認識や理解に普遍性が認められるならば、人々は根本的に「分かり合える」はずであり、したがって人類は今まで以上に積極的に「共通の語彙」「共通の認識」「共通の価値観」を求めて互いに手を携え、連帯すべきである。グローバル時代といわれる昨今、未だ世界中に争いが絶えず、皮肉にも相対主義に拍車がかかっているとさえ思える事象も少なくない。人々が拠って立つことができる確かな基盤があり得るならば、我々はそれらを求めるべきであり、明らかにするべきではないだろうか。

2 「相対主義」の可能性

人々は究極的に「分かり合える」のか、「分かり合えない」のか。言語や文化の違いは、認識や価値観までも違えるのか。個々人の差異は決定的であり、人々が「分かり合う」ことは不可能なのか。繰り返しになるが、「サピア＝ウォーフの仮説」がこうした議論に対する問題提起を改めて行っただと考えれば、その意義は大きい。いわゆる「相対主義」と「普遍主義」という、相容れない2極の考え方を際立たせたわけであるが、見方によって、そのどちらにも一理あることはおそらく確かである。以降の議論では、まず「相対主義」の立場に汲みすることで、こうした論点を掘り下げてみたい。ここでは言語哲学の中でも、プラグマティズムに傾倒していく3人の哲学者、Quine、Davidson、Rortyの言及を参照しながら、「人々のコミュニケーションが根本的に通じ得ないこと(＝相対主義)」について議論する。なお、これら3人が相対主義を必ずしも肯定していないことには注意しなければいけない。本論考は、あくまで

議論の道筋を提示する論点として用いる。

まずは相対主義の関連を論じるにあたり、Quineが繰り返し引用し用いた「ノイラートの船」(1960)を取り上げたい。このメタファーが示すところは、我々の一切の認識や知識が、いわば「根無し草」のように世界を漂流していることを含意し、我々をプラグマティズムへと導く強力な理論装置である。「2つのドグマ」(1951)の議論にも繋がる彼の立場は、絶対的・普遍的真理を鋭く否定するものであり、いかなる考えや論理であっても、その改訂を免れることは決してできないことを主張するものである。大海原を漂流している我々人類は、その都度の現実的対処をもって、我々の世界観を更新していかざるを得ない。その更新のメスは、安定したパラダイムを築いてきたと思われる科学観に対しても容赦ない。Quineは直接言及していないが、そのメスは「自由」という価値観や「民主主義」といった価値観に対しても同様に向けられるであろう。Kuhn(1962)の歴史的検証が示すのは、我々人類が、まさにこのようにして我々の世界観や知識の体系を更新してきた事実であり、Rorty(1979)の指摘する通り、我々の認識、価値、パラダイムには歴史性が必然的に伴うことは実に確からしいのである。

次に見るのは、Davidson(1986)が論文"A Nice Derangement of Epitaphs"にて提起した言語コミュニケーションにおける根本問題である。これは謂わば「言語の死亡宣告」(戸田山 2002)として「物議を醸した」議論であるが、彼は哲学者や言語学者が想定する規約(convention)に基づいた言語観を大胆に否定し、言語の非存在説を論証する。以下Davidson(1986)の一部を抜粋する。

... There is no more chance of regularizing, or teaching, this process than there is of regularizing or teaching the process of creating new theories to cope with new data in any field... (p.265, ll10.12)

... I conclude that there is no such thing as a language, nor if a language is anything like what many philosophers and linguists have supposed. ... (p. 265, ll.22-24)

本論考はDavidson(1986)そのものを論評するものではないため、当該論文で用いられた理論装置の全てを検証するわけにはいかない。しかしながら、Davidsonが論じるコミュニケーションの実態は、日常の我々の言語を使ったやり取りを言い得ていることもまた確かであり、種々の論拠には一定の説得力がある。Davidson(1986)が説くコミュニケーション理論(後に取り上げる「当座理論」)には、共有された文法も無ければ規則も無く、学習可能な共通の核といったものも無い。任意の発話はその時々で意味を変え、その意味でまさに「任意」なのである(山中 2015)。これは先の「ノイラートの船」の如く、我々を抛って立つところのない、不安定で心許ない「理論」に追い遣るものである。敷衍し極論すれば、Davidsonの問題提起は、標準化や一般化、体系化といった、我々が無意識に前提し、期待する想定を大いに打ち砕くものであり、我々は慎重にこの思想的含意とインパクトの大きさを吟味すべきである。

最後にRorty(1989)の「偶然性(contingency)」の論点を取り上げる。Rortyはその多くがQuine, Davidsonの思索を踏襲し、それに基づいた論考を展開している。特に先述したDavidsonのメタファー論をはじめとする論考等到大いに触発されることで「言語の偶然性」を論じ、その適用範囲を「自己の偶然性」、「リベラルな共同体の偶然性」にまで大きく敷衍した(米永 2002)。本論考の観点からすれば、相対主義のスタンスに謂わば追い打ちをかけた論考であるが、Rortyのネオ・プラグマティズムの立場は徹底している。

「基礎づけ主義」を否定し、真理やその尺度といった概念を悉く否定するRortyの論考は、世界そのものが歴史性を帯びた偶然の所産であり、新たな語り方(メタファー)によって別の地平が拓かれる可能性が常にあるとする。Rortyが理想とする(リベラル・)アイロニストは、自己の「根の無いこと(rootlessness)」を自覚しており、自らの「終局の語彙(final vocabulary)」の偶然性と毀れやすさを自覚しているという。終局の語彙の大半はローカライズされており、柔軟性に欠けるものであるから、常にそれらを疑い、新

旧の語彙を競わせることが重要である。

先に同じく、Rortyの論点の全てを本論考が扱うにはあまりにも手に余り、部分的な引用に留めざるを得ない。しかし「制度と慣習は歴史を通じて興隆し、普遍的な妥当性こそ受け入れ難い」とするRortyの一貫した立場は、絶対的な真理という「虚構」を措定することでそれ以上語ることを止め、日々変化する価値や規範のダイナミズムを捉え損ねる我々の態度に警鐘を鳴らしているようにも思われる。安易な「相対主義」も危険であるが、安易な「普遍主義」もそれと同様、もしくはそれ以上に危険であることを我々は自覚するべきなのである。

3 「普遍主義」の可能性

次に本章では、「人々は分かり合うことができ、コミュニケーションは根本的に成立し得る」と考える先述とは全く逆の見地から議論してみたい。「根本的なレベルで分かり合える」とは、我々が言語や価値観の相違を乗り越えた、ある共通の枠組みなり思考様式を持っていることを示唆するものであり(=普遍主義)、こうした点は今後より積極的に追及されるべきである。根底のレベルで我々が分かり合える基盤を有しているならば、そうした共通の枠組みを明らかにし、そこを起点にあらゆる人々と連帯を拡げていくことができるはずである。そこには共通の価値のもと互いが歩み寄り可能性が確保され、コミュニケーションを行う意義を見出せる。まずはDavidson(1986)のマラプロピズム論から見てみよう。

Davidson(1986)は、現実世界の言語コミュニケーションが「当座理論(passing theory)」によって遂行され、ある発話に対して、解釈者はその都度暫定的に意味を解釈させることで成立することを論じる。Davidsonは、「言い間違い(malapropism)」を含むにも関わらず日常のコミュニケーションが成立することに拘り、コミュニケーション成立の局所性に着目する。発話の受け手は、時として発話者の字義の意味と、発話者の「真の意味(Davidsonはこれを「第一の意味(first meaning)」と呼ぶ)」が一致しない場合、必要とあらば発話の受け手は、当初の字義の意味を改竄してまでも第一の意味を「正しく」解釈しようとする。しかも言い間違いは単純にパターン化できず、再帰的な知識として定着させることはできない。もちろんQuineが指摘するように、一定の発話の保守傾向は見られるかもしれないが、コミュニケーションを取り巻く状況は、発話者個人内においてでさえ、常に動的に作り変えられるのであり、意味とはその場その時において「当座(暫定的)」に成立するのみだと主張する。

さらにDavidson(1986: 261)は、「言語コミュニケーションを成功させるために共有されるべきは当座理論である」ことを殊更強調しており、これを「理論」と言えるかどうかについては議論があるものの、第二言語コミュニケーションの実態も含め、日常の「通じ合える」現象を当座理論は鋭く説明している。Habermasのようにそれを「戦略(strategy)」と呼ぶかどうかは別として、互いが持つ当座理論を最大限収斂させ、その都度の言語的遣り取りを(どうにかして)成立させる能力こそコミュニケーションの本質だとする。そして本論考にとって重要なことは、当座理論は人々にすでに共有されて(shared)いるとDavidson(1986: 264)が述べていることである。

またDavidsonは、日常のコミュニケーションにおいて、我々が「寛容の原則(principle of charity)」を用いることで、種々様々な知識や技術を最大限動員・駆使し、現に相手の「第一の意味」を汲み取っていることを指摘している。寛容の原則に支えられたDavidsonの当座理論は、私たちが「(言語的/字義的なやり取りという意味では不十分にも関わらず、特に問題なく)分かり合える」ことを説明する論拠として、想像以上に強力なエンジンであることが窺い知れるのである¹。

¹ 言語には恣意性があり、語用論的な観点からもそれぞれの語や文の意味は一義的には定まらない。即ち、発話者は原則「自由に」自らが産する言語に意味を付与することができる。これは理論上誰もが、Davidson(1986)も指摘するハンプティ・ダンブティであることを指し示している。Davidsonはメタファーについても別論文("What Metaphors Mean" 1978)で議論しており、Rortyも指摘するように、詩や文学に

またRortyはJ.Shklarの著作を引用し、自らのリベラリズムの出発点を「残酷さ(cruelty)こそ私たちがなしうる最悪のことだ」と考えること、そして「残酷さ」と「苦痛(pain)」を減少させることとしている(大賀 2006)。これは人類の共通の価値の土台として提示された論点であり、彼の議論の足場となっている。Rortyが語る「リベラルな連帯」とは、本質主義や基礎づけ主義の否定を前提としながらも、苦痛や苦悩を感じる能力だけは無前提かつ普遍的に共有し得ると考え、人々のなし得る最善のこととは他者との創造的な同一化であるという主張である。また、寛容な精神の中で、相互の多様性や差異性を認め合い、次第に「私たち」の範囲を拡大する中でリベラルな社会的連帯が実現すると考えるのである(柳沼 2002)。ここでRortyの細かな議論に立ち入る余裕はない。しかしながら、哲学における「原理」や観念論を一貫して徹底的に否定するRortyであるが、皮肉にも、彼の議論にも「拠って立つ」ところがある、即ち「残酷さと苦痛の減少」についての普遍性を主張し、Davidsonと同じく寛容な精神の重要性を述べていることについては着目しておく意義があろう。

4 普遍主義的価値観への訴え

本論文はここまで、人々のコミュニケーションにおける「相対主義」と「普遍主義」の論点を挙げ、議論の素地を準備した。ただし言うまでもなく、Quine, Davidson, Rortyそれぞれの思想は難解かつ深大であり、筆者のような者がそれらを漏れなく汲み取れているわけではない。不十分な整理であることは前提とした上で論じるが、相対主義、普遍主義それぞれに妥当な論拠があり、単純に甲乙つけられるものではない。しかしながら本論文は、結論を先に述べるならば、後者、即ち言語論的「普遍主義」の立場に汲みしたい。つまり、人々はやはり究極的には「分かり合える」と考えたく、その可能性を最後まで追求すべきであると考えたいのである。

先述した通り、Quine, Davidson, Rortyそれぞれが自身を「相対主義」論者、「普遍主義」論者のどちらであるかを明言しているわけではなく、また現在この3名はすでに他界しており、これらの別は読者が読み取るしかない。無理を承知で筆者が推測するならば、Quine, Davidsonはあくまで普遍主義を追求し続けたものと考えたい。Quineが論じた「刺激文」や、本論文でも取り上げたDavidsonのマラプロピズム論は、Davidsonが指摘するようにubiquitousに存在するものを指定して論を展開しており、ローカルに成立する概念を提示しようとしていなかったと見做せる。そしてこれは哲学者として、いわば至極当然の振る舞いであるとも言えるだろう。しかしRortyの立場を推し量るのは難しい。Rorty(1979)は「従来の意味での」哲学に終わりを告げており、科学や哲学と、文学との境界を消し去るかなりラディカルな議論を展開した。一方で先述の「残酷さと苦痛の減少」といった万人に共通する価値感へ訴え、また他方で堂々とRortyの意味する「自文化中心主義」(1991)を論じており、一概に相対論者とも普遍主義者だとも看做し難い。ただし本論文の立場からするならば、やはりRortyも同じく、人類の文化や価値を述べる上で、根源的に拠って立つことができることを追求したとして、普遍主義者であると考えたい。無論こ

まで範囲を広げるならば、言語の恣意性には際限がない。しかし我々は、日常の言語コミュニケーションにおいて、ハンプティ・ダンブティのように言語の独我論のみを主張し、アリスとのコミュニケーションが成り立たないようなケースに遭遇することはまずあり得ない。言い間違いや文法上の不備、その他の阻害要因を多分に含むにも関わらず、話し手が想定する「第一の意味」は受け手に一般的には伝わっているのである。その理由はDavidsonによるなら話し手と受け手の当座理論の収斂に成功しているからであり、寛容の原則が働くことで字義的な意味における「不備」は解消されているからである。なお寛容の原則については、それ自体が紙面を改めて論ずるべき内容であり、ここでは指摘のみに留めざるを得ないが、一見すると、聞き手の「善意」や「ボランタリー精神」に委ねるだけのような、脆弱なものに見えるかもしれない。しかしながら、これこそが日常のコミュニケーションの実態であり、とりわけ字義上の不備が混入し易い第二言語コミュニケーションにおいては、寛容の原則に大きく依存することはむしろ戦略的に正しい。コミュニケーションにおけるやり取りにおいて、そこに何の意図もないと想定するのはまず考えられないことであり、話し手は「何か」を伝えたいのだろうと聞き手が想定することは実に自然なことであり、その意図を「何とかして」汲み取ってあげたいと考えることもまた自然な感情ではなからうか。これは各個人の性格上の問題ではなく、より基底部における、全ての動物に基本的に備わる「習性」として想定してよい可能性がある。

れは、基礎づけ主義を徹底的に嫌うRortyが進んで受け容れるものではないかもしれないが²、本論文は、理論的な基礎づけとして普遍主義を指定したいのではなく、さらにその前段階としての、すなわち「会話」を継続させるための土壌としての「共通理解」という意味での普遍主義を想定している。

しかし何よりも、本論文が普遍主義の側に汲みしたい最大の理由は、誤解を承知で述べるならば、その方が理論上「都合が良いから」に他ならない。なおこれは、後に議論する、プラグマティズムの考えに沿った言い方をあえてしているのであり、この表現には意図がある。相対主義か、もしくは普遍主義かというのは、あくまで概念間の問題であり、理論的な決着が直ちに何か重大な変化を現実世界に引き起こすわけではない。そうであるならば、私たちの生活にとって、より良い結果を導くような考えや解釈に汲みし、それによる「好ましい」影響を享受した方が、生活戦略上得策ではないのか。プラグマティズムの利点は、それが抽象的な概念を操作することに終始したり、現状を嘆いたり喜んだりするだけに止まらない点にある。現実にはその「考え」が役に立つかどうか、その有用性の如何で評価し、逆に言えばその点のみに価値を置くのがプラグマティズムなのである。本論文の理論的支柱はこのプラグマティズムにあり、その点に立脚した上で「普遍主義」を主張したい³。普遍主義の方が、我々の生活や日常のコミュニケーション、そして筆者の専門領域である外国語教育にとって「(より)好ましい」影響をもたらすことが期待できるから、これが最大の理由である。理論的に、相対主義の考えよりも普遍主義の考え方が優れていると判断できたからではない。

4.1 「残酷さと苦痛の減少」から「希望」へ

言語論的「普遍主義」の可能性、即ち人々が分かり合うとするコミュニケーションの可能性を追求するにあたり、この議論に極めて関連性を持つであろうと思われる論点がRortyの「残酷さと苦痛の減少」であり、Davidsonの「寛容の原則」である。「寛容の原則」については指摘のみにとどめ、紙面を改めて論じることとし、以降では「残酷さと苦痛の減少」について取り上げ論じることとしたい。

Rortyは自身が理想とする「リベラル・ユートピア」において、残酷さと苦痛が最小化されることを望んでいる。これはRortyが論ずる「公」と「私」の区別における「公」の範疇での議論であり、人々が共通して目指すものとして掲げた目標である。大賀(2006)が纏めるように、「物語」のジャンルによる表現手段が描き出し、告発するのはまさに他人が「残酷さ」と「苦痛」を受けている様子であり、これらへの感受性こそが「連帯」の範囲を拡げるための鍵となるとRortyは考えるのである。

無論この指摘は妥当であり、反論すべき内容でもない。しかしながら、筆者を含む日本人である我々

² Rorty自身、相対主義や非合理主義について嫌疑しており、「それ自体の区別が時代遅れで気の利かない道具立て」と述べている。本論文はこうした批判も承知しつつも、あくまで「普遍主義」と「相対主義」を対立的に論じることで、そこから見えるものを論じてみたいと考える。

³ 「プラグマティズムとは、かつてPeirce([1878] 1992: 132)によってその原型が示されたものであり、またJames(1907)によって一つの方法論として定義されたものである。20世紀のアメリカ哲学の根幹をなすようになったプラグマティズムは、後にRortyによってラディカルな進化形、「ネオ・プラグマティズム」として発展することになるが、ここには従来の科学方法論に対する徹底した決別の態度が見て取れる。プラグマティズムとは、アメリカの歴史・文化を貫く一つの世界観であり、哲学である。これは無論簡単に論じられる類のものではない。Pierceの定義に始まり、Jamesの問題解決への着目、そしてDeweyの具体的な教育への応用に至るまで、これらに一貫するのは、プラグマティズムの徹底した現実や実践への着目である。Deweyや、後にRortyも指摘するように、西洋哲学が現実や実践を軽視するのは、何も客観科学が隆盛を誇った近代以降の話ではない。古代ギリシア哲学以来、二元論的な世界観は、肉体に対する精神の優越、あるいはその特権性を暗黙のうちに是としてきた歴史を形成した。こうした価値観に異議申し立てを行うのが思想としてのプラグマティズムであり、実践家としてのプラグマティスト達である。なぜプラグマティズムが現実世界や実践にその意義を認めようとするか、その理由は現実社会に「役に立つ」ためには、実践に活かされることこそ最も意味があると考えたからに他ならない。彼らの問題意識の根底には科学が持つ認識論的な狭さがある。我々の日常世界では、仮にある信念に確信が持てなくても、Peirceがいうアブダクションによる推論で積極的に仮説を構築し、試行錯誤しながら自らの知を拡大している。現実世界によりよく対処するためには、こうした模索的な実践を継続しようとするその態度こそが何よりも重要であり、正否の裁定を待つことではない。絶対的なもの、科学的なものによる一見動かしがたく思える真理はむしろ私たちの自由な考えや行動を妨げ、窮屈にさせてしまう。しかし私たちの認識や行動は、科学の枠を超えて出るのである(James 1956: 509)。」山中(2015)

にとって、社会環境や政治状況も異なる中で、こうした「残酷さと苦痛の減少」が共通の出発点として認識し易いかといえは難しいのではないだろうか。これは日本が平和を享受し、深刻な対立や亀裂を「公」のレベルで生んでいない証左なのであろうが、こうしたネガティブな要素を排除するところから議論を始めることに対して、違和感を感じざるを得ない。また文脈は異なるが、Rorty(1991)が自身の立場として明言するところの、“Postmodernist Bourgeois Liberalism”というスタンスも、少なくとも日本社会では直ちに受け容れられるものではないだろう。したがって本論文は、Rortyがこうした人々の根底にある共有できる価値観に訴え、連帯の範囲を拡張しようとする取り組みに対して示唆を受けるものとし、(ある意味で「控え目」な)「残酷さと苦痛の減少」に変わる積極的な鍵概念を提示したい。それが「希望」の普遍性である⁴。

4.2 「希望」を掲げる理由

希望を論じる先行研究として、玄田ほか(2009)らが創始した「希望学」がある。本論文はこの希望学の新たな側面として、希望とプラグマティズムとの接点について論じたい。玄田ほかによる希望学では、「希望」と「楽観主義」を並列に論ずる等の理論的考察は試みられているようであるが、本視点については取り上げられていないようであり、むしろこの点が、彼らが論じる希望学の「(期待／観念としての)希望」と「(希望に近づくため／実現するための)行動／行為」を繋ぐ核心であると本論文は考えるのである。

希望学は、“Hope is a wish for something to come true by action”(2009: xvi)と定義している。これは、希望が単に、淡い期待や夢とは異なり、実社会と接点を持ち、世界の変革やその方向性を具体的に指し示すものであり、そのためには「行動」や「実現させること」が同時に重要であることを意味している。ただ期待するだけでは、ただ嘆くだけに終止したとされるかつての「ポストモダン(アンチモダン)」への批判と大して変わらない。希望とは何らかの形で「行為」を伴う必要があり、それこそが、夢想との決定的な差異であろう。この点から見た場合、現実の行為とその結果が引き起こす有用性に最大の意義を見出す「プラグマティズム」の哲学に対し、希望学は積極的な共鳴を示し、理論的な重なりに大いに光を当てていくべきではないだろうか。

さらに希望とは、人々の行動に「前向きな」、即ち肯定的で積極的な意味を付与することには疑いがないものと思われる。コミュニケーションにおいてもしかり、人々が根本的に分かり合えたとし、その実現のために、努力を惜しまず、会話を継続し、連帯の範囲の拡張する「希望」を持つことこそ、究極的な意味での普遍主義を(いつか)可能にし、同時に、希望学を実践することにはならないだろうか。

5 おわりに: パンドラの箱の中の「希望」

「希望学」の議論として取り上げ、解釈を試みる必要があると思われる論点に「パンドラの箱」の神話がある。パンドラの箱に最後まで残され、取り出されなかったとされる「希望」であるが、この解釈については種々様々な見解が提示されているようである。そもそも神話や昔話には多義性があり、そこに教訓や示唆が含まれているため一義的な見方はむしろ健全ではないともいえる。しかし、いずれにせよ世界中に災禍が蔓延したとされる物語の文脈において、唯一我々の側に残されたとされる「希望」に、人類は何を見れば良いのだろうか。

⁴ なお、Rorty自身、自らを「希望の党派」と宣言しており、「ユートピア」や「連帯」といったプラス面を目指していた(大賀2006)。本論文は、むしろこのプラスの側面を全面に押し出し、普遍的概念としての「希望」を追求したいのである。

この世の不幸、不合理、アンフェアネスについては、古代から現代まで、全ての個人が経験し、辛苦を突き付けられてきたといえよう。出生、家族、親しい者との別離まで、我々は選ぶことができないし、幸せと不幸せの割合は決して平等ではない。「どうして自分だけ…」と己の運命を嘆くことは誰にも経験があることではないだろうか。そしてこうした辛く、悲しい世の中は、個々の人生が続く限り、残念ながら継続的に起こり続ける。これから起こるであろう災禍に自分は耐えられるのだろうか。こんな世の中に生きているくらいなら、早いところ命を絶った方が合理的に「正しい」のではないのかとさえ思えてくる。パンドラの箱の物語が、現代の物語でもあることはあまりにも明らかである。

しかし人類には「希望」がある。これは好意的に解釈すれば、どんな逆境にもめげず前向きに生きていく人類の逞しさであり、現に希望を持ち続けることでそれが叶うことも稀には起こる。したがって我々は希望を捨てるべきではないとする考え方だ。しかしこれには別の解釈もできる。不幸にも人類が「希望」を持ってしまったがために、別の言い方をすれば「希望」を捨てきれないために、こんな辛く悲しい世の中でさえも生き続けてしまっているとする見方である。ここでこのどちらの解釈がより正統であるのかを議論するつもりはないが、パンドラの箱の神話が共通に示していることは、人類は根源的に「ささやかな希望」を持ち続ける存在であるということである。これが幸か不幸か、吉と出るか凶と出るか誰にも判断できるものではないし、どうやら人類は常にそのような功利的な見地からのみ物を考えている存在ではなさそうである。

「希望」を「持ってしまう」ことが我々共通の「習性」であるとするならば、実は「苦痛を減少させること」と同じように、人類が共通に持ち、連帯を呼びかけられる拠り所になるのかもしれない。素朴に考えて、人類が希望を持つことは決して悪いことではない。「希望学」とは決して掘み所のない根無し草等ではなく、意外にも、他のどんな学問よりも根源的な基盤を持った、人類の新たな「立ち位置」なのかもしれない。世界中の叡智を集め、議論が継続されることを願ってやまない。

参考文献

- Davidson, D. (1984) *Inquiries into Truth and Interpretation*, Oxford University Press.
- Davidson, D. (2006) "A Nice Derangement of Epitaphs," 1986, in *The Essential Davidson*, edited by Ernie Lepore and Kirk Ludwig, New York: Oxford University Press, pp.251-265.
- Deutscher, G. (2010) *Through the Language Glass: Why the World Looks Different in Other Languages*. New York: Metropolitan Books.
- James, W. (1907) *Pragmatism: A new name for some old ways of thinking*. New York: Longman Green and Co.
- Kuhn, T.S. (1962) *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Peirce, C.S. (1992) "How to Make Our Ideas Clear," 1878, in *The Essential Peirce: Selected Philosophical Writings*, Volume 1 (1867-1893). Ed. by Nathan Houser and Christian Kloesel, Bloomington: Indiana University Press.
- Quine, W.V.O. (1960) *Word and Object*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Quine, W.V.O. (1951) "Two Dogmas of Empiricism" in *The Philosophical Review*, Volume 60, No. 1. pp. 20-43.
- Rorty, R. (1979) *Philosophy and the Mirror of Nature*, Princeton University Press.
- Rorty, R. (1991) *Objectivity, Relativism, and Truth: Philosophical Papers*, volume 1. Cambridge: Cambridge University Press.
- 大賀祐樹 (2006) 「残酷さと苦痛の減少」『社学研論集』Vol. 7、早稲田大学大学院 社会科学研究所
- 玄田有史ほか編 (2009) 『希望学1: 希望を語る』東京大学出版会
- 戸田山和久 (2002) 「真理条件的意味論と検証条件的意味論」『言語哲学を学ぶ人のために』野本和幸ほか編、世界思想社
- 柳沼良太 (2002) 『プラグマティズムと教育: デューイからローティへ』八千代出版
- 山中司 (2015) 「大学英語教育における評価の「無力化」と「実用化」に関する一考察: 論文“A Nice Derangement of Epitaphs”を問題提起として」『立命館言語文化研究』26巻4号、立命館大学
- 米永政彦 (2002) 「偶然性についてのノート(3): R. ローティ」『鹿児島大学法文学部紀要人文学科論集』55、pp.113-137

Formation of Forsterite Grains and Direct Observation of The Sublimation of Crystal Formation Grain

Chihiro Kaito, Saito Yoshio, Chiyoe Koike

Department of Physics, Fuel Cell Center , Ritsumeikan University
Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

Forsterite crystal fine grains have been produced by flushing SiO powders into the flame during MgO grain formation in mixture gas of Ar (80 %) and O₂ (20 %) at 13 kPa. Experimental studies on the sublimation of forsterite grains upon heating at 10⁻⁶ Pa have been carried out using a high-resolution transmission electron microscope. The spherical crystalline grains became polyhedral at 973 K, which corresponded to the temperature at which the stall state appeared. Coalescence and sublimation occurred at 1093 K. The sublimation rates of forsterite grains with a size of 40 to 100 nm with the structure of Mg₂SiO₄ were estimated. The sublimation of grains near the crystallization temperature indicates the reason that no crystal silicates appear in the interstellar medium.

1. Introduction

Submicron-sized silicate grains are present in the circumstellar outflows around oxygen-rich stars and within the interstellar medium. These grains may play an important role in the early evolution of the solar nebula, both as the starting material for the accumulation of planetary bodies and as the chief source of infrared opacity in the nebula. Since the estimated pressure of the solar nebula at 2-3 AU is low [1], experiments on grown metamorphism in vacuum are important for comparison with condensation, evaporation, melting and crystallization process observed in the primitive solar nebula [2 and 3].

IR spectra of red super giant (RSG), asymptotic giant branch (AGB) stars, post-AGB stars and planetary nebula (PNe) obtained by the infrared space observatory (ISO) project indicated a mixture of amorphous and crystalline silicates [4 and 5]. Spectroscopic and imaging observations of the structural and compositional properties of brown dwarf disks [6] showed that crystalline silicates are significantly more abundant in the outer part than in the deeper layers of the disk. In addition to the crystallization of amorphous grains, the reverse transformation from crystalline to amorphous species has become an important point of consideration.

We demonstrated that the crystallization of amorphous Mg-bearing silicate grains to crystalline Mg₂SiO₄ crystal takes place at 1075 K in vacuum [7]. The crystallization starts from the grain surface. We also found that prenucleation occurs in the 923-1003 K temperature range before the onset of crystallization at 1073 K. The phenomenon of a pre-nucleation state corresponds to the stall state, which was clarified by infrared spectroscopy [8]. Specific studies on the evaporation of forsterite at 1973 K have been performed recently. It was shown that forsterite evaporated congruently both in equilibrium in H₂ gas [1 and 3] and in vacuum [9]. The evaporation anisotropy of a synthetic single crystal of forsterite was investigated by high-vacuum experiments [10]. The intrinsic evaporation rates for the (100), (010) and (001) surfaces are different, and have a ratio of ~17, ~7 and 22 on μ m/hour. The evaporation rate along the c-axis is largest. The evaporation rate along the b axis is smallest due to the cross-packed direction of the MgO tetrahedron. In this paper, we report the direct observation of the sublimation of sub-micron scale, crystalline, Mg₂SiO₄ grains vacuum at a pressure of 10⁻⁶ Pa. The dynamic behavior of the submicron scale, crystalline, grains was recorded on videotape.

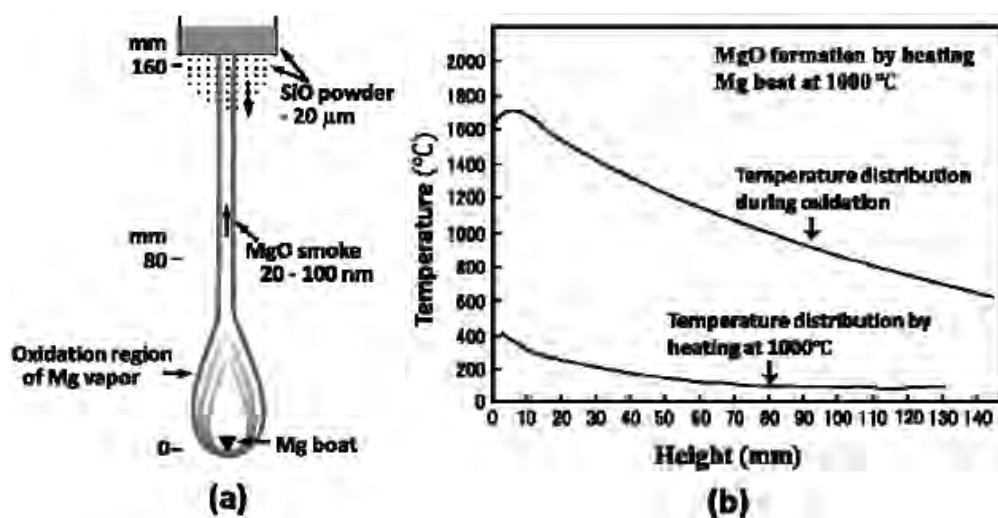


Fig.1. Schematic representation of method crystalline forsterite grain formation in magnetism oxidation smokes region by a tantalum boat (a). Temperature distribution during the appearance of MgO smoke in mixture gas of O_2 and Ar (b).

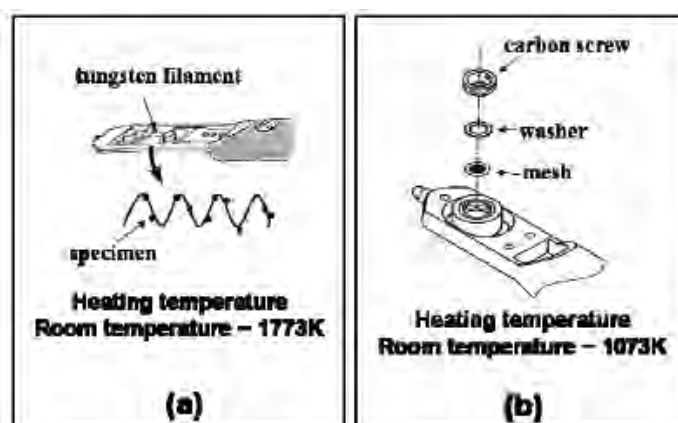


Fig.2. Schematic diagram of heating stages used in the present experiment in transmission electron microscope in vacuum

2. Experimental Procedure

The crystalline Mg_2SiO_4 sample were produced by an advanced gas evaporation smoke method, i.e., SiO powder was flashed into a magnesium oxide flame as shown in Fig. 1(a) [11]. The sample preparation chamber was a glass cylinder of inner diameter 17 cm and height 33 cm. MgO smoke was produced by the oxidation of evaporated magnesium from the evaporation source of tantalum boat in mixture gas of O_2 (20 Torr) and Ar (80 Torr) in gas pressure of 13 kPa. SiO powders were sprinkled on the smoke stream rising straight up from the evaporation source. MgO fine grains were produced by evaporating Mg powder at $1000^\circ C$ in the mixture gas. During the evaporation of Mg, the temperature in atmosphere becomes higher than the source temperature due to the exothermic reaction of Mg vapor as shown in Fig. 1(b). SiO powder sprinkled from the top of the smoke was evaporated in MgO oxidation region in Fig. 1(b). If the evaporation of Mg powder finished, the temperature becomes the general shape of gas flow temperature at $1000^\circ C$ as indicated in Fig. 1(b). The evaporation of SiO powder occurred during the oxidation of Mg. Two heating stages were used, as shown in Fig. 2. Specimen Mg_2SiO_4 crystal grains were placed on the tungsten heater (Fig. 2 (a)). This holder can be used to heat the specimen to 1773 K, whereas the holder shown in Fig. 2(b) can be used for heating to approximately 1073 K. The specimen was dispersed on the carbon holey film. The specimen holder in Fig. 2(b) can also be used for the method of covering the specimen with a thin carbon film [12]. The sublimation process was observed by high-resolution transmission microscopy (Hitachi H-9000 NAR) using the specimen holder in Fig.2.

3. Results and Discussion

3-1 Formation of forsterite grain

One of experimental methods used to produce ultrafine growth is the gas evaporation technique. If the Mg and SiO is evaporated on the mixture gas of O₂ (20 Torr) and Ar (80 Torr) from the evaporation source of tantalum boat at 1000 °C (Mg) and 1600 °C (SiO), the typical electron microscopic image of MgO and SiO₂ were produced as shown in Fig. 3. MgO particles were cubic shape compound of 8 {100} planes. By the evaporation of SiO powder in the mixture gas, amorphous oxidation of SiO is preferentially produced beta-SiO₂ amorphous spherical structure as indicated diffractions pattern. The detail formation of silicon oxide will be published elsewhere.

If the SiO powder were introduced into the Mg oxidation region in smoke, the reaction between magnesium oxide and SiO water took place as indicated previous paper [11]. The heating of Mg at 1000 °C, the reaction of Mg with oxygen gas becomes at 1600 °C as indicated in Fig. 1. The produced particles were MgO and Mg₂SiO₄. The amorphous Mg₂SiO₄ particles were hardly produced in the present method against another method [7].

Figure 4 shows a mixture of forsterite particles indicated A (Mg₂SiO₄, a = 0.47553, b = 1.01978, c = 0.59817 nm), the same lattice constants as those in the studies on the evaporation anisotropy of single crystal forsterite (Nagahara and Ozawa, 1999) and of periclase particles (MgO indicated B) produced by dropping SiO powder into the MgO smoke flame [11]. Since the MgO flame due to the oxidation of Mg vapor reaches 1873 K [13], the SiO powder becomes SiO vapor in the flame.

Figure 5 (a), (b) and (c) show the high-resolution transmission electron microscopic images of Mg₂SiO₄ crystal. Most of the spherical grain had a plate shape, and the crystallographic orientation is shown in the images. The electron diffraction pattern (ED) showed the single-crystal grain growth of forsterite.

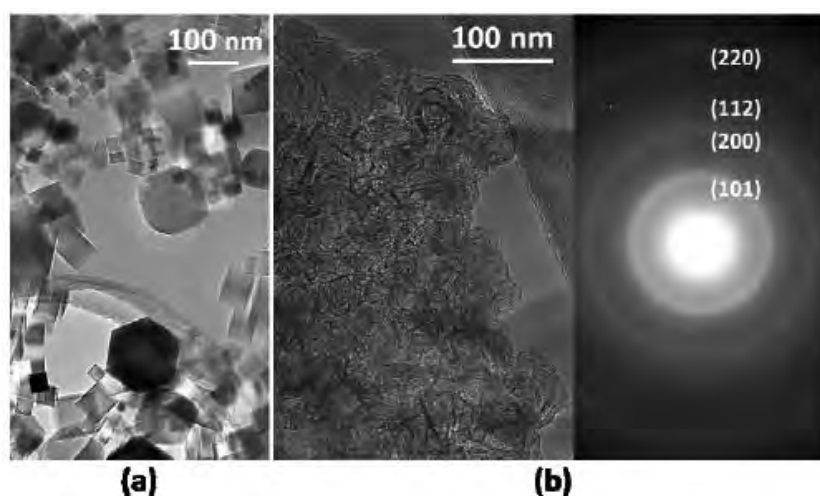


Fig. 3. Typical produced grains of MgO and amorphous, β — SiO₂ by heating in the present system.

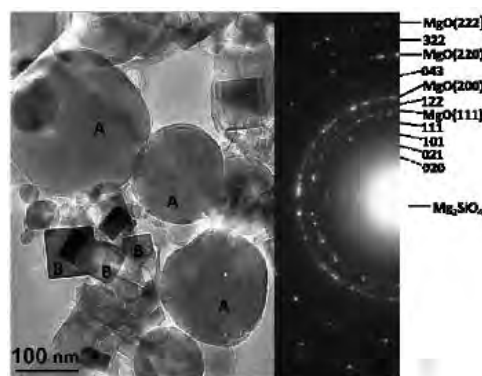


Fig. 4. Typical electron microscopic images of MgO and Mg₂SiO₄ crystal grains produced by the present system in Fig. 1. A and B shows Mg₂SiO₄ and MgO particles.

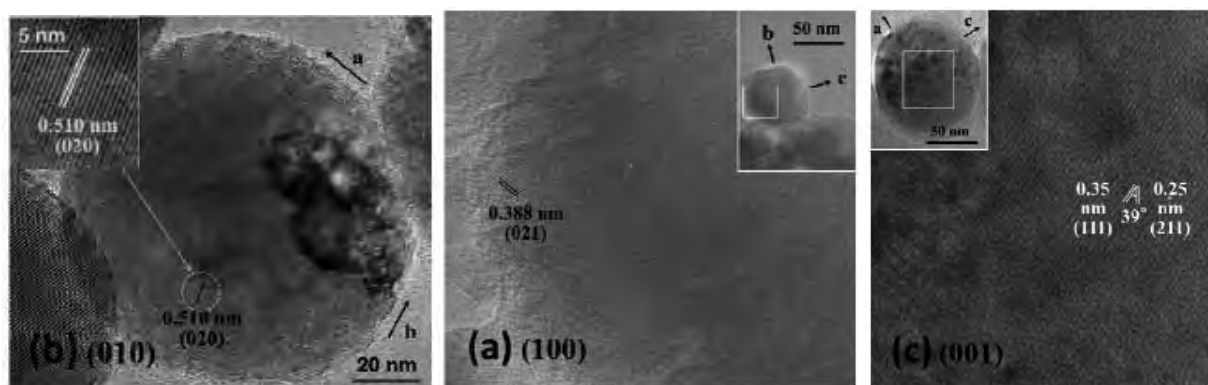


Fig. 5. High resolution electron microscopic image of (100), (010) and (001) direction images of Mg_2SiO_4 nano particles.

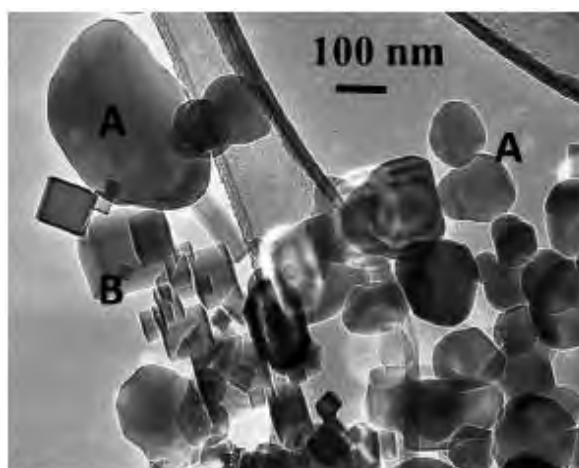


Fig. 6. Typical image after heating using the hole in Fig. 2 (b). Spherical grains became polyhedral upon cooling in vacuum. A and B shows Mg_2SiO_4 and MgO particles.

3-2 The sublimation of crystal forsterite grains

The morphological alteration started at 973 K. The spherical crystal indicated in Fig. 4 became polyhedral shapes as indicated in Fig. 6. This shows that the higher order crystal plane started to sublimation or be remolded. Fig. 7 shows the direct observation on the alteration process of forsterite crystal. The shape of the particle indicated by arrows A and B were altered at 973 K. The alteration of the spherical shape crystal B than the spherical shape crystal A was clearly seen. The black dots and the coagulated cubic particles indicated by arrows suggest the formation of MgO crystallites, i.e., the decomposition of Mg_2SiO_4 spherical particle into MgO and SiO_2 took place as well as prenucleation of amorphous forsterite grains, i. e., surface decomposition is prominent above 973 K. The b and c or a axes of the forsterite crystals appeared. This shows that the higher order crystal plane started to sublimation or be remolded. From the difference in evaporation along the a, b and c axes of the forsterite crystal [10], the (001) and (100) planes, with higher rates of evaporation, both evaporated.

When the temperature was increased to 1103 K, which is slightly higher than the crystallization temperature of 1073 K [7], coalescence growth and sublimation were prominently observed. Figure 8 shows the process of alteration and sublimation. The convex region indicated by the arrow in Fig.8 was flattened by the sintering process (Kimura,1960). By increasing the temperature by only about 10 K, two polyhedral grains of size 500 nm in contact were observed to coalescence, and alter shape as shown in Fig.8. The particles indicated by the arrow A altered their shapes.

The black dots seen in Fig.7 hardly observed. The sublimation of the Mg_2SiO_4 crystal took place congruently, which means that the residue has the same composition as the starting material [1]. The grain indicated by arrow A sublimated

and disappeared with 430 s as shown in Fig.8. If we assumed that the particle size indicated by arrow A at 210 sec is a sphere with a radius of 42 nm, then the mean evaporation rate of the forsterite crystal is 2.04×10^4 molecule/sec. From the coalescence of grains at 1103 K, it was estimated that a spherical grain of 172 nm was absorbed in 810 sec by diffusion to the substrate grain. The alteration in shape suggests that this may be the result of the differences in evaporation rates along the different axes. The sublimation rate before the diffusion process merged the two grains was 3.6×10^4 molecule/sec.

Figure 9 shows a grain of 100 nm radius on the top of a MgO crystal sublimated in 380 sec. The mean evaporation rate for the particle in Fig.9 is 1.5×10^5 molecule / sec.

To observe the evaporation along the [010] direction, the surface of the particles was covered with a thin carbon layer using the heating shape (b) in Fig.2 (b). The specimen grains were dispersed on holey carbon film. A typical grains covered by a thin carbon layer (4 nm) is shown in Fig.10. The carbon layer was also evaporated above 973 K (Ishikawa et al., 2003). The evaporation state of the forsterite along to the (010) plane was observed using a high resolution transmission electron microscopic image of the (101) lattice image in the temperature range between 1033 to 1113 K as shown in Fig.11. The lattice image of (101) lattice image in the temperature range between 1033 to 1113 K as shown in Fig.11. The lattice image of (101) is distorted upon the evaporation of the (010) surface. The thickness alteration causes the lattice image to disappear. Therefore the focus of the grain in the TEM was altered. However all of the (101) lattice images disappeared within 1063 sec. The disappearance of the lattice images left to right suggests that sublimation took place by layer. At about 1113 K, the crystal structure of Mg_2SiO_4 was destroyed and most of the particles became MgO crystallites. After heat treatment of the sample, the particles dispersed on the carbon holey film had changed in

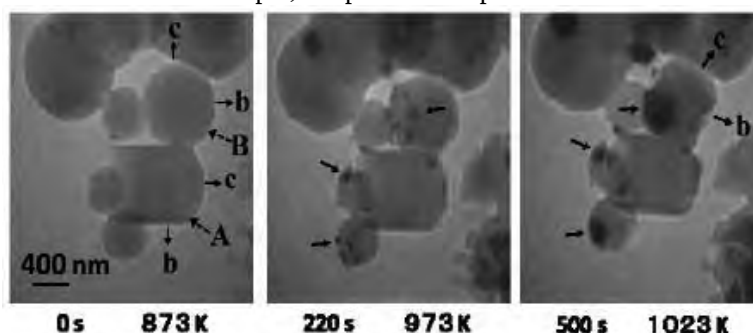


Fig. 7. Morphological alteration of forsterite grains by heating to the prenucleation temperature (stall state)

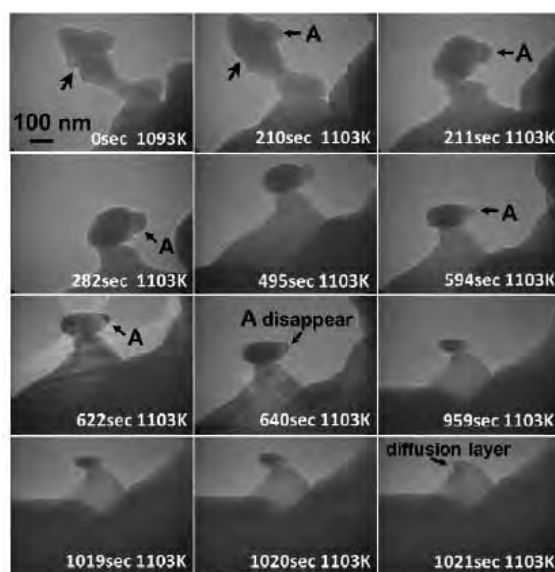


Fig. 8. Coalescence and sublimation at the temperature range of crystallization

shape and MgO crystals were predominately observed as shown in Fig. 6. Figure 12 shows the high resolution electron microscopic image corresponding to the grain in Fig.11, fine stable and dissolved MgO crystallites was predominately seen. The layer – by layer- alteration along the b-axis was mainly due to the decomposition of Mg_2SiO_4 and MgO and SiO_2 . The metamorphism of SiO_2 phase [14] was clearly took place at 1173 K. More detail based on an experiment using

the same apparatus in Fig.2(a) will be published in near future for the SiO₂ plane.

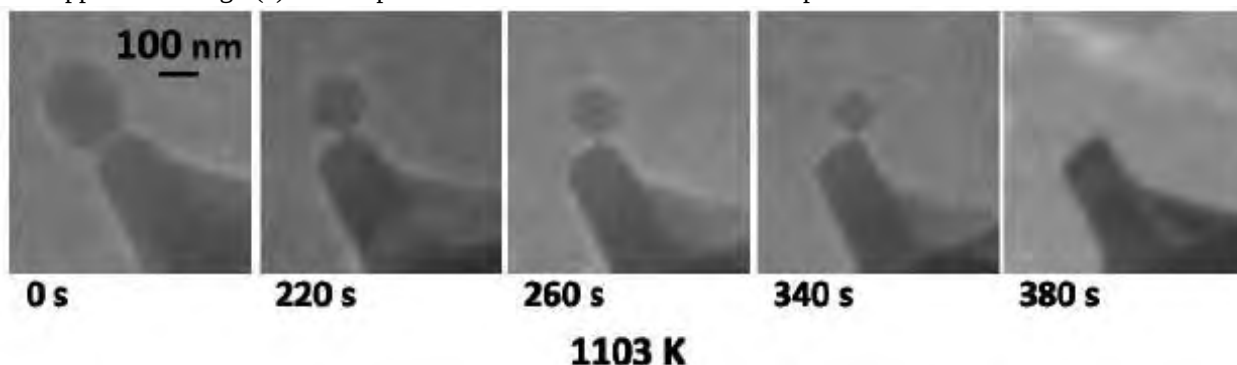


Fig. 9. During the sublimation process, the shape of crystal was altered.

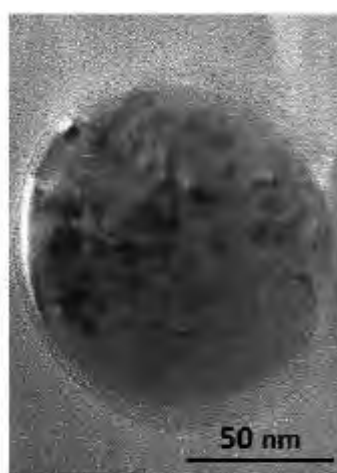


Fig. 10. Typical grains covered with amorphous carbon layer of 5 nm thickness. A grains covered with a carbon layer can be easily produced using the heating stage in Fig.2 (b) by heating at 373-673K.

4. General Discussion

The evaporation coefficient for forsterite in vacuum is between 0.09 – 0.16 at temperature of 1900 ~2163 K [9, 15]. Extrapolation of these to the sublimation temperature at 1093 K is impossible. Evaporation experiments on single crystals have mainly been performed at temperature of 1973 K [10]. The present result is about 0.51 times lower and suggests that the sublimation temperature of the dust is different from that of the bulk material. The main reason for this is that the surface energy of the grains causes a decrease in sublimation temperature. The surfaces to volume ratio of grains with size of 10, 100 and 1000 nm are 2.75, 0.275 and 0.0275 % respectively. The coalescence and growth of particles in the smoke cloud is also a low temperature phenomenon in nanoparticle physics [16, 17]). Spontaneous alloying at room temperature [18] and the spontaneous mixing of alkali halide crystals [19] involve atomic diffusion at low temperatures. The alteration of the surface structure and low temperature sublimation become prominent in grains of size less than 500 nm. The present results are in good agreement with the schematical diagram of dust metamorphism in a protostellar disk and the processes involved therein [20]. The authors thank T. Yamamoto and Joseph A. Nuth III of NASA/GSFC for the reviewers for valuable comments.

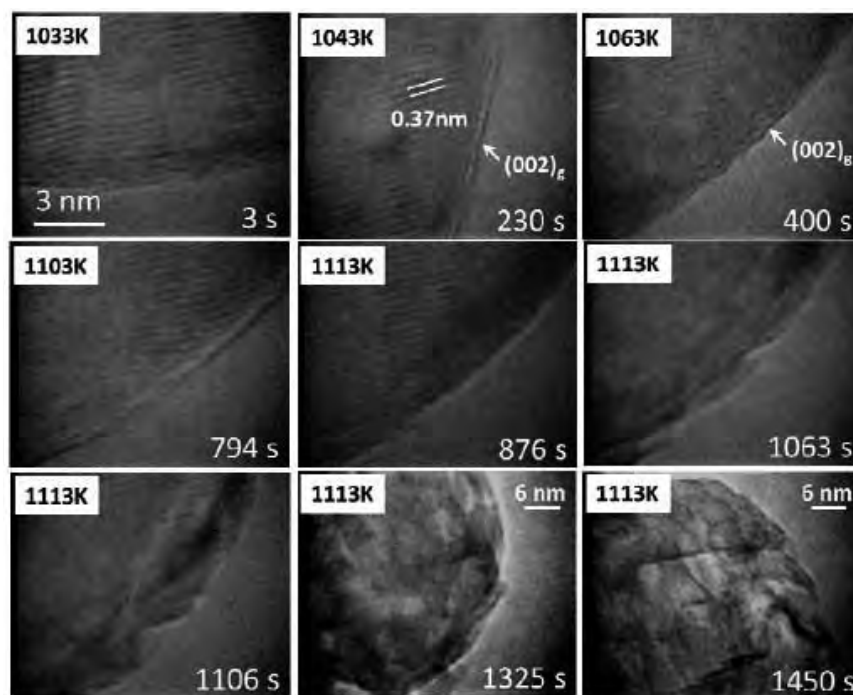


Fig. 11. High resolution transmission electron microscopic image slowing the evaporation of (010) forsterite.

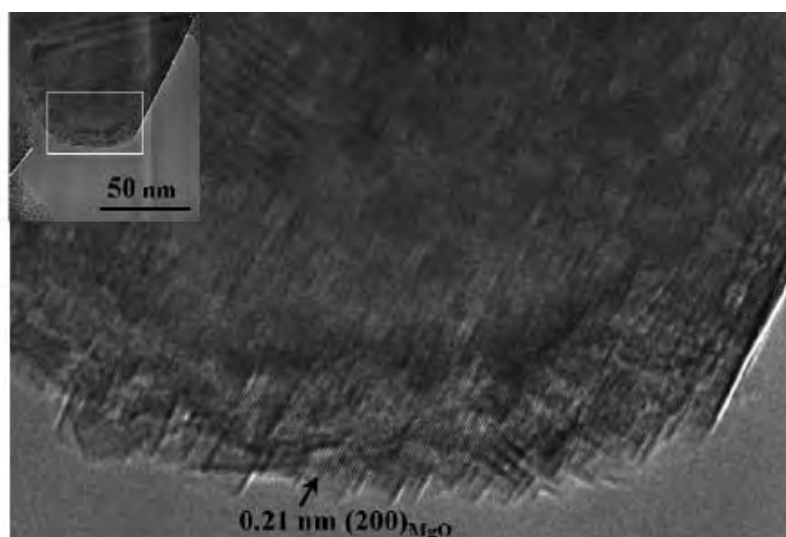


Fig. 12. High resolution transmission electron microscopic image after heating

References

- [1] Nagahara,H.,Kushiro, I.,BouyMyson, B.O., ,H., Huelawo,H., C., *Geochem. Cosmochim.* 58 (1994) 1951
- [2] Nuth, J.A., in *The Cosmic Dust Connection*,ed. J. M. Greenberg (The Netherlands: Kluwer Academic), (1996) 205
- [3] Myzsen, B. O., Kushiro, I., *Am. Mineral*, 73 (1988) 1-19
- [4] Waelkens,C., Water,L. B.F.M.,de Graauw, M.S., etal. *A and A* 315 (1996) L245
- [5] Walters. L. B. M. etal., *Astron. Astrophy.* 315 (1996) L361
- [6] Bouy, h., Huelawo,H., Pinter, C., etal., *A and A* 486 (2008) 877-890
- [7] Kamitsuji, K, Sato, T, Suzuki, H., Kaito,C., *A and A* 436 (2005) 185-169
- [8] Hallenbeck , S. B., Nuth, J .A, III.,Nelson,R. N., *Apj* 535 (2000) 247
- [9] Hashimoto, A.,*Nature* 347 (1990) 53
- [10] Nagahara, H., Ozawa. K ., *Proc. Japan Acad.(serB)* 75 (1999) 29

- [11] Kaito,C., Saito,Y., Ohtsuka,K,Watanabe,T., J.Geomag. Geoelectr.. 45 (1993) 105-
- [12] Ishikawa, M., Kimura,YY., Suzuki,H.,Kido.O., Tanigaki, T.,Saito,Y., C. Kaito. C., J.Cryst. Growth 254 (1993) 131
- [13] Saito,Y., Otsuka,K.,Watanabe, T., Kaito, C., J.Crystal.Growth 128 (1993) 271
- [14] Kamiotsuji,, Ueno,s., Suzuki,H., Kimura, M., Kaito, C.,2003 (In Grain Formation Workshop 1993 vol. XXIII, ed C. Kaito and O.Hashimoto) p 101
- [15] Wang,J.,Davis,A.M., Clayton, R. N., Hashimoto, A., Geochimica et Cosmochimica Acta 63 (1999) 953
- [16] Kaito, C.,Jpn.J.Cryst.Growth 55 (1981) 273
- [17] Kaito,C. Jpn.J. Appl. Phys. 24 (1985) 261
- [18] Mori,H., Komatsu,M.,Takeda,K.,Fujita,H., Philos. Mag. Lett.,63 (1991) 175
- [19] Kimura, Y., Saito,Y.,Nakada, T., Kaito, C., Physica E 13 (2002) 11
- [20] Gail,H.P.,(2003) in Astromineralogy,ed., Th.Henning (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003) P 100.

敷葉(しきば)工法とその起源

奥田昌男¹⁾、中根洋治²⁾、可児幸彦³⁾、西村勝広⁴⁾、早川清⁵⁾

=====

Shikiba Construction Method and its Origin

Masao Okuda¹⁾, Youji Nakane²⁾, Yukihiro Kani³⁾,
Katsuhiko Nishimura⁴⁾ and Kiyoshi Hayakawa⁵⁾.

This report presents an ancient earthwork method called “Shikiba Construction Method” from a viewpoint of civil engineering history. In the report, the locations of remains with Shikiba Method are limited in the area of East Asia namely China, Korean Peninsula and Japan because the data of Shikiba Method have been able to obtain easily by authors. The Shikiba Method is an ancient earthwork method, which was reinforced with the natural plants. The Shikiba Method is different in the name depending on the countries. Also, the various applications are found on the Shikiba Method.

The modern Reinforced Earth Method applies the same engineering principle of the Shikiba Method. Finally, the authors surmise that the origin of the Shikiba Method might be devised from the ancient rite, which presumption is deduced by the interpretation of a Chinese character “者”.

Keywords; Shikiba Method, Ancient Earthwork, Reinforced Earth Method.

E-mail: simple@tcp-ip.or.jp (M. Okuda)

=====

¹⁾奥田建設、²⁾昭和コンクリート工業、³⁾エイトン、⁴⁾各務原市役所、⁵⁾立命館大学理工学部

¹⁾Okuda Construction Company: Umegaoka, Tenpaku-Ku, Nagoya City, Japan

²⁾Showa Concrete Industries Co. Ltd.: Meieki, Nakamura-Ku, Nagoya City, Japan

³⁾Eiton Co. Ltd.: Meieki, Nakamura-Ku, Nagoya City, Japan

⁴⁾Kakamigahara City: Naka-Sakura, Kakamigahara City, Gifu Pref., Japan

⁵⁾Dept. of Science and Engineering, Ritsumeikan University, Noji-Higashi, Kusatsu City, Shiga Pref., Japan

1. はじめに

本稿では、土木史的にとらえた土構造物の内、“敷葉工法”を取り上げて論ずる。敷葉工法とは、土材料遺構の内部に植物素材を用いて補強された盛土工法を指すが、国により、その呼び名は異なる。敷葉工法には各種の用途が見受けられる。本稿では、その実例を資料の得られやすい東アジア地域（中国・朝鮮半島・日本）で見出された土材料遺構に限定して取り上げている。

最後に、敷葉工法の起源を推察すると共に、敷葉工法と現代的な工法との関連を考察する。

2. 中国の敷葉工法遺跡

中国の敷葉工法遺跡としては、長江流域の安徽省寿県の南約 60 里のところにある安豊塘（あんほうとう）が有名である。安豊塘は古称を芍陂（しゃくひ）と呼ばれたダム形式の貯水池で、安豊塘は楚の賢相・孫叔敖（そんしゅくごう）が春秋時代の BC598 - BC591 年頃に築いたとされ、その後、後漢の建初 8（AD83）年、廬江郡太守であった王景によって大規模な修復がなされた。芍陂は中国の古代四大水利事業の一つに数えられることもある。芍陂の水利事業は、後に続く都江堰（BC256、四川省）や靈渠（BC214、広西チワン族自治区）などの著名な古代水利事業の原点と言われている。

安豊塘堰堤の築成法は、「このダムは草と土を混ぜ合わせる、いわゆる散草法をもって築成している。…中略… 地山の上に砂礫・礫石を置き、その上に草と粘土を交互に積み重ねる。草土混合の中に栗の木杭をならべ、杭は礫石をうがって地山中にくいこむ。粘土は灰黒色で、砂を含まない粘性のはなはだ高いものだった」ようである¹⁾。

敷葉工法のことを、中国では草土圉堰、柴塘（さいとう；柴堤）、草土混合壩（は；堰）などと呼んでいる。後漢時代に採用された草土混合的散草法を用いて芍陂を修復し、草土混合的散草法が発展して草土圉堰法になったといわれている²⁾。『草土圉堰施工和使用経験』に掲載されている草土圉堰の作業図と仕上り図を図-1 に示す³⁾。

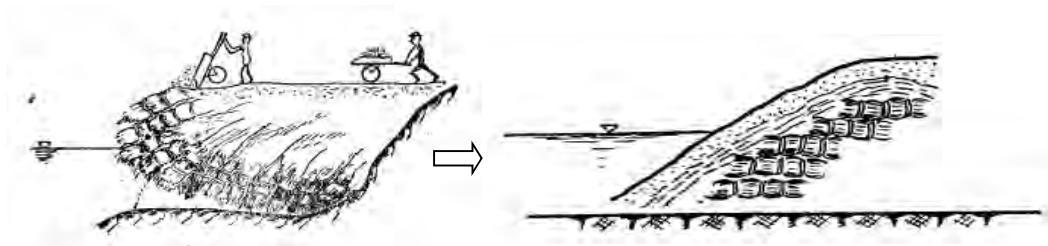


図-1 草土圉堰の作業図（左図）と仕上り図（右図）

（甘肅省水利庁『草土圉堰施工和使用経験』より）

中国における敷葉工法は補強土工法的というよりも、洗掘防止という意味合いの使われ方をしている場合もある。中国における草土圉堰、柴塘、草土混合壩などの事例には、安豊塘（後漢）の他に陳登（後漢）、西域長城の樓蘭（後漢・魏晉）、柴塘（北宋～清）、築臨水基（北宋）、黄河虎頭嘴（現在）などがあり、草土圉堰は現代でも利用されている工法のようなのである。

柴塘としては江蘇・浙江両省の沿岸部にわたる江浙海塘（防潮堤）が大規模なものであった。江浙海塘は漢から明、清の時代まで部分的な建設が連続して形成された。1012年に銭塘を建設したとき、石詰め竹籠では竹が腐って石が散ってしまい海塘が壊れ易いことから、柴と土とを材料にした卷土埽（＝掃の本字）式が採用された。卷土埽とは決壊口の締め切りや護岸に使うものである。これは葦類を衣とし、楊（やなぎ）の枝を筋とし、黄色い土を芯に巻き、草で編んだもので、決壊口の浅深、水勢の緩急に応じて大小長短を決める。堤防が完成したばかりで土が固まっていない場合には、柳の枝で埽をつくり、堤外に配置すれば波浪があっても問題は生じないとされた⁴⁾。

しかし、景裕年間（1034～1038）に転運使（唐宋時代の地方官名）の張公伯が柴塘を建設したが、1年～2年で壊れたため石塘を築いた。言い伝えによれば、王安石が浙江省鄞県（きんけん）の県令の時に採用した坡陀法（はだほう）は、図-2⁵⁾に示すような浙江省鹽官（えんかん）の海塘を石製の階段式斜面としたもので、石塘技術上の一大革新であった⁶⁾そうである。



図-2 浙江省鹽官の海塘（石塘）
（『中国文物地図集』浙江分冊より）

築臨水基とは、元符3（1100）年、北宋の李明仲によって著わされた『营造法式』第3巻の壕寨制度に書かれている一制度で、「開臨流岸口修築屋基」の意味を簡略化して示された命名である。「流れに臨んで岸口を開いて屋基を修築するには、深さ一丈八尺を開掘し、広さは建物間数の広さに随う。その外に両擺手（はいしゅ；手で押し開くさま）を分作し、斜めに馬頭（岸からの突出部）に随い、柴梢を布（の）べ、厚さを一丈五尺とする。岸の長さ五尺ごとに、椿一條を打込む。（椿の長さは一丈七尺、直径は五寸から六寸までならば、皆使ってよい。）梢上は膠土（こうど；粘性土）を用いて搗固め、隙間のないようにする。（もし橋をつくるような場合の兩岸の馬頭もこれに準ずる）」と規定されている事柄に沿った建築物の基礎をさし、図-3のような堰水図が挿入されている⁷⁾。

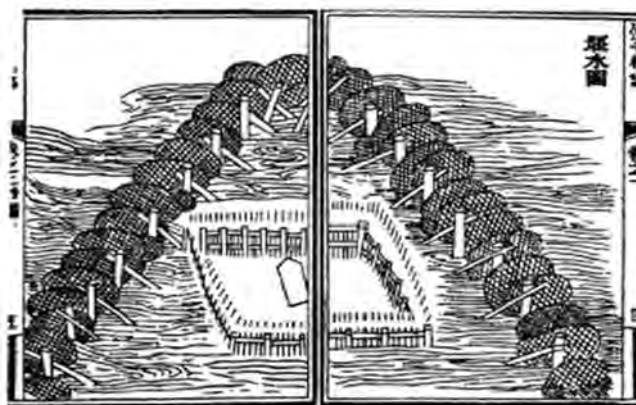


図-3 築臨水基の挿入図（『营造法式の研究』より）

敷葉工法は水辺の湿潤な地域でのみ使用された工法ではなかった。西域へ通じる道の関所とされた玉門関は乾燥地帯にある。玉門関の周囲を取り囲んでいた漢代の長城遺構（図-4 および図-5）では、葦や柳の小枝を土層とほぼ等間隔に挟み込んで長城を築造しており、その高さは約3m程度（約1堵強）である。この長城遺構は、寄せ手である匈奴の騎馬が飛び越せない高さになっている。このような漢代の長城遺構も、乾燥地帯で使われた敷葉工法の一形式であるといえる。



図-4 葦を挟んだ漢代の長城遺址

（撮影松井保：2010）



図-5 長城遺跡の断面

（撮影松井保：2010）

3. 朝鮮半島の敷葉工法遺跡

朝鮮半島における敷葉工法は、中国から伝えられた工法であると考えられている。その傍証として前節に記した中国廬江郡の太守の王景（AD30～85年頃）という水利の専門家が挙げられる。王景は現在の平壤付近にあった後漢時代（AD25～220年）の楽浪郡遼邯（だんかん）出身の人で、水利の専門家として後漢王朝に仕え、汴渠（べんきょ）や黄河の堤防を大改修した人である。

王景はAD83年に芍陂（安豊塘）も改修し、廬江郡を開墾させて豊かにした⁸⁾。芍陂の堰堤に用いられていた草土混合的散草法、いわゆる敷葉工法が使われた築堤工法は当時の先端技術であったと思われ、王景のような朝鮮半島ゆかりの人を通じて楽浪郡など古代中国の植民地に先端技術が伝えられた可能性はあり得ることである⁹⁾。

朝鮮半島の敷葉工法は各所で発見されている。忠清南道にある扶余羅城の東門跡の南からは、城壁下を通る石組暗渠、城壁内部に沿う道路、さらに城壁基盤に木の枝葉を敷き込んだ敷粗朶工法が見つかっている。ここでは厚さ50cmの黒灰色粘性土と、直径5cm～10cmの木枝を並べた炭化木の互層があり、羅城周辺からの採土が水分を多く含んでいるために、各層の間に木の枝を敷いて盛土作業を進めたようであるが、木の枝を敷いた部分は城壁全体にまで及んでいない。

ソウル特別市にある風納洞土城の外郭城壁からも敷葉工法が発見されている。ここでの城壁築造方法は、最下段に黒色土を敷いて基礎を固めて幅7m、高さ5mほどの台形の土塁を築き、その両側に砂質土、砂、粘土、褐色土の順に版築状の土層を重ねて、基礎幅43m、高さ11mの3段築からなる巨大な土塁をつくり、表面は河原石を敷いている。この内壁に植物の枝葉を敷いた層

が十数層あり、敷葉工法が確認されている。土塁築成段階で用いられた堰板の杭列や木組列も見つかっている。

敷葉工法はこの他、忠清南道の合徳堤（溜池堤、16 世紀）、全羅北道金堤市の碧骨堤（330 年）、慶尚南道咸安（かんあん）の城山山城などにおいても報告されている¹⁰⁾。

泗沘都城の城壁は稜線部が石積みや版築技法で築造されたのに対し、低地部の場合、基礎土を整地した後、その上に樹枝を敷いて、さらにその上へ 20cm～30cm 厚の盛土をし、再び樹枝を反復して敷くことで軟弱な地盤を安定化させている。この方法を韓国では「圧密浸下排水工法」（原著のまま）¹¹⁾と呼んでいるようである。

敷葉工法が朝鮮半島の中でも黄海に面した百済領域に集中していた歴史的背景を、小山田宏一は次のように解説している。「今は内陸部にある碧骨堤が古代の汀線近くに築かれ、海水の浸入を防ぐために築かれた防潮堤で、河口部に堤を築き開墾・干拓を進める低地の開発方式「築堤開田」の堤であった。当時の百済は低地開発の高度な技術を誇る江南の東晋と外交関係を結んでおり、碧骨堤の築堤技術は、外交関係を通じて東晋から技術供与された土木技術の中に含まれていたであろう。一方、最近の調査によれば、風納洞土城の年代が 3 世紀に遡るというから、風納洞土城の敷葉工法は碧骨堤より古く、低地開発技術とは別のルートで、軍事的土木技術として朝鮮半島に招来されていた可能性がある¹²⁾」と。

4. 日本の敷葉工法遺跡

敷葉工法の可能性がある弥生時代の遺跡は長崎県壱岐にある紀元前 2 世紀頃の原の辻遺跡で、突堤盛土から樹皮が見つかっている。確実な例としては岡山県の上東遺跡（1 世紀）で、突堤の基底部盛土中に葦・木材チップ・木の葉が敷かれていた。その後の調査で、弥生時代の敷葉工法は愛知県の朝日遺跡、岐阜県の柿田遺跡、埼玉県の北島遺跡などからも発見され、港湾施設の土木技術、低地開発に伴う治水技術として渡来人により伝えられた。次に敷葉工法が登場するのは古墳時代で、大阪府八尾市にある亀井遺跡（5 世紀）の堤体から見つかっている。この堤は底幅が約 8m～12m、高さ 1.5m あり、基礎部に葦など植物の茎と杉の樹皮が敷かれており（図-6）、築堤開田の堤である。

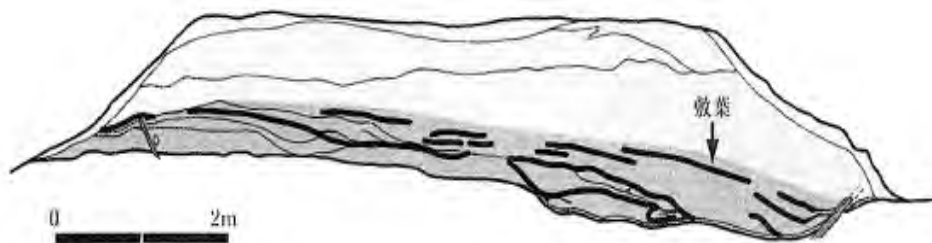


図-6 亀井遺跡の堤断面（「東アジアの敷葉工法」より）

亀井遺跡周辺の遺跡からは朝鮮半島の特徴を強く残した土器が多量に見つかっていることから、築堤開田方式は朝鮮半島南部からの渡来人が持ち込んだ土木技術と思われる。渡来人が持ち

込んだ土木技術は築堤開田方式だけではない。同じ頃、渡来人が再開発した八尾市の久宝寺遺跡では、低水路の水制や護岸工事が行われていた。

「敷葉工法」という語は、616年頃に造られたとされる大阪府の狭山池で、北堤における観察用縦坑で見つかった、樅類の葉が土の間に敷かれた状態で残っている堤体(図-7)に対して命名された。狭山池築造当初の堤は高さ5.4m、底幅27m、推定全長300mの大きさで、何層にもわたりアラカシやウラジログシなど樅類の枝葉が敷き並べられていた。



図-7 狭山池築造当初の堤断面(「東アジアの敷葉工法」より)

敷葉工法が百済の土木技術として現れる例に福岡県の水城がある。『日本書紀』によれば、外国勢襲来に対する太宰府防御のために、亡命百済人が664年に水城を築いたとされ、軟弱地盤の盛土にすべり対策の敷葉工法が使われている¹³⁾。

敷葉工法は港湾施設の土木技術、低地開発に伴う治水技術などに用いられ、その分布は九州から関東にまで拡散して存在している。主な敷葉工法遺跡を表-1にまとめている¹⁴⁾。

表-1 植物素材で補強した土構造物(「敷葉工法の再検討」に加筆)

遺跡名	所在地	種類	年代	補強材
原の辻	長崎県	突堤	弥生中期前半	樹皮
水城	福岡県	土塁	664年頃	粗朶
上津土塁	福岡県	土塁	7世紀後半～8世紀	草本
鞠智城跡	熊本県	池の堤	7世紀後半	粗朶
柳町	熊本県	道	8世紀	粗朶
長野A	福岡県	堤	8世紀末～9世紀初	粗朶
上東	岡山県	突堤	弥生時代後期	草本・木葉・木片
寺守	岡山県	護岸	6世紀末～7世紀	粗朶・草本・樹皮
鬼ノ城跡	岡山県	土塁	7世紀頃	木葉
百間川米田	岡山県	道	8世紀	粗朶・草本
同上		護岸	10世紀後半	粗朶・草本
久宝寺	大阪府	水路土手	古墳時代前期	草本
亀井	大阪府	堤	5世紀末～6世紀初	草本・樹皮

表 - 1 (続く)

狭山池 7 世紀堤	大阪府	堤	616 年頃	粗朶
阿部山田道	奈良県	道	7 世紀	粗朶
比留田法田	滋賀県	水路土手	7 世紀前半	粗朶
大中の湖南	滋賀県	突堤	7 世紀前半	草本
狭山池 8 世紀堤	大阪府	堤	731 年、762 年頃	粗朶
高松塚	奈良県	円墳	7 世紀末～8 世紀初	むしろ
小坂	大阪府	堤	8 世紀	粗朶
久米田	大阪府	堤	古代	草本ほか
砂入	兵庫県	道	8 世紀後半～9 世紀初	粗朶
入江内湖西野	滋賀県	堰	平安時代前期	粗朶
薩摩	奈良県	堤	8 世紀～12 世紀	木葉
巢本	大阪府	堤	中世初	粗朶
関津	滋賀県	護岸	中世末	粗朶
朝日	愛知県	台状遺構	弥生時代	植物茎
柿田	岐阜県	護岸・堤	弥生時代後期～中世	草本・樹皮・竹網代
同上			中世前期以降	粗朶
顔戸南	岐阜県		4 世紀～5 世紀	竹網代
室	愛知県	堤	8 世紀中頃	粗朶・草本
北島	埼玉県	堰	弥生時代中期後半	草本
元総社北川	群馬県	堰	古墳時代前期	草本
西吉見条理	埼玉県	道	奈良時代	粗朶

5. 敷葉工法の起源

約 6300 年前に築かれたとされる城頭山遺跡（中国・湖南省）には、楕円形をした土壇の祭壇がある。城内から発見された水田と祭壇は、稲作の豊穰を祈る儀礼と深く関わっていたと考えられる。この土壇からは何体もの人骨が発見された。この人骨に副葬品がないことをみると、供儀された生け贄（にえ）である可能性が高い¹⁵⁾。

こうした血の儀礼は各地にみられる。古代中国の生け贄を祭牲（さいせい）と呼ぶようで、人間も含まれた。『礼記』の祭儀篇に「犧牲祭牲」とある。牲牲（せいせん；祭りに用いる生け贄）という単語はこれによる。また、仰韶文化時代の陝西省半坡（はんぱ）遺跡（約 6000 年前）の床下から人牲と推定される人頭骨が出土した。このように土構造物基礎の中から発見される牲牲なので、奠基牲（てんきせい）と呼ばれる。同じく河南省殷墟遺跡の版築城壁の下には人牲と獣牲の奠基牲が埋められていた。中国の人牲習俗は原始社会晩期から始まり辛亥革命（1911 年）前後まで続けられ、その期間の長さや影響の大きさでは世界史上に類を見ないものである¹⁶⁾。

ここで、白川静著の『字統』に目を移してみる。『字統』は漢字の構造を通じて字の初形と初義を明らかにする字源の字書である。白川静によれば「漢字の構造は、その文字体系の成立した時代、今から三千数百年以前の、当時の生活と思惟のしかたを、そのまま反映している。…（中略）… 文字がまだなかったいわゆる無文字時代の生活と思惟のしかたが、その時点において文字に集約され …（中略）… 漢字の歴史は、その無文字時代の意識にまで、遡ることができるといえよう¹⁷⁾」と。

そこでまず「祭」という字をみると「肉と又と示とに従う。示は祭卓。その上に肉を供えて祭る」ことが字源であり、祭には牲牲の肉が必要となることがわかる。同様の説明は図-8 から読み取れる¹⁸⁾。

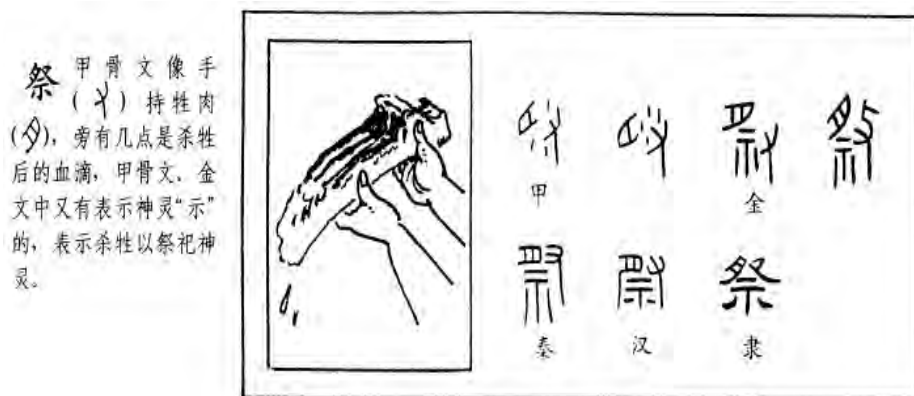


図-8 「祭」字の字形と字義の説明（『常用漢字演変図説』より）

常用字の内に犬の形を含むその系列字（突・戾・状・就・獻など）をみると、突は竈突（そうとつ）で火を用いる聖所、戾は戸下に犬牲を埋めて墓基とする意。状は版築などの建設のときの犬牲、就は京観（アーチ状の門）の落成のときの犬牲、獻は器物の製作のとき、牲血で清めるきん礼（血塗りの儀式）を示す字であると説明されている。

さらにここで注目した漢字が「者」と「書」である（図-9）。漢字「者」の会意は「叉枝（さし）と曰（えつ）とに従う。上部は叉枝を積み重ね、それに土を加えた形。曰は祝祷を収めた器。その祝祷を土中に埋め、上に叉枝や土を加えた形で遮蔽することをいい、遮の初文、遮はのちの形声字である。また土部の堵の初文で、土垣をいう。者より遮・堵が分岐する…（中略）… 金文の字形は明らかに祝祷の曰を埋匿する形である。邑をめぐる堵垣（とえん）のうちに、呪符の書を埋めたもので、その祝祷の文を書という。その土堤を堵といい、堵絶の意味をもつ¹⁹⁾と。すなわち、者という字は祝祷の器である曰を、集落の周囲に巡らせた土堤（＝堵）の中に、書を封じた上に木の小枝や土をかけて埋め、その呪能によって、外部からの邪悪なものを途絶した祭祀の字義である…と白川静は解説している。

者という字は都をとりまく土居のかたちだから、者に邑の旁（阝）を加えると都という字になる。後に城郭の組織になると、城郭の出入りの所に高い門を作り、その門にアーチ状の入口

を作り、両方から出入りができる、これが京という字になる。京観（アーチ状の門）の落成の時に犬の牲牲が供えられたので、前述の就という字になる……という次第である²⁰⁾。

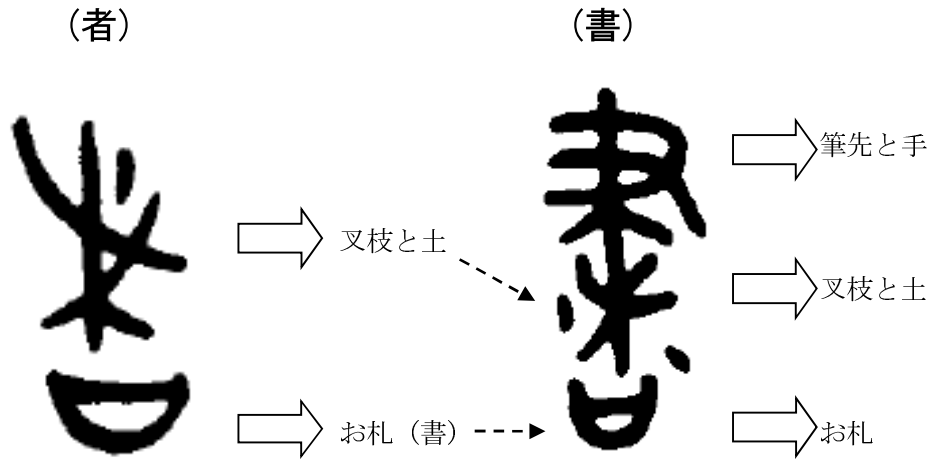


図-9 者（左図）と書（右図）の金文字形（『字統』に加筆）

ここからは筆者らの大胆な仮説である。いわゆる敷葉工法で築かれた古代の土構造物は、祭祀のため土堤に埋められた器の上に置かれた木の小枝という「者」や「書」の字形・字義に則ったものが元来の姿であったと推察できる。よって敷葉工法の本来的な意義は、土堤に木の小枝を埋めるという「祭祀」にあったものと推察する。補強土工法的あるいは洗掘防止的などの技術的な意味は、木の小枝を埋めた祭祀の盛土跡における安定した姿から、後世の古代人が気づいた技術的利点であるものと推察する²¹⁾。

管見ながら、筆者らの仮説を証明する証拠は今のところ見付かっていない。敷葉工法が採用されている何れかの古い土構造物の底部から、祝祷の文である「書」あるいは「牲牲」の痕跡が見付ければ、仮説の裏付け証拠となる。このように、将来の考古学的な調査により、敷葉工法の原義が祭祀に由来することが証明されるならば、敷葉工法の起源が先史時代の奥深くにまで遡る可能性があるものと期待をしている。

6. あとがき

“敷葉工法”は古代遺跡に属するだけでなく、現代的工法である“補強土工法”にも同じような技術的原理が採用されている。現代では、敷葉（植物）の代わりにジオテキスタイルやジオグリッドなどが、補強材として土構造物内部に用いられているからである。盛土締固め技術の原理でも同じ事を言えるのだが、現代的盛土技術の起源となる技術的痕跡は古代遺跡からも多数発見されている。したがって、敷葉工法は「温故知新の技術」と言えるであろう。

“いわゆる敷葉工法”のことを、中国では植物素材を用いた土材料遺構においての「散草法」、「草土固堰法」、「柴塘」、「草土混合壩」などと呼び、韓国では「圧密浸下排水工法」、「浮葉工法」あるいは敷葉工法（부엽공법）などと呼び、日本では「敷粗朶工法」、「敷葉工法」などと呼ん

でいる。こうした用語・用法の違いは、東アジア共通の理解を妨げるものであると考えられるから、少なくとも漢字使用圏の国々では、共通の定義に基づいた共通の漢字用語が定められることを願っている。

最後に、筆者の一人は 1980 年代に、いわゆる敷葉工法をマレーシアで実践した。それは、首都クアラルンプール郊外のスズ鉱跡地（軟弱地盤）に用いる地盤改良用重機（80 t）を現場搬入するため、現地で安価に調達できた青竹と笹を軟弱地盤の地表面に敷きつめ、その上に盛土をして重機の搬入仮設道路および作業スペースとした。このように、古代人のおこなったいわゆる敷葉工法は、現代でも適用できるものと考えている。

参考文献：

- 1) 工楽善通：古代築堤における「敷葉工法」、奈良国立文化財研究所創立 30 周年記念論文集刊行会：文化財論叢 II、p. 506、同朋舎出版、1995.
- 2) 陕西省水利科学研究所理論小組：儒法闘争与我国古代水利科学技術的發展、中国科学（1975 年 3 期）、p. 243、科学出版社、1975.
- 3) 甘肅省水利庁：草土圍堰施工和使用經驗、p. 57、水利電力出版社、1959.
- 4) 長江流域規画弁公室《長江水利史略》編集組：長江水利史、pp. 163、176、古今書院、1992
- 5) 国家文物局：中国文物地図集（浙江分冊）、p. 422、文物出版社、2009.
- 6) 前掲 4)、pp. 176、177.
- 7) 竹島卓一：营造法式の研究一、pp. 97、98、中央公論美術出版、1970.
- 8) 吉川忠夫：後漢書 第 9 冊 列伝七、pp. 15 - 21、岩波書店、2005.
- 9) 岡崎敬：漢代における池溝開発とその遺構、末永先生古希記念古代学論叢、p. 213、末永先生古希記念会、1967.
- 10) 朴方龍：韓国古代の都城、東アジアと日本の考古学 V、pp. 255、341、358、同成社、2003.
- 11) 申鐘國：泗泚都城発掘調査の成果と意義、福岡大学人文論叢第 39 巻第 1 号、p. 209、福岡大学研究所、2007.
- 12) 小山田宏一：東アジアの敷葉工法、国づくりと研修 97、p. 27、全国建設研修センター、2002.
- 13) 前掲 12)、pp. 27～29.
- 14) 小山田宏一：敷葉工法の再検討、季刊考古学第 102 号、p. 47、有斐閣、2008.
- 15) 安田喜憲：古代日本のルーツ長江文明の謎、p. 96、青春出版社、2003.
- 16) 黄展岳：中国古代の殉葬習俗、pp. 30、62、287、第一書房、2000.
- 17) 白川静：字統、p. 1、平凡社、1984.
- 18) 呉頤人：常用漢字演変図説、p. 102、上海書店出版社、2004.
- 19) 前掲 17)、pp. 14、15、391、392、430.
- 20) 白川静：白川静文字講話 VII、p. 7、方丈堂出版、2006.
- 21) 奥田昌男：土材料遺構の歴史的変遷とその施工特性に関する研究、博士論文、p. 27、2010.

遺跡から知る切盛土工

西村勝広¹⁾、可児幸彦²⁾、奥田昌男³⁾、中根洋治⁴⁾、早川清⁵⁾

=====

History of cut and soil at the ruins

Katsuhiro Nishimura,¹⁾ Yukihiro Kani,²⁾ Masao Okuda,³⁾

Youji Nakane,⁴⁾ Kiyoshi Hayakawa⁵⁾

The origin of civil engineering work in Japan could be found at the pit dwellings built in the Jomon period. Since then tumuli, residential hedge mount, leveling work of mountain castle and defense wall of cantonment had been built by cut and fill of earthwork.

In any case, there were advantages as local procurement of materials, effective utilization of local soil and speed up the work operation. Those advantages were noticed by people from the earliest age.

Keywords; cut and soil, ruins, moat, bank.

E-mail: katsu777pc@plala.to(K. Nishimura)

=====

1)各務原市役所、2)エイトン、3)奥田建設、4)昭和コンクリート工業、5)立命館大学
理工学部

¹⁾Kakamigahara City: Naka-Sakura, Kakamigahara City, Gifu Pref., Japan

²⁾Eiton Co. Ltd.: Meieki, Nakamura-Ku, Nagoya City, Japan

³⁾Okuda Construction Company: Umegaoka, Tenpaku-Ku, Nagoya City, Japan

⁴⁾Showa Concrete Industries Co. Ltd.: Meieki, Nakamura-Ku, Nagoya City, Japan

⁵⁾Dept. of Science and Engineering, Ritsumeikan University, Noji-Higashi, Kusatsu City,
Shiga Pref., Japan

1. はじめに

日本における初期の切盛土工とはどんなものであろうか。原始以降、古代、中世、近世に行われた工事の足跡は、遺跡の中に残されている。

遺跡の発掘調査によって歴史を研究する考古学では、資料を遺物と遺構に区分している。遺物とは、土器、石器、木器、金属器、動植物遺体などの物体である。遺構とは、住居、柱穴、墓坑、溝、土塁など地面に築いた土木構造物の痕跡である。この遺構という概念によって、遺跡に残された土木・建設工事の情報が発掘調査によって記録保存される。本稿では、発掘調査事例の中に切盛土工の足跡を追う。

2. 天然資材の使用

日本における人類の歴史は、3万5千年前から始まった。この時代は後期旧石器時代と呼ばれ、氷期が到来し火山活動が活発な時代であった。

旧石器時代の遺跡からは、厚く堆積した火山灰層の中に石器製作や火気使用の痕跡が検出されている。後者は礫群と呼ばれる遺構で、直径10cm前後の礫を10数個から数百個集積させる。図-1は静岡県磐田市寺谷遺跡¹⁾の例である。その用途は、調理・暖房と考えられる。

礫群には、地面を掘り込んだり土を盛り上げたりした痕跡は特に確認されない。礫という天然資材を用いた点は評価できても、切盛土工による設備とは言い難い。礫群の直近には居住の場があったはずだが、住居跡などの遺構が確認されることはない。

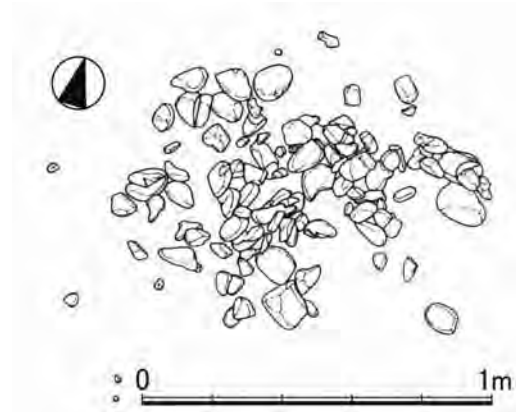


図-1 寺谷遺跡の礫群

3. 最初の土木工事

氷河期が終わる頃、日本は縄文時代を迎えた。気候の温暖化は食環境を豊かにし、人々の定住を促進させた。定住によって耐久性のある住居が必要になり、考案されたのが竪穴住居である。竪穴住居は、地面を円形や方形に掘り窪めて床とし、床からは柱を差し込む穴（柱穴）がさらに掘り込まれる。また、床の中央にも穴を掘り、石で囲うなどして炉が備えられた。上屋構造については、柱穴の配列や焼失住居の調査例から、円錐形の茅葺であったと推定されており、全国各地の遺跡公園に復元されている。土を深く掘り下げて床と壁を構えることにより外気温の影響を受けにくく、積雪や風雨に対する強度も確保できたと思われる。まさに、日本の風土から生まれた住居構造である。

この竪穴住居は、縄文時代のみではなく弥生時代、古墳時代、そして奈良・平安時代の一般住宅にも使用され続けた。ただし、上屋構造は変化した可能性がある。

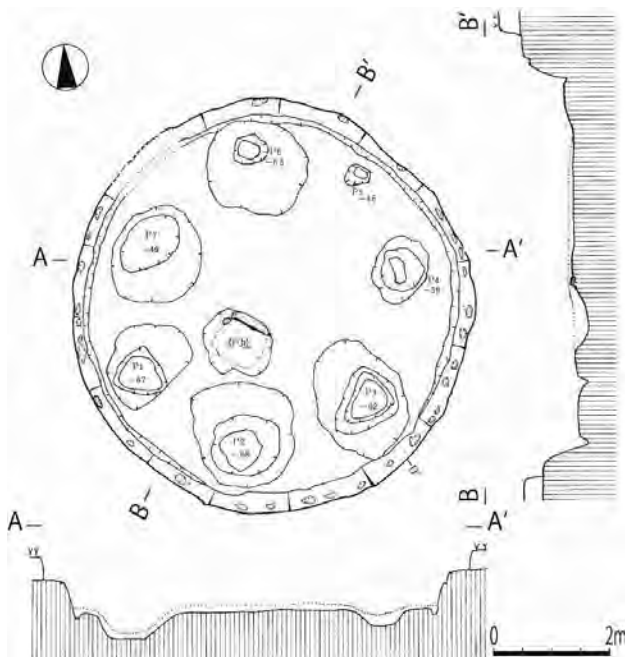


図-2 炉畑遺跡 1号住居跡



写真-1 三内丸山遺跡の南盛土遺構（断面）

（IPA 情報処理推進機構教育用画像素材集より）

の生活廃棄物を同じ場所に捨てる行為を繰り返したことで、小山のようになった範囲が確認されている。この小山は整地されており、村落の境界を示す盛土遺構とも考えられる特殊な例である（写真-1）。

4. 傾斜面における竪穴住居の構築

岐阜県関市砂行遺跡^③は、弥生時代後期末から古墳時代中期の集落を主体とする遺跡である。発掘調査によって、その全貌が明らかになっている。この遺跡で特徴的なのは、丘陵斜面に竪穴住居群が構築されているところである。この時代、平地部で水田を構える集落と対照的に、山地部では丘陵斜面に集落の展開することが知られている。砂行遺跡は、斜面地集落の好例である。

斜面に構築する場合も、竪穴住居の基本仕様は同じとなる。床面には柱穴と炉が備えられている。しかし、図-3 のとおり、大半の住居跡は床プランの約 1/2～2/3 を欠落している。いずれも、傾斜の低い側が残存していない。この状況は、傾斜面に竪穴住居を構える場合、高い側の掘削土で低い側を盛土して床面を延長するが、その部分は後世に流出しや



図-3 砂行遺跡の竪穴住居群

すいことを示している。住居の入口へ通じる路は歩きやすいように整地されたはずだが、現在の住宅団地のように居住区を列単位で造成するような規模ではない。

5. 古墳築造の盛土

古墳は、有力者の富と権力を示す墳墓である。その力と比例して、石室の構造や副葬品、墳形や規模などが差別化されている。

“墳”に「盛り上がった土」という意味があるように、地面を盛り上げることで、前方後円墳や円墳などが築造される。しかし、墳丘の100%が盛土で構成されているわけではない。

岐阜県各務原市坊の塚古墳は、墳長120mの前方後円墳である。古墳時代中期の5世紀代に築造されたと考えられている。この古墳には、現況では確認し難いが周囲に一段低くなった壕跡が存在する。その範囲は一般に周壕と呼ばれる。過去の測量⁴⁾や部分的な発掘調査(A・Bトレンチ)⁵⁾による情報から、墳丘と周壕の規模を推定することができる。図-4により掘削土と盛土の土量を試算したところ、周壕掘削土量18,255 m³、墳丘盛土量18,385 m³となり、およそ等しい数値が得られた⁶⁾。例えば、

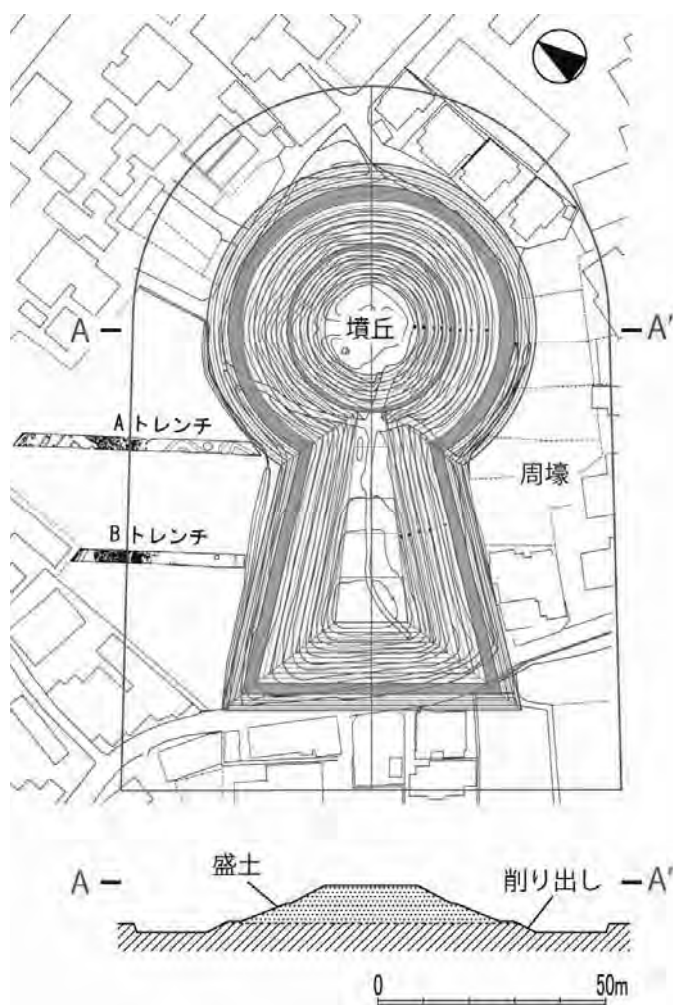


図-4 坊の塚古墳の復原図

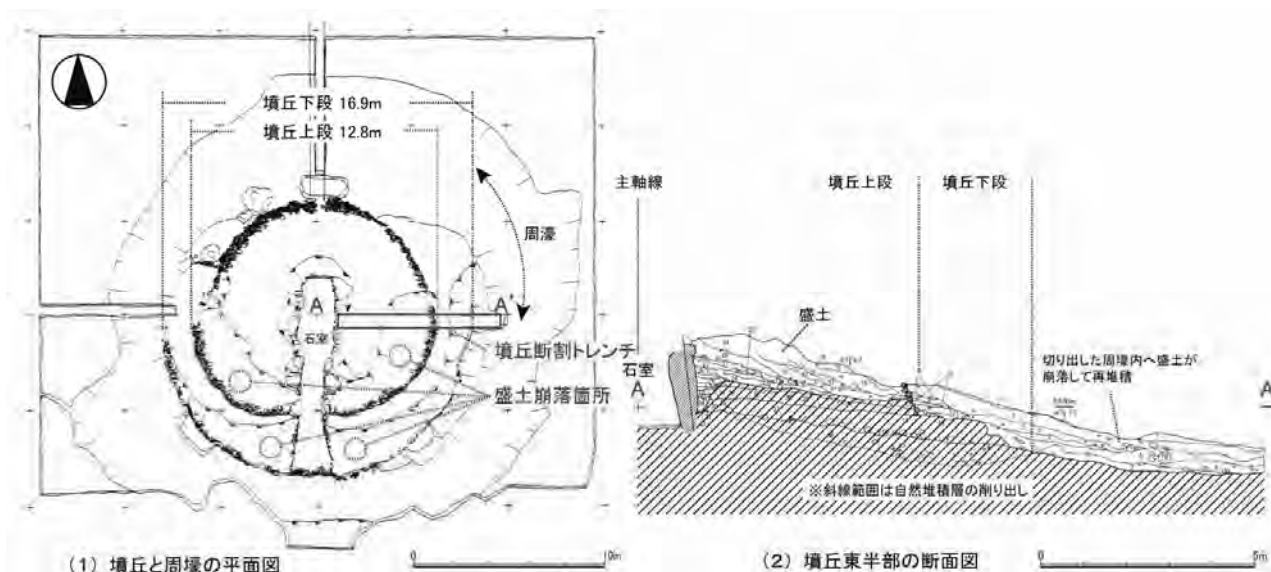


図-5 北山2号墳の墳丘

後円部の中央（A-A'）では、墳丘下部は 2m の深さに削り出し、上部 8.5m は盛土により加えられ、築造時は相対的な見かけの高さとして 10.5m を示していたことになる。墳丘の法面勾配は 1:1.7 である⁷⁾。

一方、小型の円墳の事例を見てみたい。岐阜県各務原市北山 2 号墳⁸⁾は、6 世紀後半の古墳時代後期に築造された直径 16.9m の円墳である。これらの後期古墳は、小型化して丘陵の裾部などに集中して古墳群を形成するのが一般的である。この古墳は横穴式石室を有し、墳丘は 2 段築成、そして盛土の崩落を防ぐための外護列石を備えている。列石の法面は 1:2.1 と急勾配である。

北山 2 号墳では、石室の調査のほか墳丘断面の調査も実施しており、自然地形と人工地形との関係がとらえられている。この古墳は北山（標高 308m）の南斜面に築造されているが、なかでも南東へ貼り出した小尾根を利用して造られている。図・5 のとおり、尾根の高まりを利用して周囲の土を中央へ盛り上げることで墳丘の高さを得ている。削り出しと盛土の区分は明瞭で、後世に盛土が外護列石の上部と共に崩落している様子がよく理解できる。

6. 中世館の壕と土塁

鎌倉時代の 13 世紀代に建造された居館の例を見てみたい。事例として取り上げるのは、岐阜県各務原市野口館跡⁹⁾である。おそらく、荘園領主として力を蓄えた豪農の館と考えられる。この館を取り囲む防御用の土塁と壕が、埋没することなく現存する貴重な遺跡である（図・6）。

土塁と壕を直角に断ち割った発掘調査が報告されている。その結果、逆台形の断面を呈する壕が土塁に沿うことが改めて確認された。壕と土塁の容積はほぼ等しく、壕の客土を側近へ盛土しながら敷地を一周して不整五角形の囲いを完成させている。壕の掘削順に土塁へ盛り上げるため、土塁側の土層は自然堆積と逆順になる。土塁は軸線の中心から壕の客土を盛り始め、そこを被覆するように幅と高さを増す工法が見て取れる。削り出しの深さは 1.08m、土塁の盛土は 2.08m（ただし上部は流出しているだろう）、現況で相対高は 3.16cm である。法面勾配は 1:1.8 である。

なお、壕は埋土の堆積過程や断面形から、途中で深く掘り直しが行われていることが分かる。その際に、土塁の崩落土を元へ戻し、さらに高さを増したことが考えられる。

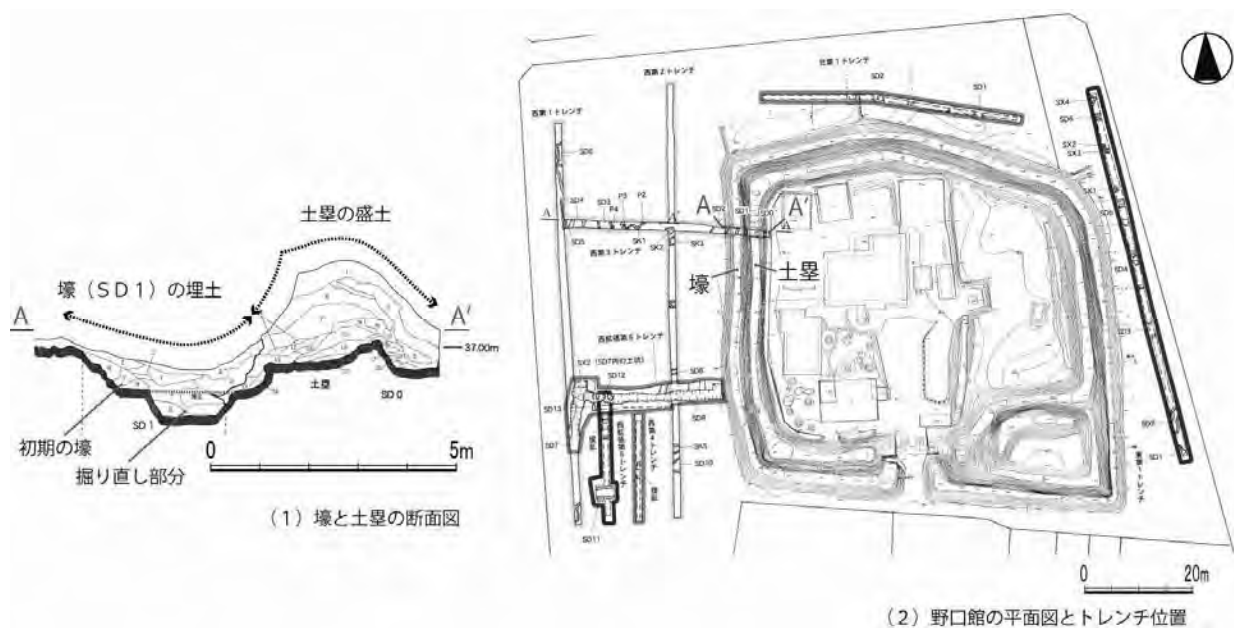


図-6 野口館の壕と土塁

7. 中世山城の曲輪

戦国時代を中心として、山城は見晴らしの良い山頂に築かれた。城という漢字は“土”から“成る”と表す。そのとおり、山頂の土を切土と盛土によって移動させ巧みに整地することが、城造りの基本である。城の構造に曲輪（くるわ）と呼ばれるものがある。これは、城内に様々な施設を構える平場の空間単位で、山城では複数の曲輪を雛壇のように造成して山稜に配置される。

ここに、岐阜県各務原市伊木山城址¹⁰⁾の例を示す。伊木山城は、標高 173.1m の伊木山の山頂に築かれた城である。築城時期は定かではないが、伝記によれば織田信長の美濃攻めで永禄 3 年（1560）に落とされ、その後天正 19 年（1591）に廃城になったとされる。城の様子については漠然とした記録しかなかったが、発掘調査によって具体的な曲輪構造が明らかになった。伊木山の最高所に構えられた曲輪 1 を中心に、西側に 2 段、東側に 2 段、南側に 1 段の合計 6 段の曲輪の存在が確認された（図-7）。

伊木山は、チャートを主体とする隆起岩盤から成る。発掘調査では山頂から放射状に A～D のトレンチが掘削され、その結果、岩盤を切り崩して盛土を行い曲輪となる平場を造成した工事が明らかとなった。また、曲輪 1 の中央に配する櫓台状遺構は、全て盛土で構成されていることも判明した。その他、曲輪間には盛土の流出を防ぐために、岩盤の碎石を利用した石積が施工されていることも確認されている。曲輪の比高差は、上部が流出しながらも良く残存する曲輪 1 の北縁辺（D-4）で 2.77m を測る。石垣の大半は崩落している。

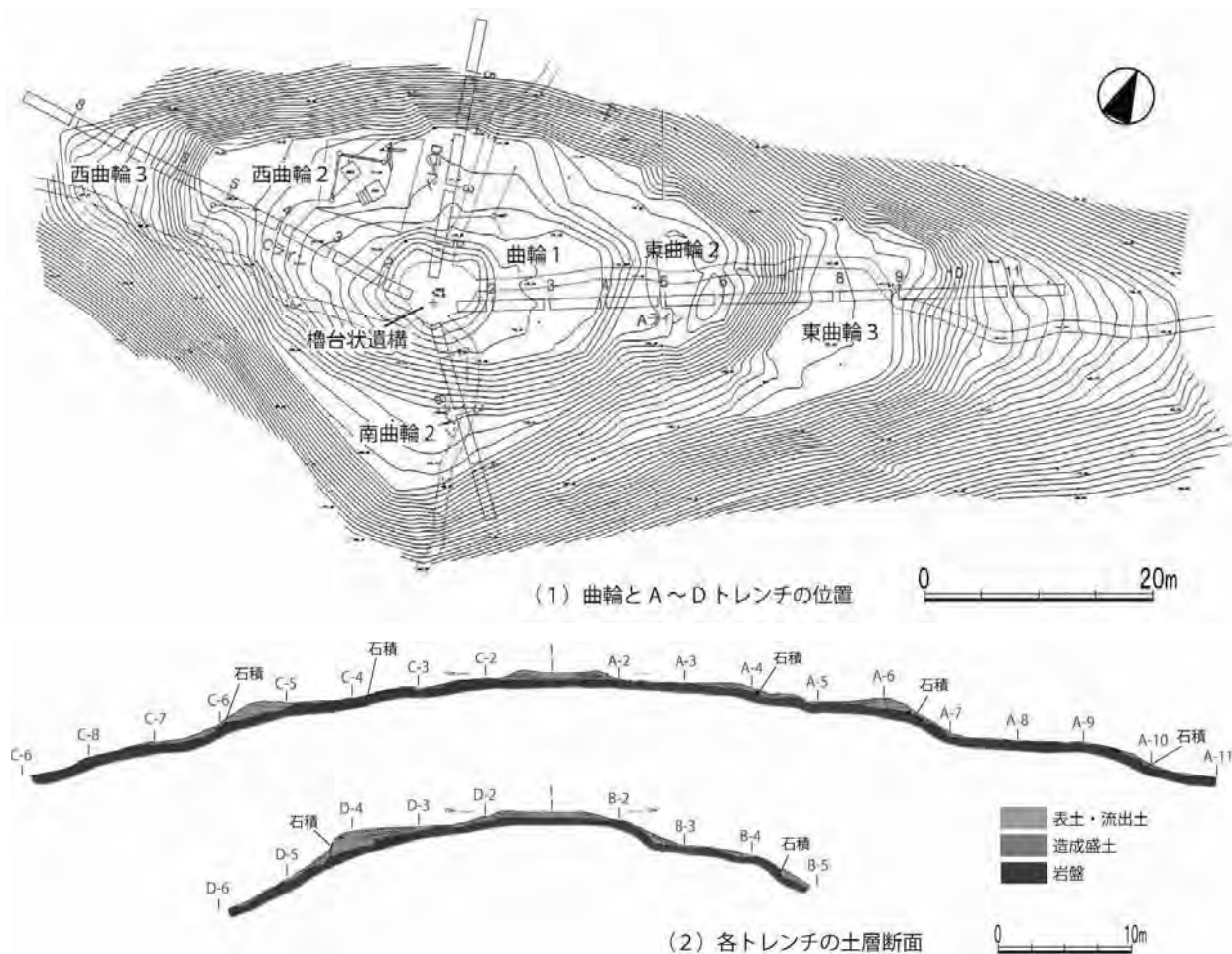


図-7 伊木山城址の曲輪

8. 近世の旗本陣屋

最後の事例として、江戸時代の旗本屋敷を取り上げる。岐阜県各務原市旗本坪内氏陣屋跡は、その名称のとおり旗本の屋敷地である。現在は、所在地にその痕跡はなく、空地（区画整理済）や工場の敷地となっている。しかし、明治期に入ってから一族の末裔によって編纂された『富樫庶流旗本坪内家一統系図並由緒』¹¹⁾の絵図（図-8）から、屋敷の様子を伺い知ることができる。

この絵図では、建物の様子は漠然としているものの、敷地の範囲については明確に表現されている。敷地を取り囲む部分は二重の帯で示されており、内側は「ドイ」、外側は「ホリ」と注記されている。つまり土塁と壕である。

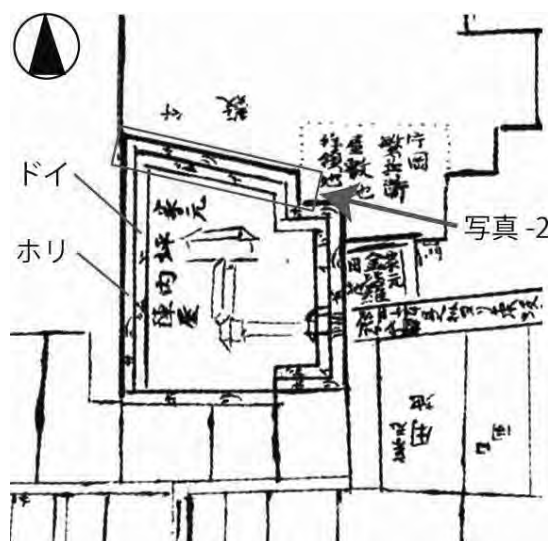


図-8 坪内氏陣屋の記録

壕の実態については、平成 23 年の発掘調査¹²⁾によって明らかとなった（写真-2）。壕の幅は 5.2m 以上で、断面は逆台形を呈する。深さは 2.7～3.3m を測る。北西角で強く屈折しており、絵図との整合性が確認された。壕は埋め戻されていたが、絵図から考えると本来は壕の客土を敷地の内側に盛り上げて土塁を築いたことになる。単純に高さ 3m 前後の土塁を構築したとして、壕底から土塁の頂までの高さは 6m 前後となろう。旗本の陣屋に、城郭並みの防御施設が備えられていることは得意な例である。



写真-2 発掘された陣屋の壕（水没部分）

9. 結論

以上では、江戸時代までの切盛土工について、遺跡の発掘調査事例を取り上げて概観した。その結果、以下の点が指摘できる。

- ・切盛土工として最初に定着したのは堅穴住居の構築と言える。堅穴掘削時の客土については行方が判然としないが、住居周囲の土盛や屋根材として利用された可能性を考えなくてはいけない。また、三内丸山遺跡などのように盛土遺構に用いられた例が知られる。
- ・斜面地集落の堅穴住居は、切土を斜面の低い側へ盛土して水平な床面を拡張した。
- ・前方後円墳は、周囲の土を掘削し中央へ盛り上げて造られた。その土取りの跡が周壕となっている。基本的に墳丘の下部は削り出し、上部は盛土となる。
- ・丘陵の裾部に造られた小型円墳は、尾根のように張り出した自然地形を活かし、周囲の掘削で得られる土を盛って築造された。盛土の土留め用には外護列石が施行された。
- ・中世居館を取り巻く壕や土塁は、掘削土を壕の一方の脇（敷地の内側）に積み上げて築かれた。この

工法は、その後、城館の防御施設の基本工法としても広く普及する。

・戦国時代の山城では、展望のよい丘陵に切土と盛土によって複数の曲輪と呼ばれる平場が造成された。盛土の土留め用に石積みが施された例もある。これは、以後の石垣に発展していく工法である。

・江戸時代の陣屋においても、土塀の代わりに土塁と壕を備える例がある。壕は崩落し難いよう、側面に勾配が付けられ断面は台形を成す。

切土と盛土の工法は縄文時代に始まり、後世の建設工事に好んで取り入れられたことが分かった。例に挙げた何れの事例にも、資材の現場調達、掘削土の有効利用、そして工程の合理化という利点で共通し、これらの利点が早くから注目されたと考えられる。資材の現場調達とともに、残土処理を現場内で完了できるため、両者のバランスがとれる範囲で工事が設計されていたと考えられる。

本稿では切盛土工に注目したが、一方で巨石運搬技術を駆使した遺跡が存在する。大規模な配石や立石を施した縄文時代の環状列石、巨石を使用した古墳の横穴式石室、近世城郭の石垣などを例に挙げることができる。日本列島の大半は温帯気候に属し、豊かな植生と土壌に恵まれ、また、火成岩や堆積岩、そして急峻な河川が生んだ礫が豊富である。本稿に示した事例のとおり、人々は積極的に土に働きかけたが、石や木もバランスよく土木建築資材として利用した。こうした在り方が日本土木史の特徴であると予察する。

参考文献

- 1) 鈴木忠司：考古学シリーズ 3, 先土器時代の知識, 東京美術, p. 89, 1984.
- 2) 各務原市教育委員会編：炉畑遺跡－第 1. 2. 3. 4. 5 次調査発掘報告書－, p. 24, 1973.
- 3) 成瀬正勝他：岐阜県文化財保護センター調査報告書第 65 集 砂行遺跡, 2000.
- 4) 各務原市教育委員会編：付図 3 坊の塚古墳測量図 各務原市史考古民俗編 考古, 1983.
- 5) 西村勝広：各務原市文化財調査報告書第 21 号 坊の塚古墳周濠範囲確認調査報告書, 1997.
- 6) 西村勝広・可児幸彦・奥田昌男・中根洋治：各務原市鵜沼に築造された坊の塚古墳の設計について, 第 24 回中部地盤工学シンポジウム論文集, pp. 119-126, 2002.
- 7) 中根洋治・奥田昌男・可児幸彦・西村勝広・早川清：法面勾配の推移, 第 21 回調査・設計・施工技術報告会発表要旨, 2012.
- 8) 西村勝広：各務原市文化財調査報告書第 33 号, 北山古墳群発掘調査報告書 - 1・2 号墳の調査 -, pp. 21-24, 2001.
- 9) 各務原市教育委員会編：平成 11・12 年度 各務原市市内遺跡発掘調査報告書, pp. 55-63, 2003 年.
- 10) 各務原市埋蔵文化財調査センター編：各務原市文化財調査報告書第 37 号, 伊木山城址発掘調査報告書－遺構の範囲確認調査－, pp. 20, 32, 2003.
- 11) 各務原市歴史民俗資料館：富樫庶流旗本坪内家一統系図並由緒 (五), 1997.
- 12) 西村勝広：旗本坪内陣屋跡発掘調査現地説明会資料, 2011.

オペレーションズリサーチ エクセルソルバーで解く線形計画法 1

林 芳樹

Operations Research Linear Planning solving with Excel Solver 1

Yoshiki Hayashi

As the Beginning of this series we sketch in this article with easy examples the simplex method and will solve then with the help of the excel solver. In next articles we will go more deeply into this method.

Keywords; Operations research, Linear planning, Excel solver

E-mail: yoshiki@pl.ritsumeai.ac.jp

hayashi.yoshiki.65s@st.kyoto-u.ac.jp

立命館大学 理工学部
Department of Science and Engineering Ritsumeikan University

Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

線形計画法とは、限られた資源を分配し、利益の最大化・費用の最小化・投資収益率の最大化・時間の最適配分などを旨とする方法であり、この問題を解決するためにシンプレックス法が適用されることはよく知られている。また、エクセルのソルバーには最適化を実行する機能が組み込まれている。この論説では、シンプレックス表を用いて計算された問題を、図形的解法とエクセルソルバーによる解法を比較実行し、さらには輸送問題に関する例についてもエクセルソルバーを使用して計算したい。例題としては、[3] p.190-, [1] p.15-, p.36-を使用し、[2] の解説に従いエクセルのソルバーを利用した解法に言及したい。なお、[4] の図入りの解説も参考にされたい。

線形計画モデルの構成と例題

線形計画モデルは、目的関数と制約条件からなる。目的関数は主として利益やコストの合計金額を表し、利益に関しては最大になるように、コストなら最小になるようにする。そのときの変数の値が解となる。制約条件は、目的関数で適用される変数がどのような値をとるのかを関数の形で表したもので、主として不等式で表される。

現実の問題を最適化していく際には、現実の問題が置かれた状態の本質を見抜き（モデル化）、それを目的や制約となる条件を数式やグラフを利用して表す（定式化）。モデル化では何が問題なのか何が制約条件なのかを明確にする必要がある。このような理念の下にモデル化され定式化された次の例題を考察する。

例 1. (以下の標準型は [3] p.190-のもの)

利益が 4 万円および 5 万円の商品 A と B の生産計画を考え、それぞれ x_1 および x_2 個を生産するとき生産ライン上での生産情報により、変数 x_1, x_2 をもつ目的関数 f と制約条件 $g_i (i = 1, 2, 3)$ からなる以下のような標準型に定式化できるとき、利益の最大値を求めたい。

$$f = 40x_1 + 30x_2$$

$$g_1 = 4x_1 + 5x_2 \leq 40$$

$$g_2 = 2x_2 \leq 50$$

$$g_3 = 6x_1 + 3x_2 \leq 210$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

この標準型について目的関数 f の最大値を求めるために、以下のようにスラック変数を導入し正規型に変換する。そして、制約条件が作る凸多角形の実行可能解集合（シンプレックス）の頂点で最適解が得られるという性質を利用してある 1 頂点から出発して他の頂点に次から次へと移動しながら最適解を見つける方法（シンプレックス法）を適用する。以下の I) では図を用いた解法、II) でソルバーを利用した解法をみる。なお、ソルバーでもアルゴリズムとしてシンプレックス法が採用されている。

I) 図形による解法

方針 i) スラック変数の導入および標準型から正規型への変換

ii) 基底変数および非基底変数の分離と辞書

iii) 辞書の変形と、基底解に対する目的関数の値の読み取り

i) スラック変数の導入による標準型から正規型への変換。問題の扱いを容易にするため、新しい非負の変数（スラック変数） s_1, s_2, s_3 を導入し、次の左の連立不等式の形（標準型）の不等式の部分を、右の形（正規型）のようにスラック変数の非負条件の部分にまとめてしまい、不等式を同値な等式の形に表す。したがって、正

規型では不等式の部分を等式とは別の行（最後の行）におく．目的関数は Z で表す．

標準型	正規型
$Z = 40x_1 + 30x_2$	$Z = 40x_1 + 30x_2$
$4x_1 + 5x_2 \leq 200$	$4x_1 + 5x_2 + s_1 = 200$
$2x_2 \leq 50$	$2x_2 + s_2 = 50$
$6x_1 + 3x_2 \leq 210$	$6x_1 + 3x_2 + s_3 = 210$
$x_1, x_2 \geq 0$	$x_1, x_2, s_1, s_2, s_3 \geq 0$

ii) 変数を基底変数と非基底変数に分け辞書の形に表す．正規型の制約条件の部分を次のように，左辺に基底変数，右辺を非基底変数の式で表す．この形を辞書という呼び方で表す．

$$\begin{aligned} Z &= 40x_1 + 30x_2 \\ s_1 &= 200 - 4x_1 - 5x_2 \\ s_2 &= 50 - 2x_2 \\ s_3 &= 210 - 6x_1 - 3x_2 \end{aligned}$$

辞書の左辺の変数 s_1, s_2, s_3 が基底変数，右辺の変数 x_1, x_2 が非基底変数であり，条件式での非基底変数 x_1, x_2 の値を $(0, 0)$ とするときの s_1, s_2, s_3 の値の組 $(200, 50, 210)$ は，この連立方程式の 1 つの解（基底解）となる．したがって，この辞書に対応する（実行可能）基底解は

$$(x_1, x_2, s_1, s_2, s_3) = (0, 0, 200, 50, 210)$$

であり，図形的には，これは x_1 軸と x_2 軸との成す平面の原点での解となる．

注意．辞書がひとつ決まると自動的に基底解がひとつ決まり，辞書の 1 行目は非基底変数 x_1, x_2 と定数項で表わされた目的関数 Z であり，上記の場合には， Z の定数項の位置に非基底変数の値を $(0, 0)$ とした値 0 が入る．したがって，目的関数は基底解に対するものであるもので，辞書の 1 行目の定数項をみれば基底解の目的関数の値がわかる．この辞書をさらに変形しても，辞書の 1 行目の定数項をみることでその辞書の基底解に対する目的関数の値が読み取ることができる．

以下では，非負の変数 x_1, x_2, s_1, s_2, s_3 に関して，非基底変数を増加させ基底変数を減少させて辞書を変形していくことにより，目的関数の値を求めていく．

iii) 辞書の変形 i) の辞書の目的関数 $Z = 40x_1 + 30x_2$ について，ふたつの変数のうち係数が「大きい方の正数」となる x_1 を基底変数におきかえて辞書を変形する．i) で求めた解が $x_1 x_2$ 平面の原点での解であるのに対し，これは x_1 軸上を正方向に移動して，多角形の次の頂点での解を求めることに対応する（ソルバーによる解法のための図 1 参照）．

この操作は次のようにする． x_1 を正方向に増加させていくとき，基底変数 s_1, s_2, s_3 のうちで 200, 50, 210 から値の減少していくものがある．これら減少していくもののうち最初に 0 となるものを見つけ，それを基底変数から非基底変数と名前を変える．具体的には $x_2 = 0$ として，

$$\begin{aligned} s_1 &= 200 - 4x_1 \geq 0 \text{ のときは, } x_1 \leq 50 \text{ を動く.} \\ s_2 &= 50 \geq 0 \text{ のときは, } x_1 \text{ の値とは関係ない.} \\ s_3 &= 210 - 6x_1 \geq 0 \text{ のときは, } x_1 \leq 35 \text{ を動く.} \end{aligned}$$

を満たしながら x_1 を正の方向に動かしていくとき、 s_1, s_2, s_3 のうち最初に 0 となるものとそのときの x_1 を探す。この場合、前の式から $\min(50, 35) = 35$ となりで $x_1 = 35$ のときすでに s_3 が 0 になる。このとき、i) の辞書の s_3 の式 $s_3 = 210 - 6x_1 - 3x_2$ における s_3 と x_1 の役割を入れ替えて $x_1 = 35 - \frac{1}{6}s_3 - \frac{1}{2}x_2$ という形にして s_1, s_2 の式に代入する。この操作（ピボット操作）によって次の新しい辞書と（実行可能）基底解 $(x_1, x_2, s_1, s_2, s_3) = (35, 0, 60, 50, 0)$ を得る。

$$\begin{aligned} Z &= 1400 + 10x_2 - \frac{20}{3}s_3 \\ s_1 &= 60 - 3x_2 + \frac{2}{3}s_3 \\ s_2 &= 50 - 2x_2 \\ x_1 &= 35 - \frac{1}{2}x_2 - \frac{1}{6}s_3 \end{aligned}$$

こうして新しく非基底変数となった s_3, x_2 について同様のピボット操作を再度実行する。すなわち、 $s_3 = 0$ において x_2 を正方向に動かし、 s_1, s_2 のうち最初に 0 となるものと、そのときの x_2 を求める。この場合、 $s_1 = 60 - 3x_2 + \frac{2}{3}s_3, s_2 = 50 - 2x_2$ であるので、 $\min(20, 25) = 20$ から s_1 が s_2 よりも先に 0 になり、 $s_1 = 60 - 3x_2 + \frac{2}{3}s_3$ での s_1 と x_2 を軸に再びピボット操作（ s_1 と x_2 の入れ替え）を実行し、 s_2 と x_2 の条件式の x_2 の項に第 1 の条件式 x_2 を代入して次の新しい辞書を得る。

$$\begin{aligned} Z &= 1600 - \frac{10}{3}s_1 - \frac{58}{9}s_3 \\ x_2 &= 20 - \frac{1}{3}s_1 + \frac{2}{9}s_3 \\ s_2 &= 10 + \frac{2}{3}s_1 - \frac{4}{9}s_3 \\ x_1 &= 25 + \frac{1}{6}s_1 - \frac{5}{18}s_3 \end{aligned}$$

この辞書から、基本解は $(x_1, x_2, s_1, s_2, s_3) = (25, 20, 0, 10, 0)$ であり $Z = 1600$ となる。すなわち、最大利益が 1 6 0 0 万円で、そのときの商品 A と B の個数はそれぞれ 2 5 個および 2 0 個となる。

II) ソルバーによる方法 ([2])

手順 1. 定義式係数の入力。

2. 変数セルの指定。

3. 目的関数の定義式の入力と目的セルの指定。

4. 制約条件の定義式の入力。

5. 制約式右辺の値の入力。

6. 目的セルのソルバー上への入力。

7. 目標値の選択。

8. 変数セルの位置の入力。

9. 制約条件の入力。

10. 「解決方法の選択」での「シンプレックス LP」を選択。

11. [解決] ボタンをクリック

12. 「ソルバーの解の保持」の確認と [OK]。

準備と注意 i) [データ] タブをみてソルバー機能利用可能かを確認。

ii) [データ] タブに [ソルバー] ボタンの表示がなければ、[ファイル] → [オプション] を選択、[Excel のオプション]

ン] ダイアログボックス「アドイン」メニュー選択し、[アクティブでないアドイン] リストで[ソルバーアドイン] をクリックしてアクティブの状態にし、[設定] ボタンをクリック。[OK] もクリック。表示された「アドイン」ダイアログボックスの「有効なアドイン」欄の「ソルバーアドイン」をチェック。[OK] をクリック。

iii) リボンの[データ] タブ内の[ソルバー] をクリック。「ソルバーのパラメータ」ダイアログボックスを入力。「目的セルの設定」には最大（最小）にしたい数式の入ったワークシート上のセル E7 を指定。「目標値」として「目的セル」を「最大値」（「最小値」）に設定。特定の値と一致させたい場合には「特定値」を選択。「変数セルの変更」には、目的セルの値が最大（最小）値となる変数値を出力するセル C6,D6 を入力。「制約条件の対象」では、「変数セル」で指定した変数（またはそれらを用いた関数）の取る値に条件を設定。「オプション」ボタンを選択すると、ソルバーの挙動などに関する設定を変更可能。

入力と設定。

1. 値の入力。 x_1 の係数 C7「40」、C8「4」、C10「6」、 x_2 の係数 D7「30」、D8「5」、D9「2」、D10「3」

2. 「変数セル」を C6,D6 に指定。

3. セル E7 に以下の目的関数の定義式を入力し、「目的セル」として指定。ここに最大値が出力される。

E7: " =C7*C6+D7*D6" または " =SUMPRODUCT(C7:D7,C\$6:D\$6)"

4. セル E8, E9, E10 に制約条件左辺の定義式を入力。ソルバー機能ではこれらのセルが参照される。

E8: " =C8*C6+D8*D6" または " =SUMPRODUCT(C8:D8,C\$6:D\$6)"

E9: " =C9*C6+D9*D6" または " =SUMPRODUCT(C9:D9,C\$6:D\$6)"

E10: " =C10*C6+D10*D6" または " =SUMPRODUCT(C10:D10,C\$6:D\$6)"

絶対参照 C\$6:D\$6 の E8:E10 への貼り付ける方法。

i) E7: " =SUMPRODUCT(C7:D7,C\$6:D\$6)" は、 " =SUMPRODUCT(C7:D7)" と入力した後にセルの範囲指定して [F4] キーを 2 回押し " C\$6:D\$6 " となったら ") " を入力して [Enter] キーを押す。

ii) セル E7 を「コピー」([Ctrl]-[C] を同時に押) して [Shift] を押しながら [↓] を 3 回押して E8 から E10 を範囲指定。[右クリック]→[形式を選択して貼り付け] を指定してダイアログボックスを出し、「数式」にチェックし [OK]。または [ホーム]→[貼り付け]→[数式] ([Alt]→[H]→[V]→[F]) で数式のみがコピーされる。

5. 制約式右辺の値の入力。 F8: 「200」、F9: 「50」、F10: 「210」を入力。

続いて、目的セル E7 をクリックしてアクティブにし [データ]-[ソルバー] を選択しソルバーを起動して、以下 6 から 13 までソルバー上の入力用ダイアログボックスで操作する。

6. 「目的セル」E7 のソルバー上の入力用ダイアログボックスへの入力。目的関数の式が入ったセル E7 をクリックすると、ダイアログボックス入力欄は自動的に絶対参照「E\$7」となる。

7. 「目標値」を選択。総利益を最大にしたいので、「最大値」をチェック。

8. 「変数セルの変更」欄に変数セルの位置を入力。「目的セル」の位置を設定したときと同様、右横のボタンをクリックして入力用のダイアログボックスを出しセル C6:D6 を範囲指定。入力後に自動的に絶対参照の形 C\$6:D\$6 になる。(\$ の入力是不必要)

9. 「制約条件」を入力。「制約条件」欄右横にある [追加] ボタンをクリックすると現れる「制約条件追加」ダイアログボックスに情報を入力。

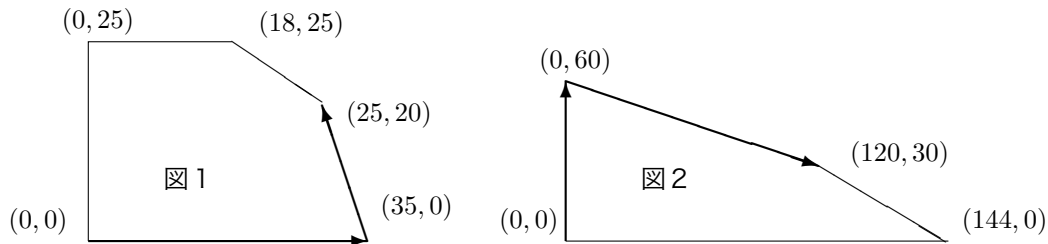
非負条件 $x_1, x_2 \geq 0$ を除く 3 つの条件不等式をまとめて入力する（個々に入力することも可能）。「制約条件の追加」ダイアログボックスの「セル参照」に左辺の数式が入ったセル位置 E8:E10 と「制約条件」（右辺の数式が入ったセル位置）を指定する際に、(単独のセルではなく) 対応するセル範囲をドラッグして指定。制約式の「関係子 $\leq$ 」を選択して、「ソルバーのパラメータ」ダイアログボックスに戻ると 3 つの不等式制約条件がまとめて表示される。非負制約 ($x_1, x_2 \geq 0$) についてもすべての決定変数に非負制約をもたせる場合、「制約のない変数を非負数にする」をチェックして「制約条件の追加」手続きによって同様に指定できる。

10. 「解決方法の選択」には LP では「シンプレックス LP」を選択。

1 1. [解決] ボタンをクリックするとソルバーが「シンプレックス法」(単体法)を実行し、最適解を返し、「ソルバーの結果」ダイアログボックスが表示される。

1 2. 「ソルバーの解の保持」がチェックされていることを確認して [OK]. 求めた解がセルに出力され、シートに戻る。[キャンセル] を選ぶと求めた解は消え、変数セルや目的セルに 0 が表示される。

ソルバーによる計算の結果、利益の値 Z が最大になるのは $A: 25$ 個, $B: 20$ 個で、その時の最大利益が 1600 万円になる。この結果は図を用いた方法 (やシンプレックス表を用いた方法) と一致する。 例 1 終わり。



次に、パン売上げ利益の問題を定式化した例をあげる。この問題では、製パン工場での製造量や小麦粉と砂糖の制限消費量に関する条件がついている。

例 2. ([1]p.15-)

I) 図による解法。モデルを定式化したものを例 1 と同様に標準型と正規型に表すと次のようになる。

標準型	正規型
$Z = 40x_1 + 60x_2$	$Z = 40x_1 + 60x_2$
$50x_1 + 40x_2 \leq 7200$	$s_1 = 7200 - 50x_1 - 40x_2$
$2x_1 + 8x_2 \leq 480$	$s_2 = 480 - 2x_1 - 8x_2$
$x_1, x_2 \geq 0$	$x_1, x_2, s_1, s_2 \geq 0$

この正規型から次の辞書を得る。

$$\begin{array}{ll}
 \text{i) } Z = 3600 + 25x_1 - \frac{15}{2}s_2 & \text{ii) } Z = 6600 - \frac{25}{4}s_1 - \frac{35}{8}s_2 \\
 s_1 = 4800 - 40x_1 + 5s_2 & x_1 = 120 - \frac{1}{40}s_1 + \frac{1}{8}s_2 \\
 x_2 = 60 - \frac{1}{4}x_1 - \frac{1}{8}s_2 & x_2 = 30 + \frac{1}{160}s_1 - \frac{5}{32}s_2 \\
 x_1, x_2 \geq 0 & x_1, x_2, s_1, s_2 \geq 0
 \end{array}$$

この最後の辞書により、(120,30) で最大値「6600」をとることがわかる。(図 2 参照)

II) エクセルソルバーでは、変数セル C6:D6, 目的セル E7, 制約条件の定義式 E8:E9 は例 1 と同じにし、目的関数および条件式の係数 C7:「40」, C8:「50」, C9:「2」, D7:「60」, D8:「40」, D9:「8」を入力し、制約条件の右辺の値を F8:「7200」, F9:「480」として例 1 と同様にソルバーを作動させると、目的セル E7 に 6600, 変数セル C6:D6 にはそれぞれ 120, 30 が出力され、(120, 30) で最大値 6600 を得る。 例 2 終わり。

他の例として、輸送問題を扱う。この問題に対しては北西隅ルールがあるが、ここでは、ソルバーのみ利用して最小値をみる。

例 3. ([1]p.36-) 3ヶ所に工場を持っている企業が、4ヶ所ある販売店からの注文に応じて各販売店への商品の輸送計画を立てる。各工場の供給能力を第 1 工場 15 個, 第 2 工場 25 個, 第 3 工場 8 個とし、販売店

からの注文は、販売店 1 から 5 個、販売店 2 から 13 個、販売店 3 から 20 個、販売店 4 から 10 個とする。各販売店からの注文に応ずるため、各工場からの出荷量を決め輸送する際、総輸送量が最小となる計画を立てる。

この問題は次の標準形に定式化できる。

$$\begin{aligned}
 Z &= 5x_{11} + 4x_{12} + x_{13} + 6x_{14} + 6x_{21} + 2x_{22} + 7x_{23} + 5x_{24} + 8x_{31} + 3x_{32} + 10x_{33} + 9x_{34} \\
 g_1 &= x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} && \leq 15 \\
 g_2 &= && x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} && \leq 25 \\
 g_3 &= && && x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} && \leq 8 \\
 g_4 &= x_{11} && + x_{21} && + x_{31} && \geq 5 \\
 g_5 &= && x_{12} && + x_{22} && + x_{32} && \geq 13 \\
 g_6 &= && && x_{13} && + x_{23} && + x_{33} && \geq 20 \\
 g_7 &= && && && x_{14} && + x_{24} && + x_{34} && \geq 10 \\
 x_{11}, x_{12}, \dots, x_{34} &\geq 0
 \end{aligned}$$

これをソルバーにかけるためにセルには例えば次のような設定をする。

1) 変数セルを C6, D6, E6, F6, ..., N6 に指定。

2) セル C16 に目的関数の定義式を入力し「目的セル」(最小値表示)として指定。

C16: " =SUMPRODUCT(C7:N7,C\$6:N\$6) "

3) セル C17, ..., C23 に制約条件左辺の定義式を入力。

C17: " =SUMPRODUCT(C8:F8,C\$6:F\$6) "

C18: " =SUMPRODUCT(G9:J9,G\$6:J\$6) "

C19: " =SUMPRODUCT(K10:N10,K\$6:N\$6) "

C20: " =C11*C\$6+G11*G\$6+K11*K\$6 "

C21: " =D12*D\$6+H12*H\$6+L12*L\$6 "

C22: " =E13*E\$6+I13*I\$6+M13*M\$6 "

C23: " =F14*F\$6+J14*J\$6+N14*N\$6 "

4) 制約式右辺の数値を入力。

D17: 「15」, D18: 「25」, D19: 「10」, D20: 「5」, D21: 「13」, D22: 「20」, D23: 「10」

5) 目的関数の係数および条件式の係数を入力。

C7, D7, E7, F7, ..., N7 には、目的関数の係数「5, 4, 1, 6, 6, 2, 7, 5, 8, 3, 10, 9」を入力。

条件式の係数は、C8:F8, G9:J9, K10:N10 のすべてに「1」を入力し、

C11, G11, K11 に「1」, D12, H12, L12 に「1」, E13, I13, M13 に「1」, F14, J14, N14 に「1」を入力。

6) これらのデータをもとに、 g_1, g_2, g_3 は「 $\leq$ 」、 $g_4, \dots, g_7$ は「 $\geq$ 」であることに注意し、最小値を選択してソルバーを実行させると解は 164 となり、最適解を得る。すなわち、総輸送費が最小 164 万円であり、北西隅ルールで求める初期値よりも良い値となる ([1] 参照)。

例 3 終わり。

文献

[1] 宮川公男 経営数学入門 実教出版 1993 年 03 月

[2] 藤澤 克樹・後藤 順哉・安井 雄一郎 Excel で学ぶ OR Ohmsha 2011 年 07 月

[3] 平井裕久 他 経済経営を学ぶための数学入門 ミネルバ書房 2010 年 11 月

[4] Fritz Reinhardt・Heinrich Soeder 著・Gerd Falk 図作 浪川 幸彦・成木 勇夫・長岡 昇勇・林 芳樹訳 カラー図解 数学事典 共立出版 2012 年 08 月

大型研究装置成果報告書

大型研究装置成果報告書

装置名	磁気共鳴断層撮影装置
研究責任者 (所属・役職・氏名)	スポーツ健康科学部・教授・浜岡隆文
研究テーマ	1. 運動トレーニングによる生体の変化に関する研究 2. 身体不活動による生体変化に関する研究 3. 高齢者のサルコペニア予防、脳機能低下予防のための研究 4. サプリメント摂取が生体に及ぼす影響に関する研究
研究の概要	本装置は、磁気共鳴現象を利用して、非侵襲的に生体内部の情報を得る測定装置であり、情報を画像化する磁気共鳴画像法（MRI）と、分子の構造や状態などの性質を調べる磁気共鳴分光法（MRS）の両者を備えている。具体例としては、画像情報から生体内部の骨格筋量、脂肪量（皮下脂肪、内臓脂肪）、骨容量、脳萎縮等の評価が可能であり、MRS測定により、脳内エネルギー代謝産物の変化、骨格筋内高エネルギーリン酸化合物の変化、骨格筋細胞内／細胞外脂肪量等を評価できる。異なる対象（健常若年者、高齢者、高度にトレーニングされた競技選手など）が、様々な運動および各種運動トレーニングを行った際に、生体の形態および機能に及ぼす影響について検討を行った。また、運動と表裏一体をなす不活動が生体の形態および運動時骨格筋エネルギー代謝に及ぼす影響を検討することにより、健康を維持・増進するうえで重要な役割を果たす身体活動および運動の生体における役割について研究を実施した。
利用成果	本年度、本装置を用いて行った研究に関する学術的成果は、以下の通りである。 ○著書：1 報 ○学術論文：1 0 報（in press 含む） ○国際学会発表：1 3 件 ○国内学会発表：1 0 件 ○博士論文：2 報 ○修士論文：5 報 ○学士論文：1 5 報 詳細は、以下参照。

(著 書)				
1 筋機能・形態発達のための新しいトレーニングシステムの開発	共著	平成 26 年 12 月	進化する運動科学の研究最前線	担当頁：322-328 本城豊之，塩澤成弘，横井星一，栗原俊之，伊坂忠夫
(学術論文)				
1 Resistance training restores muscle sex steroid hormone steroidogenesis in older men	共著	平成 26 年 1 月	The FASEB Journal	28 巻 Koji Sato, Motoyuki Iemitsu, Kenji Matsutani, Toshiyuki Kurihara, Takafumi Hamaoka, and Satoshi Fujita
2 Effects of different periods of hypoxic training on glucose metabolism and insulin sensitivity	共著	平成 26 年 2 月	Clinical Physiology and Functional Imaging	Takuma Morishima, Yuta Hasegawa, Hiroto Sasaki, Toshiyuki Kurihara, Takafumi Hamaoka, Kazushige Goto,
3 Establishment of a recording method for surface electromyography in the iliopsoas muscle	共著	平成 26 年 4 月	Journal of Electromyography and Kinesiology	23 巻 4 号 445-451 頁 Takumi Jiroumaru, Toshiyuki Kurihara, Tadao Isaka
4 Maximum toe flexor muscle strength and quantitative analysis of human planta intrinsic and extrinsic muscles by a magnetic resonance imaging technique	共著	平成 26 年 5 月	Journal of Foot and Ankle Research	7 巻 25 頁 Kurihara T, Yamauchi J, Otsuka M, Tottori N, Hashimoto T and Isaka T
5 Effect of sprint training: Training once daily versus twice every second day	共著	平成 26 年 7 月	European Journal of Sport Science	Toshiaki Ijichi, Yuta Hasegawa, Takuma Morishima, Toshiyuki Kurihara, Takafumi Hamaoka, Kazushige Goto
6 4 weeks of high-intensity interval training does not alter the exercise-induced growth hormone response in sedentary men	共著	平成 26 年 7 月	Springer Plus	3 巻 336 頁 Hiroto Sasaki, Takuma Morishima, Yuta Hasegawa, Ayaka Mori, Toshiaki Ijichi, Toshiyuki Kurihara, Kazushige Goto
7 Measurement of muscle length-related electromyography activity of the hip flexor muscles to determine individual muscle contributions to the hip flexion torque	共著	平成 26 年 10 月	Springer Plus	3 巻 624 頁 Jiroumaru T, Kurihara T, Isaka T
8 Influence of neglecting the curved path of the Achilles tendon on Achilles tendon length change at various ranges of motion	共著	平成 26 年 10 月	Physiological Reports	2 巻 10 号 e12176 頁 Atsuki Fukutani, Satoru Hashizume, Kazuki Kusumoto, Toshiyuki Kurihara
9 Serum C1q as a novel biomarker of sarcopenia in older adults	共著	平成 26 年 12 月	The FASEB Journal	in press 巻 Watanabe, S., Sato, K., Hasegawa, N., Kurihara, T., Matsutani, K., Sanada, K., Hamaoka, T., Fujita, S., and Iemitsu, M. Serum C1q as a novel biomarker of sarcopenia in older adults.

10				
Planned Overreaching and Subsequent Short-Term Detraining Enhance Cycle Sprint Performance.	共著	平成 26 年 12 月	<i>Int J Sports Med</i>	in press 巻 Hasegawa Y, Ijichi T, <u>Kurosawa Y</u> , Hamaoka T, Goto K.
(研究発表)				
Tendon cross sectional area is not associated with muscle volume	共著	2014 年 5 月	61st Annual Meeting of American College of Sports Medicine	Atsuki Fukutani, Toshiyuki Kurihara, Kazushige Goto
Relationships among visceral adipose tissue area observed in the multiple-slice, metabolic syndrome risks and cardiorespiratory fitness	共著	2014 年 5 月	61st Annual Meeting of American College of Sports Medicine	Yuki Nakayama, Ayumi Ido, Toshiyuki Kurihara, Koji Sato, Mitsuo Otsuka, Motoyuki Iemitsu, Takafumi Hamaoka, Kiyoshi Sanada
Effects of 3 days of high fat diet on exercise-induced growth hormone response in men	共著	2014 年 5 月	61st Annual Meeting of American College of Sports Medicine	Hiroto Sasaki, Yoshifumi Tsuchiya, Nobuhiro Shimura, Aya Ishibashi, Kumiko Ebi, Toshiyuki Kurihara, Kazushige Goto
Effects of cardiorespiratory fitness level, age, and sex on intramyocellular and extramyocellular lipid contents	共著	2014 年 5 月	61st Annual Meeting of American College of Sports Medicine	Natsuki Hasegawa, Toshiyuki Kurihara, Shinya Watanabe, Koji Sato, Satoshi Fujita, Kiyoshi Sanada, Takafumi Hamaoka, Motoyuki Iemitsu
Ageing-induced reduction in muscle cross-sectional area is associated with serum C1q concentration	共著	2014 年 5 月	61st Annual Meeting of American College of Sports Medicine	Shinya Watanabe, Koji Sato, Satoshi Fujita, Natsuki Hasegawa, Shumpei Fujie, Kiyoshi Sanada, Toshiyuki Kurihara, Takafumi Hamaoka, Motoyuki Iemitsu
The relationship between subcutaneous fat and intramuscular lipid in human limb.	共著	2014 年 7 月	19th Annual Congress of the European College of Sport Science	YOSHIKAWA, M., KURIHARA, T., TAGUCHI, S., YAMAUCHI, J., HASHIMOTO, T.
Effects of intramyocellular and extramyocellular lipid contents on arterial stiffness	共著	2014 年 7 月	19th Annual Congress of the European College of Sport Science	HASEGAWA, N., KURIHARA, T., SATO, K., FUJITA, S., SANADA, K., OTSUKA, M., HAMAOKA, T., IEMITSU, M.
Effect of intermittent low intensity and high speed power training on the risk of falls and fractures in japanese postmenopausal women	共著	2014 年 7 月	19th Annual Congress of the European College of Sport Science	HAMAGUCHI, K., KURIHARA, T., IEMITSU, M., SATO, K., OTSUKA, K., HAMAOKA, T., SANADA, K.
Comparison of the Achilles Tendon Length Change Obtained between Direct and Indirect Measurement	共著	2014 年 7 月	7th World Congress of Biomechanics	A. Fukutani, S. Hashizume, K. Kusumoto, T. Kurihara
Error evaluation of the tendon excursion for determining the Achilles tendon moment arm by comparing the three-dimensional value	共著	2014 年 7 月	7th World Congress of Biomechanics	S. Hashizume, A. Fukutani, K. Kusumoto, T. Kurihara, T. Yanagiya
EMG-angle relationship of hip flexor muscles during maximum isometric hip flexion	共著	2014 年 7 月	7th World Congress of Biomechanics	T. Kurihara, T. Jiroumaru, T. Isaka
The possibilities of recording the iliopsoas muscle activity by	共著	2014 年 7 月	7th World Congress of Biomechanics	T. Jiroumaru, T. Kurihara, T. Isaka

surface EMG			Biomechanics	
短期間の高脂肪食摂取が一過性の運動に対する成長ホルモンの分泌応答に及ぼす影響	共著	2014 年 9 月	第 69 回日本体力医学会大会	佐々木裕人, 石橋彩, 土屋吉史, 志村信廣, 栗原俊之, 海老久美子, 後藤一成
血中 C1q レベルは高齢者のレジスタンストレーニングによる筋肥大効果に関連する	共著	2014 年 9 月	第 69 回日本体力医学会大会	渡邊真也, 佐藤幸治, 長谷川夏輝, 藤田聡, 栗原俊之, 松谷健司, 浜岡隆文, 家光素行
レジスタンストレーニングが皮下脂肪と筋細胞内脂肪に及ぼす影響	共著	2014 年 9 月	第 69 回日本体力医学会大会	本間俊行, 栗原俊之, 梅野徳, 藤田聡, 浜岡隆文
高齢者の一過性レジスタンス運動による骨格筋性ステロイド代謝応答はトレーニングによる筋量・筋力増大に関連する	共著	2014 年 9 月	第 69 回日本体力医学会大会	佐藤幸治, 家光素行, 松谷健司, 栗原俊之, 目崎登, 浜岡隆文, 藤田聡
陸上競技短距離選手における 6 日間連続の低酸素トレーニングの効果	共著	2014 年 9 月	第 69 回日本体力医学会大会	笠井信一, 栗原俊之, 黒澤裕子, 後藤一成
有酸素トレーニングによる動脈硬化改善と筋細胞内・外脂肪含有量との関係	共著	2014 年 9 月	第 69 回日本体力医学会大会	長谷川夏輝, 栗原俊之, 佐藤幸治, 真田樹義, 浜岡隆文, 家光素行
足指筋力と立位姿勢調整機能の関係	共著	2014 年 9 月	第 69 回日本体力医学会大会	栗原俊之, 舟木一世, 鳥取伸彬, 大塚光雄, 伊坂忠夫, 山内潤一郎
短距離走選手の足指筋力と足底部筋断面積	共著	2014 年 11 月	第 35 回 バイオメカニズム学術講演会	栗原 俊之, 大塚 光雄, 鳥取 伸彬, 橋本健志, 伊坂 忠夫, 山内 潤一郎
Muscular Lipid is Associated With a Risk Factor of Arterial Stiffness	共著	2014 年 11 月	American Heart Association's 2014 Scientific Sessions and Resuscitation Science Symposium	Natsuki Hasegawa; Toshiyuki Kurihara; Koji Sato; Satoshi Fujita; Kiyoshi Sanada; Mitsuo Otsuka; Takafumi Hamaoka; Motoyuki Iemitsu
大学ゴルフ選手における体幹筋形態の左右差	共著	2014 年 11 月	第 27 回日本トレーニング科学大会	泉本洋香, 和智道生, 菅唯志, 栗原俊之, 伊坂忠夫
肩関節内旋筋力に及ぼす肩関節回旋角度の影響	共著	2014 年 11 月	第 27 回日本トレーニング科学大会	小嶋高広, 伊藤太祐, 樋口貴俊, 栗原俊之, 伊坂忠夫

大型研究装置成果報告書

装置名	半導体極微構造評価装置
研究責任者 (所属・役職・氏名)	理工学部・准教授 荒木 努
研究テーマ	1. RF-MBE 成長 InN 系窒化物半導体の極微構造・光学的特性評価 2. 紫外 LED 用 MOCVD 成長 GaN 薄膜の極微構造・光学的特性評価 3. カルコゲナイド材料・薄膜の形成と太陽電池への応用 4. 有機太陽電池のドナー層の分子配向制御による効率の改善 5. 細菌のセレンナノ粒子生成機構の解明
研究の概要	本装置は X 線回折装置 (PANalytical 製 XPertMRD)、走査電子顕微鏡 (HITACHI 製 S-4300SE)、カソードルミネッセンス (CL) 測定システム (GATAN 製 MONO-CL2)、EBIC 測定システム (GATAN 製) から構成されており、半導体材料分野を中心に幅広い領域で研究活動に活用された。各テーマの研究概要を以下に示す。 1. RF-MBE 法を用いて様々な基板上に作製した GaN、InN、GaIn、InGaIn 薄膜に対し、X 線回折装置を用いた結晶性、混晶組成、逆格子マッピングによる格子歪の精密評価、SEM を用いた表面モフォロジー評価、CL を用いた極微構造と発光特性の関連性評価などを行い、これら材料の結晶高品質化、物性解明への知見を得た。 2. 紫外 LED 応用に向けて、MOCVD 法を用いて作製した Si 基板上 AlGaIn/GaN 多重量子井戸構造、AlN 薄膜に対して、X 線回折装置を用いた結晶性、格子定数、混晶組成の精密測定、CL を用いた発光特性評価を行い、成長条件が上記特性に及ぼす影響を検討した。 3. 高効率化合物薄膜太陽電池の光吸収材料 (発電層) として期待されるカルコゲナイド薄膜の高品質化について検討した。特に、Cu(In,Ga)Se₂、Cu₂SnSe₃、Cu₂ZnSn(S,Se)₄、SnS などの多結晶薄膜の結晶粒サイズや表面を詳細に観察し、太陽電池性能との相関を検討した。 4. 太陽電池応用を目指した ITO 基板上の有機薄膜材料の配向性評価を X 線回折装置を用いて行った。 5. <i>Bacillus</i> sp. NTP-1 株および <i>Escherichia coli</i> などの細菌が生産するセレン粒子をショ糖密度勾配遠心法にて回収し、SEM を用いた観察により形状、粒径などを評価した。また、セレン粒子およびテルル粒子の形成に関与するタンパク質の解析を行った。

利用成果	【学術論文】 • T. Araki, S. Uchimura, J. Sakaguchi, Y. Nanishi, T. Fujishima, A. Hsu, K. Kim, T. Palacios, A. Pesquera, A. Centeno and A. Zurutuza, Radio-Frequency Plasma-Excited Molecular Beam Epitaxy Growth of GaN on Graphene/Si(100) Substrates, <i>Applied Physics Express</i> 7, 071001/1-3 (2014). • N. Kurose, K. Shibano, T. Araki, and Y. Aoyagi, Development of substrate - removal - free vertical ultraviolet light-emitting diode (RefVLED), <i>AIP Advances</i> 4, 027122 (2014). • K. Wang, T. Araki, M. Takeuchi, E. Yoon and Y. Nanishi, Selective Growth of N-polar InN Through an In Situ AlN Mask on a Sapphire Substrate, <i>Appl. Phys. Lett.</i> 104, 032108/1-5 (2014). • K. Aoyagi, A. Tamura, H. Takakura, T. Minemoto, Effect of rear-surface buffer layer on performance of lift-off Cu(In,Ga)Se₂ solar cells, <i>Jpn. J. Appl. Phys.</i> 53, 05FW05-1-5 (2014). • Z. Tang, Y. Nukui, K. Kosaka, N. Ashida, H. Uegaki, T. Minemoto, Reduction of secondary phases in Cu₂SnSe₃ absorbers for solar cell application, <i>J. Alloys Compd.</i> 608, 213-219(2014). • J. Chantana, T. Watanabe, S. Teraji, K. Kawamura, T. Minemoto, Effect of Crystal Orientation in Cu(In,Ga)Se₂ Fabricated by Multi-Layer Precursor Method on Its Cell Performance, <i>Appl. Surf. Sci.</i> 314, 845-849 (2014). • J. Chantana, D. Hironiwa, T. Watanabe, S. Teraji, K. Kawamura, T. Minemoto, Investigation of Cu(In,Ga)Se₂ Absorber by Time-Resolved Photoluminescence for Improvement of Its Photovoltaic Performance, <i>Sol. Energy Mater. Sol. Cells</i> 130, 567-572 (2014). • D. Hironiwa, N. Matsuo, N. Sakai, T. Katou, H. Sugimoto, J. Chantana, Z. Tang, T. Minemoto, Sputtered (Zn,Mg)O buffer layer for band offset control in Cu₂ZnSn(S,Se)₄ solar cells, <i>Jpn. J. Appl. Phys.</i> 53, 106502-1-6 (2014). • Y. Mizumoto, J. Chantana, D. Hironiwa, A. Yamamoto, K. Yabuki, A. Nakaue, T. Minemoto, Junction quality evaluation of buffer-free Zn(O,S):Al/Cu(In,Ga)Se₂ thin film solar cells, <i>APEX</i> 7, 125503-1-4 (2014). • J. Chantana, D. Hironiwa, T. Watanabe, S. Teraji, K. Kawamura, T. Minemoto, Controlled back slope of Ga/(In+Ga) profile in Cu(In,Ga)Se₂ absorber fabricated by multi layer precursor method for improvement of its photovoltaic performance, <i>Sol. Energy Mater. Sol. Cells</i> 133, 223-228 (2015). • J. Chantana, D. Hironiwa, T. Watanabe, S. Teraji, K. Kawamura, T. Minemoto, Estimation of open-circuit voltage of Cu(In,Ga)Se₂ solar cells before cell fabrication, <i>Renewable Energy</i> 76, 575-581 (2015).
-------------	--

- K. Harafuji, H. Sato, T. Matsuura, Y. Omoto, T. Kaji, and M. Hiramoto, Degradation in organic solar cells under illumination and electrical stresses in air, Jpn. J. Appl. Phys. 53, 122303/1-9 (2014).
- R. Hidese, H. Mihara, T. Kurihara, N. Esaki, Global identification of genes affecting iron-sulfur cluster biogenesis and iron homeostasis, J Bacteriol, 196, 1238-1249 (2014).
- T. Imai, T. Kurihara, N. Esaki, H. Mihara, Glutathione contributes to the efflux of selenium from hepatoma cells, Biosci Biotechnol Biochem, 78, 1376-1380 (2014).
- H. Mihara, T. Kurihara, N. Esaki, Selenocysteine lyase: Delivering selenium in biosynthetic pathway, Selenium in the Environment and Human Health, CRC Press, London, UK, pp. 181 (2014).
- Y. Tani, K. Omatsu, S. Saito, R. Miyake, H. Kawabata, M. Ueda, H. Mihara, Heterologous expression of L-lysine α -oxidase from *Scomber japonicus* in *Pichia pastoris* and functional characterization of the recombinant enzyme, J Biochem, (2015) in press.
- Y. Tani, R. Miyake, R. Yukami, Y. Dekishima, H. China, S. Saito, H. Kawabata, H. Mihara, Functional expression of L-lysine α -oxidase from *Scomber japonicus* in *Escherichia coli* for one-pot synthesis of L-pipecolic acid from DL-lysine, Appl Microbiol Biotechnol, (2015) in press.

【国際学会】

- Y. Nanishi, T. Yamaguchi and T. Araki, DERI Method; Possible Approach to Longer Wavelength Light Emitters Based on Nitride Semiconductors, 6th Forum on New Materials (CIMTEC2014), (2014.6), Tuscany Italy.
- M. Sakamoto, K. Wang, T. Araki, Y. Nanishi and E. Yoon, Study on Thickness Dependence of Composition and Strain Relaxation of RF-MBE Grown In-rich InGa_N, 56th Electronic Materials Conference (EMC 2014), (2014. 6) Santa Barbara, California USA
- Y. Nanishi, T. Yamaguchi, T. Araki, A. Uedono and T. Palacios, Plasma Induced Point Defects in InN During RF-MBE Growth and Those Reduction by DERI Method, Defects in Semiconductors Gordon Research Conference (2014.8) Waltham, MA USA
- T. Yamaguchi, K. Narutani, T. Onuma, T. Araki, T. Honda, Y. Nanishi, RF-MBE Growth of GaInN Films Using DERI Method and Fabrication of Homo Junction-Type LED Structures, 6th International Symposium on Functional Materials (ISFM 2014) (2014.8) Singapore.

	・ N. Masuda, T. Kobayashi, T. Araki, Y. Nanishi, M. Oda, T. Hitora, RF-MBE Growth of Nitride Semiconductors on α-In₂O₃/Sapphire, International Workshop on Nitride Semiconductor 2014 (2014.8) Wroclaw Poland. ・ T. Araki, T. Yamaguchi and Y. Nanishi, RF-MBE Growth of InN and InGaN Ternary Alloys Using DERI, 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-19) (2014.9) Niigata Japan. ・ K. Harafuji and Y. Omoto, Degradation in Organic Solar Cells with Thin Silver Anode Buffer, XXIII Int. Materials Research Congress 2014 (IMRC23) 2014/08/19 ・ K. Harafuji and K. Arisawa, Organic Solar Cells with Multiple-Layer Donor, Int. Conf. & Exhibition on Advanced & Nano Materials (ICANM2014) 2014/08/12 ・ H. Tajima, T. Nagano, R. Ouchida, K. Okanishi, K. Kim, R. Masui, S. Kuramitsu, Y. Tani, S. Saito, T. Minemoto, N.T. Prakash, H. Mihara, Identification of Proteins Involved in Bacterial Synthesis of Selenium Particles, Institute for Chemical Research International Symposium 2014ICR, Kyoto University, Uji, 2014. ・ Y. Tani, H. Nakamoto, R. Miyake, H. Kawabata, M. Ueda, H. Mihara, D-Lysine catabolic enzymes of <i>Pseudomonas putida</i>, Institute for Chemical Research International Symposium 2014ICR, Kyoto University, Uji, 2014. 【国内学会】 ・ 大内田竜大, 田島寛隆, 山本紘資, 斎藤茂樹, 谷泰史, 峯元高志, N.T. Prakash, 三原久明, 細菌におけるセレン微粒子生成に関わるタンパク質の同定, 日本農芸化学会 2014 年度大会明治大学生田キャンパス、神奈川, 2014. ・ 名田イサナ, 田島寛隆, 斎藤茂樹, 谷泰史, N.T. Prakash, 三原久明, <i>Cellulomonas</i> sp. D3a 株におけるテルル酸還元に関わる遺伝子の同定, 日本農芸化学会 2014 年度大会明治大学生田キャンパス、神奈川, 2014. ・ 名田イサナ, 山際恭平, 永野知哉, 田島寛隆, 斎藤茂樹, 谷泰史, N.T. Prakash, 三原久明, グラム陽性細菌のテルル酸還元に関わる遺伝子の同定, 日本農芸化学会関西支部例会第 484 回講演会京都府立大学(京都府), 2014. ・ 【修士論文】 内村 智「RF-MBE 法による Si(100)基板上 GaN 結晶成長に関する研究」 清原 聡介「KFM による InGaN 表面の In 組成揺らぎ及び GaN 系デバイスの断面電位分布の評価」 坂本 正洋「RF-MBE 法を用いた InGaN の膜厚に対する In 組成変化に関する研究」
--	---

柴野 謙太郎	「Si 基板上縦型深紫外 LED の開発」
橋本 雄介	「酸化ガリウムの紫外線検出器応用に向けた検討」
吉村 友孝	「InN 電子デバイス応用に向けたデバイスプロセスに関する研究」
村田 雅	「SCAPS を用いた化合物太陽電池のバンドプロファイルの最適化」
森 匠	「Cu ₂ ZnSn(S,Se) ₄ 太陽電池における NaF 後処理の検討」
水本 雄太	「Zn(O,S):Al/Cu(In,Ga)Se ₂ バッファフリー太陽電池の作製と評価」
小阪 貴一	「SnS 粉末と S 粉末を用いた硫化法による Cu ₂ SnS ₃ 太陽電池の作製」
高井 諒	「Cu ₂ ZnSn(S,Se) ₄ 薄膜太陽電池の Cd 拡散処理による pn 接合形成条件」
温井 祐喜	「3 ゾーン管状炉を用いた Cu ₂ SnSe ₃ 光吸収層の作製と評価」
赤嶺 健司	「ドナー層を分子配向制御した有機太陽電池の性能に関する研究」
稲垣 翔大	「有機太陽電池におけるアノード界面制御と照射劣化に関する研究」
奥野 弘人	「有機薄膜太陽電池における曲線因子の照射劣化の検討」
末岡 慎策	「陽極表面をUVオゾン処理した有機太陽電池の性能に関する研究」
住友 弘之	「有機太陽電池における開放端電圧の照射劣化に関する研究」
呉 俊儒	「 <i>Pseudomonas</i> sp. F2a の亜セレン酸還元能に関する研究」

大型研究装置成果報告書

装置名	ヒューマンカロリメーター・人工環境試験室（低酸素チャンバー）
研究責任者 (所属・役職・氏名)	スポーツ健康科学部・教授・真田樹義
研究テーマ	・低酸素環境での運動が健康増進に及ぼすもたらす効果に関する研究（研究 1） ・スポーツ競技者における低酸素環境で行うトレーニングが運動能力や骨格筋内のエネルギー基質に及ぼす影響に関する研究（研究 2） ・安静時および運動時におけるエネルギー消費量の測定に関する研究（研究 3）
研究の概要	【研究 1】 通常酸素環境下（酸素濃度 20.9%）または低酸素環境下（酸素濃度 15.0%）での食後の血中グルコースやインスリン濃度、食欲調節に関わる内分泌指標の経時応答を比較した。また、一過性の運動が運動中および運動終了後の代謝・内分泌動態に及ぼす影響を検討した。 【研究 2】 スポーツ競技者を対象に、通常酸素環境下（酸素濃度 20.9%）または低酸素環境下（酸素濃度 14.5%）で行う高強度トレーニングが運動遂行能力や骨格筋内のエネルギー基質（クリアチンリン酸量）に及ぼす影響を検討した。 【研究 3】 短時間・高強度でのトレーニングに対するエネルギー消費量の変化、健康づくりや肥満予防をねらいとした基礎代謝量の評価などを行った。
利用成果	【論文】 1. Hasegawa Y, Ijichi T, Kurosawa Y, Hamaoka T, Goto K. Planned overreaching and subsequent short-term detraining enhance sprint performance. Int J Sports Med, 2015 (in press) 2. Ijichi T, Hasegawa Y, Morishima T, Kurihara T, Hamaoka T, Goto K. Effect of sprint training: Training once daily versus twice every second day. Eur J Sport Sci, 15: 143-150, 2014. 3. Takuma Morishima and Kazushige Goto. Successive exposure to moderate hypoxia does not affect glucose metabolism and substrate oxidation in young healthy men. SpringerPlus 3: p. 370, 2014. 4. Takuma Morishima, Ayaka Mori, Hiroto Sasaki and Kazushige Goto. "Impact of exercise and moderate hypoxia on glycemic regulation and substrate oxidation pattern."

PLOS ONE 9(10): p.e 108629, 2014.

【学会発表（国際学会）】

1. Nobukazu Kasai, Sahiro Mizuno, Sayuri Ishimoto, Etsuko Sakamoto, Misato Maruta, Kazushige Goto. Effect of 6 days of hypoxic training on repeated pedaling performance in short sprinters. 61st Annual Meeting of American College of Sports Medicine, Orlando, USA. May, 2014.
2. Takuma Morishima, Ayaka Mori, Hiroto Sasaki and Kazushige Goto. “Metabolic Endocrine Responses during Rest and Exercise under Moderate Hypoxic Condition.” 61st Annual Meeting of American College of Sports Medicine, Orlando, USA. May, 2014.

【学会発表（国内学会）】

1. 笠井信一、後藤一成. 低酸素環境下における短期間のスプリントトレーニングの効果. 第 22 回日本運動生理学会大会、岡山、2014 年 7 月
2. 後藤一成. 高強度スプリントトレーニングの効果. 第 22 回日本運動生理学会大会、岡山、2014 年 7 月（招待講演）
3. 笠井信一、後藤一成. 陸上競技短距離選手における 6 日間連続の低酸素トレーニングの効果. 第 69 回日本体力医学会大会、長崎、2014 年 9 月
4. 森嶋琢真、森文香、佐々木裕人、後藤一成. 肥満者における低酸素環境での安静や運動に伴う食欲調節の変化、第 69 回日本体力医学会、長崎県、2014 年 9 月
5. 後藤一成. 低酸素環境下での運動が糖代謝や内分泌応答に及ぼす影響. 第 69 回日本体力医学会大会、長崎、2014 年 7 月（招待講演）
6. 後藤一成. 競技者を対象として低酸素環境下での高強度トレーニングの効果. 第 18 回高所トレーニング国際シンポジウム 2014 東京、東京、2014 年 10 月（招待講演）

【博士論文】

1. 森嶋琢真「健康増進をねらいとした低酸素環境での運動の効果に関する研究」、2015 年 3 月

大型研究装置成果報告書

装置名	BKC 天体観測ドーム
研究責任者 (所属・役職・氏名)	理工学部・教授 森 正樹
研究テーマ	60cm 光学反射式天体望遠鏡を用いた天体観測
研究の概要	2014 年 3 月に BKC トリシアの屋上に設置された 60cm 天体望遠鏡を用いて、 1) 太陽系外惑星のトランジット法（惑星が恒星の光球面を通過する際に起こる減光を精密に測定することによって惑星を検出する）による観測 2) 爆発後数日で減光するガンマ線バースト天体の残光観測 3) フレアを時折起こす活動銀河の時間変動のモニター観測 などを実施する。キャンパス内という設置条件を活かし、これら時間変動する天体の光度を高い頻度で精密に測定することを目指す。60cm 口径の望遠鏡であれば、冷却 CCD カメラを焦点面の光検出器として用いることにより 21 等級程度の暗い天体までの観測が可能になる。
利用成果	2014 年度はまず観測システムの整備を行った。観測が容易に行えるよう、望遠鏡システムがすべて遠隔操作で可能になることを目標とした。Virtual Network Computing ソフトウェアを用いて、Windows で動く望遠鏡およびドームのコントロール PC、および 7 個のコマンド切り替え式光学フィルターを備えた冷却 CCD カメラのコントロール PC を、ドーム脇の控室およびエクセル 1 にある研究室の Linux PC から操作し、取得した画像データをデータサーバに転送して格納できるようなシステムを整備した。また、遠隔操作中の天候変化をモニターするため、計算機からデータ取得可能な気象観測機器および雨滴センサー、望遠鏡スリットの開閉状態を調べる距離センサーと、ドーム内状況を監視する Web カメラを設置して、すべての情報が Web Browser から学内専用で閲覧可能なようなシステムとして整備した。これらの整備は物理科学科特任助教の奥田剛司氏が主に担当した。さらに、空の状態をモニターする全天カメラを設置する準備として、魚眼レンズで星空を撮影し、雲量など空の状態を判断するシステムを構築中である [1]。 また、冷却 CCD カメラを用いてこのシステムで試験撮影を行った。取得した画像データの品質を評価するため、星像を自動検出してカタログ値と比較し、限界等級や視野の周辺減光など、望遠鏡の光学特性を調べる必要があり、そのためのソフトウェアも開発中である [2]。 これらの準備作業を進めながら、まもなく本格的な定常観測に入り、目的の

	テーマに取り組むことを予定している。 【卒業論文】 [1] 西山弘一、「BKC 天文台に設置するスカイモニターの検討」、物理科学科卒業研究（2015 年 2 月） [2] 武部玄嵩、「600mm 反射望遠鏡の光学特性評価」、物理科学科卒業研究（2015 年 2 月） 【その他】 2014 年 10 月の皆既月食に合わせ、一般向けの観望会を、また 10 月に高校生向け観望会、6 月と 10 月に学内向けの観望会を開催した。大学のオープンキャンパスや大学同窓会総会、BKC サンクスデー、放射光学会大会、滋賀天文のつどいなどのイベントの際に、天文台の見学希望が多数寄せられ、これに対応した。さらに、学生サークルである草津天文研究会には見学時などに手伝いを依頼するとともに、講習会を行って望遠鏡を使用してもらっている。
--	--

装置名； 超高分解能分析システム

研究責任者	機械工学科 教授 飴山 恵 (管理委員長)
部門名	
研究テーマ	1. 調和組織制御による高機能材料の創製 2. 複相合金における第2相の形態と結晶学的特徴 3. 高温における多軸低サイクル疲労およびクリープ破断寿命評価法の研究 4. 電子デバイス用樹脂薄膜の物性値評価法の検討 5. 電子顕微鏡による酸化物に担持した金属触媒材料の表面観察 6. 三次元フォトリソグラフィ結晶の形成 7. 窒化物半導体の極微構造評価 8. Cu(In, Ga)Se₂系多結晶薄膜太陽電池の界面構造制御
研究の概要	超高分解能分析システムは、加速電圧 40kV の EDS 分析装置付属型走査型電子顕微鏡 (SEM)、200kV、UTW/EDS 分析装置付属高分解能 TEM から構成されており、物質科学分野を中心に広い領域で活用されている。活用例として、研究テーマ1を以下に紹介する。 金属材料は、力学特性のみならず加工性や耐食性など、優れた性質を数多く備えており、有用な素材である。とりわけ、建築構造物や輸送機器などの面から社会基盤を支える構造用材料にとり強度は重要な性質であり、これまで様々な手法により高強度材料の開発が進められてきた。その中でも特に、結晶粒微細化法は高強度化に極めて有効であることから大きな関心を集めてきた。結晶粒が微細化すると Hall-Petch の関係¹⁾で知られるように、結晶粒径の平方根の逆数に比例して強度が上昇する。しかし、一方で、高強度材料では降伏後、早期に塑性不安定が生じてネッキングを起し破断に至り延性が損なわれるという問題がある。この「強度」と「延性」のトレードオフの関係は、金属材料の高強度化において重要な課題となっている。これに対して、大きな塑性ひずみを得るために、変態誘起塑性 (Transformation Induced Plasticity: TRIP) や双晶誘起塑性 (Twinning Induced Plasticity: TWIP) の利用が検討されているが、これらの TRIP、TWIP 現象は発現する材料が限定されている。一方で、粉末冶金法を応用した調和組織制御法 (Harmonic Structure Design) は純金属、合金に限らず金属材料の高延性化に有効な手法であり、近年、種々の金属材料に適用した研究が報告されている。従来からのミクロな強化法と構造由来のマクロな高延性化とを組み合わせた新しい材質設計手法である。本研究では調和組織制御法について詳細な検討した。

利用成果

<論文>

- (1) Misaki Katayama, Koichi Sumiwaka, Ryota Miyahara, Hisao Yamashige, Hajime Arai, Yoshiharu Uchimoto, Toshiaki Ohta, Yasuhiro Inada, Zempachi Ogumi, "X-ray absorption fine structure imaging of inhomogeneous electrode reaction in LiFePO₄ lithium-ion battery cathode", J. Power Sources, 2014, 269, 994-999.
- (2) Takayasu Moroki, Hiroyuki Yasui, Yusuke Adachi, Katsuhiko Yoshizawa, Airo Tsubura, Kazuhiko Ozutsumi, Misaki Katayama, and Yutaka Yoshikawa, "New Insulin-Mimetic and Hypoglycemic Hetero-Binuclear Zinc(II)/Oxovanadium(IV) Complex", Curr. Inorg. Chem., 2014, 4(1), 54-58.
- (3) Satoshi Asaoka, Hideo Okamura, Yusuke Akita, Katsuyoshi Nakano, Kenji Nakamoto, Kazutoshi Hino, Tadashi Saito, Shinjiro Hayakawa, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, "Regeneration of manganese oxide as adsorption sites for hydrogen sulfide on granulated coal ash", Chem. Eng. J., 2014, 254, 531-537.
- (4) 片山真祥、稲田康宏, "DXAFS による時間分解 X 線吸収分光", 表面科学, 2014, 35(3), 141-145.
- (5) Zhicong Meng, Aya Fujii, Takeshi Hashishin, Noriyuki Wada, Tomoe Sanada, Jun Tamaki, Kazuo Kojima, Hitoshi Haneoka, Takeyuki Suzuki, "Morphological and crystal structural control of tungsten trioxide for highly sensitive NO₂ gas sensors", J. Mater. Chem. C, 3 (2015) pp. 1134-1141.
- (6) Aya Fujii, Zhicong Meng, Chihiro Yogi, Takeshi Hashishin, Tomoe Sanada, Kazuo Kojima, "Preparation of Pt-loaded WO₃ with different types of morphology and photocatalytic degradation of methylene blue", Surface and Coating Technology, in press.
- (7) T. Araki, S. Uchimura, J. Sakaguchi, Y. Nanishi, T. Fujishima, A. Hsu, K. Kim, T. Palacios, A. Pesquera, A. Centeno and A. Zurutuza: "Radio-Frequency Plasma-Excited Molecular Beam Epitaxy Growth of GaN on Graphene/Si(100) Substrates", Applied Physics Express 7, 071001/1-3 (2014).
- (8) K. Wang, T. Araki, M. Takeuchi, E. Yoon and Y. Nanishi, "Selective Growth of N-polar InN Through an In Situ AlN Mask on a Sapphire Substrate", Appl. Phys. Lett. 104, 032108/1-5 (2014).
- (9) "Effect of rear-surface buffer layer on performance of lift-off Cu(In, Ga)Se₂ solar cells" K. Aoyagi, A. Tamura, H. Takakura, T. Minemoto Jpn. J. Appl. Phys. 53 (2014) 05FW05-1-5.
- (10) Z. Tang, Y. Nukui, K. Kosaka, N. Ashida, H. Uegaki and T. Minemoto; "Reduction of secondary phases in Cu₂SnSe₃ absorbers for solar cell application", J. Alloys Compd. 608 (2014) 213-219.
- (11) J. Chantana, T. Watanabe, S. Teraji, K. Kawamura and T. Minemoto; "Effect of Crystal Orientation in Cu(In, Ga)Se₂ Fabricated by Multi-Layer Precursor Method on Its Cell

- Performance”, Appl. Surf. Sci. 314 (2014) 845-849.
- (1 2) J. Chantana, D. Hironiwa, T. Watanabe, S. Teraji, K. Kawamura and T. Minemoto; “Investigation of Cu(In, Ga)Se₂ Absorber by Time-Resolved Photoluminescence for Improvement of Its Photovoltaic Performance”, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 130 (2014) 567-572.
- (1 3) D. Hironiwa, N. Matsuo, N. Sakai, T. Katou, H. Sugimoto, J. Chantana, Z. Tang and T. Minemoto; “Sputtered (Zn, Mg)O buffer layer for band offset control in Cu₂ZnSn(S, Se)₄ solar cells”, Jpn. J. Appl. Phys. 53 (2014) 106502-1-6.
- (1 4) Y. Mizumoto, J. Chantana, D. Hironiwa, A. Yamamoto, K. Yabuki, A. Nakae, T. Minemoto; “Junction quality evaluation of buffer-free Zn(O, S):Al/Cu(In, Ga)Se₂ thin film solar cells”, APEX 7 (2014) 125503-1-4.
- (1 5) J. Chantana, D. Hironiwa, T. Watanabe, S. Teraji, K. Kawamura and T. Minemoto; “Controlled back slope of Ga/(In+Ga) profile in Cu(In, Ga)Se₂ absorber fabricated by multi layer precursor method for improvement of its photovoltaic performance”, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 133 (2015) 223-228.
- (1 6) J. Chantana, D. Hironiwa, T. Watanabe, S. Teraji, K. Kawamura and T. Minemoto; “Estimation of open-circuit voltage of Cu(In, Ga)Se₂ solar cells before cell fabrication”, Renewable Energy, 76 (2015), 575-581.
- (1 7) Masao Sakane, Takamoto Itoh, Hideyuki Kanayama; “Effect of Multiaxial Stress on Low Cycle Fatigue”, International Journal of the Japan Society of Mechanical Engineering, (2014) in printing.
- (1 8) Naomi Hamada, Masao Sakane, Takamoto Itoh, Hideyuki Kanayama; “High Temperature Nonproportional Low Cycle Fatigue Using Fifteen Loading Paths”, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, (2014), in printing.
- (1 9) Takahiro Morishita, Shuli Liu, Takamoto Itoh, Masao Sakane, Hideyuki Kanayama, Masahiro Sakabe, Norio Takeda, “Fatigue Failure Life of SS400 Steel under Non-proportional Loading in High Cycle Region”, Advanced Materials Research, 11 (2014), pp. 1385-1390
- (2 0) Shuli Liu, Takamoto Itoh, Noriyuki Fuji; “Visualization of Multiaxial Stress/Strain State and Evaluation of Failure Life by Developed Analyzing Program under Non-proportional Loading”, Advanced Materials Research, 11 (2014), pp. 1391-1396
- (2 1) Hidetoshi Kobayashi, Keitaro Horikawa, Kinya Ogawa and Keiko Watanabe: “Impact Compressive and Bending Behaviour of Rocks Accompanied by Electromagnetic Phenomena”, Philosophical Transactions of The Royal Society A, Vol.372 (2014), 20130292.
- (2 2) Keiko Watanabe, Syungo Fukuma, Tadashi Yoshisaka and Hidetoshi Kobayashi: “Penetration Velocity Measurement in Sands Using Magnet-Coil Gages, Applied Mechanics and Materials”, Vol. 566 (2014), pp.371-376.
- (2 3) Akifumi Yoshimoto, Hidetoshi Kobayashi, Keitaro Horikawa, Keiko Watanabe and

Kinya Ogawa: “Dynamic and Quasi-static Compressive Deformation Behaviour of Polyimide Foam at Various Elevated Temperature”, Applied Mechanics and Materials, Vol. 566 (2014), pp.158-163.

- (2 4) Mie Ota, Kiichi Sawai, Mitsuhiro Kawakubo, Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama: “Harmonic structure formation and deformation behavior in a ($\alpha + \gamma$) two phase stainless steel”, Materials Science and Engineering, Vol.63 (2014), doi:10.1088/1757-899X/63/1/012027
- (2 5) Sanjay Kumar Vajpai, Kei Ameyama, Mie Ota, Tomoyuki Watanabe, Ryo Maeda, Tatsuya Sekiguchi, Guy Dirras and David Tingaud: “High performance Ti-6Al-4V alloy by creation of harmonic structure design”, Materials Science and Engineering, Vol.63 (2014), doi:10.1088/1757-899X/63/1/012030
- (2 6) Mie Ota, Keisuke Shimojo, Shun Okada, Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama: “Harmonic Structure Design and Mechanical Properties of Pure Ni Compact”, Journal of Powder Metallurgy & Mining, vol.3, No.1 (2014), doi:0.4172/2168-9806.1000122
- (2 7) Mie Ota, Sanjay Kumar Vajpai, Ryota Imao, Kazuaki Kurokawa and Kei Ameyama: “Application of High Pressure Gas Jet Mill Process to Fabricate High Performance Harmonic Structure Designed Pure Titanium”, Journal of Materials Transactions, vol.56, No.1 (2015), pp.154-159. doi:10.2320/matertrans.M2014280
- (2 8) Sanjay Kumar Vajpai, Mie Ota, Tomoyuki Watanabe, Ryo Maeda, Tatsuya Sekiguchi, Takayuki Kusaka and Kei Ameyama: “The Development of High Performance Ti-6Al-4V Alloy via a Unique Microstructural Design with Bimodal Grain Size Distribution”, Metallurgical and Materials Transactions A, (2014), doi:10.1007/s11661-014-2649-7
- (2 9) Yanbo Sun, Sanjay Kumar Vajpai, Kei Ameyama and Chaoli Ma: “Fabrication of multilayered Ti–Al intermetallics by spark plasma sintering”, Journal of Alloys and Compounds, Vol.585, No.2 (2014), pp.734–740.
- (3 0) Choncharoen Sawangrat, Osamu Yamaguchi, Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama: “Application of Harmonic Structure Design to Biomedical Co-Cr-Mo alloy for improved mechanical properties”, J. Materials Transactions, Vol.55, (2014), pp.99-105.
- (3 1) Ruixiao Zheng, Yanbo Sun, Kei Ameyama and Chaoli Ma: “Optimizing the strength and ductility of spark plasma sintered Al2024 alloy by conventional thermo-mechanical treatment”, Materials Science & Engineering A, Vol.590, (2014), pp. 147-152.
- (3 2) Shoichi Kikuchi, Yuta Nakamura, Akira Ueno and Kei Ameyama: “Development of Low Temperature Nitriding Process and Its Effects on the 4-points Bending Fatigue Properties of Commercially Pure Titanium”, Advanced Materials Research, Vols. 891-892, (2014), pp.656-661.
- (3 3) Lydia Anggraini, Ryohei Yamamoto, Kazuma Hagi, Hiroshi Fujiwara and Kei Ameyama: “Improving Mechanical Properties of Ceramic Composites by Harmonic Microstructure Control”, Advanced Materials Research, Vol. 896, (2014), pp.570-573.

- (3 4) Zhe Zhang、 Sanjay Kumar Vajpai、 Dmitry Orlov and Kei Ameyama: “Improvement of mechanical properties in SUS304L steel through the control of bimodal microstructure characteristics”、 Materials Science & Engineering A、 Vol. 598、 (2014)、 pp.106-113.
- (3 5) Choncharoen Sawangrat、 Shota Kato、 Dmitry Orlov and Kei Ameyama: “Harmonic-structured copper: performance and proof of fabrication concept based on severe plastic deformation of powders”、 Journal of Materials Science、 No.5 (2014)、 DOI 10.1007/s10853-014-8258-4
- (3 6) Yasuhiro Kanoko、 Kei Ameyama、 Shigeo Tanaka and Benjamin Hefler: “PRODUCTION OF ULTRA-THIN POROUS METAL PAPER BY APPLYING THE FIBRE SPACE HOLDER METHOD”、 Powder Metallurgy、 Vol.57、 No.3 (2014)、 pp.168-170.
- (3 7) Y Tsuzuki、 H Fujiwara、 H Miyamoto and Kei Ameyama: “Deformation behavior of high speed steel/low Carbon steel composite with harmonic structure by MM/SPS process”、 Materials Science and Engineering、 Vol.63、 (2014)、 doi:10.1088/1757-899X/63/1/012029
- (3 8) Z. Zhang、 D. Orlov、 S. K. Vajpai、 B. Tong and Kei Ameyama: “Importance of Bimodal Structure Topology in the Control of Mechanical Properties of a Stainless Steel”、 J. Advanced Engineering Materials、 (2014)、 DOI: 10.1002/adem.201400358
- (3 9) Choncharoen Sawangrat、 Osamu Yamaguchi、 Sanjay Vajpai and Kei Ameyama: “Harmonic structure design of Co-Cr-Mo alloy with outstanding mechanical properties”、 Advanced Materials Research、 Vol.939、 (2014)、 pp.60-67.
- (4 0) Nurul Nadia MEHMUD、 Sanjay Kumar Vaipai and Kei Ameyama: “Fabrication of Ytria Stabilized Zirconia-Silicon Carbide Composites with High Strength and High Toughness by Spark Plasma Sintering of Mechanically Milled Powders”、 J. Materials Transactions、 Vol. 55、 No.12 (2014)、 pp.1827-1833.
- (4 1) R Yoshida、 T Tsuda、 H Fujiwara、 H Miyamoto and K Ameyama: “Annealing Effect on Mechanical Properties of Ti-Al Alloy/Pure Ti Harmonic-Structured Composite by MM/SPS Process”、 Materials Science and Engineering、 Vol. 63、 (2014)、 doi:10.1088/1757-899X/63/1/012031
- (4 2) Mie Ota、 Sanjay Kumar Vajpai、 Kazuaki Kurokawa、 Tomoyuki Watanabe、 Kei Ameyama and Guy Dirras: “Creation of High Performance Ti and Ti-6Al-4V via Harmonic Structure Design Approach”、 New Frontiers of Nanomaterials、 ED. By S. Faester、 N. Hanse、 D. J. Jensen、 B. Ralpf and J. Sun (2014)、 pp.421-427.
- (4 3) Kusaka, T., Kono, T., Nomura, Y., Wakabayashi, H.: “Dynamic Compression Test of CFRP Laminates Using SHPB Technique”, Applied Mechanics and Materials, 566 (June, 2014), 122-127.
- (4 4) 日下貴之、河野孝典、野村泰稔、若林宏樹: “SHPB 法を用いた CFRP 積層材の衝撃圧縮試験法”, 材料, 63-5 (May, 2014), 362-367.

<著書>

- (1) 稲田康宏・片山真祥、「XAFS/EELS 局所構造解析」、情報機構、59-66 (2014).
- (2) 日下貴之、「衝撃（動的）破壊じん性とその評価法」「衝撃工学の基礎と応用」、横山隆編、(May, 2014)、61-74.

<国際会議・論文>

- (1) Aya Fujii、Shisou Yoshimura (Mou)、Tsuyoshi Hashishin、Chihiro Yogi、Tomoe Sanada、Kazuo Kojima; “Preparation of Pt-loaded WO₃ photocatalysts with different types of morphology and degradation of organic compounds”、The Seventh Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT7)、Kyoto (Japan)、2014 年 6 月.
- (2) Aya Fujii、Zhicong Meng、Tomoe Sanada、Takeshi Hashishin、Kazuo Kojima; “Preparation of Pt-loaded WO₃ with different types of morphology and photocatalytic degradation of methylene blue”、NANOSMAT 9th International Conference on Surfaces、Coatings and Nanostructured Materials、Dublin (Ireland)、2014 年 9 月.
- (3) Aya Fujii、Zhicong Meng、Chihiro Yogi、Takeshi Hashishin、Tomoe Sanada、Kazuo Kojima; “Preparation of Pt-loaded WO₃ and degradation mechanism of methylene blue”、3rd International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard Materials (Soft/Hard 2014)、Kusatsu (Japan)、2014 年 11 月.
- (4) Y. Nanishi、T. Yamaguchi and T. Araki; “DERI Method; Possible Approach to Longer Wavelength Light Emitters Based on Nitride Semiconductors”、6th Forum on New Materials (CIMTEC2014)、(2014.6)、Tuscany Italy.
- (5) M. Sakamoto、K. Wang、T. Araki、Y. Nanishi and E. Yoon; “Study on Thickness Dependence of Composition and Strain Relaxation of RF-MBE Grown In-rich InGaN”、56th Electronic Materials Conference (EMC 2014)、(2014. 6) Santa Barbara、California USA
- (6) Y. Nanishi、T. Yamaguchi、T. Araki、A. Uedono and T. Palacios; “Plasma Induced Point Defects in InN During RF-MBE Growth and Those Reduction by DERI Method”、Defects in Semiconductors Gordon Research Conference (2014.8) Waltham、MA USA
- (7) T. Yamaguchi、K. Narutani、T. Onuma、T. Araki、T. Honda、Y. Nanishi; “RF-MBE Growth of GaInN Films Using DERI Method and Fabrication of Homo Junction-Type LED Structures”、6th International Symposium on Functional Materials (ISFM 2014) (2014.8) Singapore Singapore.
- (8) N. Masuda、T. Kobayashi、T. Araki、Y. Nanishi、M. Oda、T. Hitora; “RF-MBE Growth of Nitride Semiconductors on α -In₂O₃/Sapphire”、International Workshop on Nitride Semiconductor 2014 (2014.8) Wroclaw Poland.
- (9) T. Araki、T. Yamaguchi and Y. Nanishi; “RF-MBE Growth of InN and InGaN Ternary Alloys Using DERI”、19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-19)

(2014.9) Niigata Japan.

- (1 0) J. Chantana、 D. Hironiwa、 T. Watanabe、 S. Teraji、 K. Kawamura、 T. Minemoto、
“Raman Peak Position of Cu(In, Ga)Se₂ Film for Predication of Ga/(In+Ga) Content near Its Surface
and Open-Circuit Voltage”、 2014 European Material Research Society Spring Meeting (Lille、
France、 May 2014)
- (1 1) D. Hironiwa、 N. Sakai、 T. Katou、 H. Sugimoto、 R. Takai、 J. Chantana、
T. Minemoto; “Impact of Annealing Treatment Before Buffer Layer Deposition on
Cu₂ZnSn(S, Se)₄ Solar Cell”、 2014 European Material Research Society Spring
Meeting (Lille、 France、 May 2014)
- (1 2) Z. Tang、 Y. Nukui、 K. Kosaka、 N. Ashida、 H. Uegaki、 T. Minemoto;
“Influencing Factors on Carrier Concentration in Cu₂SnSe₃ Thin Films”、 Grand
Renewable Energy 2014 (Tokyo、 Japan、 July 2014)
- (1 3) J. Chantana、 D. Hironiwa、 T. Watanabe、 S. Teraji、 K. Kawamura、 T. Minemoto;
“Bismuth-doped Cu(In, Ga)Se₂ absorber prepared by multi-layer precursor method and its solar
cell”、 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (Niigata、 Japan、
September 1-5)
- (1 4) T. Minemoto; “Development of chalcogenide compound semiconductors for solar cell
applications”、 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (Niigata、
Japan、 September 1-5)
- (1 5) J. Chantana、 D. Hironiwa、 Z. Tang、 T. Watanabe、 S. Teraji、 K. Kawamura、 T.
Minemoto; “Importance of Precursor Deposition Temperature of Cu(In, Ga)Se₂ Films under
Multi-Layer Precursor Method”、 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion
(Kyoto、 Japan、 Nov. 2014).
- (1 6) Z. Tang、 J. Chantana、 Y. Nukui、 K. Kosaka、 H. Uegaki、 T. Minemoto、 “Reaction
paths for formation of Cu₂SnSe₃ films by selenization of Cu-Sn precursors”、 6th World Conference
on Photovoltaic Energy Conversion (Kyoto、 Japan、 Nov. 2014).
- (1 7) T. Minemoto; “High efficiency design of chalcogenide solar cells and its application to
new material”、 Global Photovoltaic Conference 2014 (Nov. 11、 2014、 Busan).
- (1 8) Kazuhisa Ando、 Tadashi Yoshisaka、 Keiko Watanabe: “Dynamic Behavior under
High-Speed Penetration of Projectile into Sand”、 3rd International Symposium on Functionalization
and Applications of Soft/Hard Materials (Soft/Hard 2014)、 Shiga、 2014 年 11 月.
- (1 9) Koki Umeda、 Kosuke Mizoi、 Keiko Watanabe、 Hiroyuki Yamada、 Nagahisa
Ogasawara: “Experiment and Numerical Analysis of Vibration on Impact Load Cell for Foam
Structure”、 3rd International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard
Materials (Soft/Hard 2014)、 Shiga、 November、 2014.
- (2 0) Yuya Egawa、 Peter Gardiner、 Keiko Watanabe: “Development and Performance
Evaluation of Diaphragmless Vertical Gas Gun”、 3rd International Symposium on Functionalization

and Applications of Soft/Hard Materials (Soft/Hard 2014), Shiga, November, 2014.

- (2 1) Koki Umeda, Takanari Sakai, Keiko Watanabe: “Investigation of Crater Formation Mechanism on Aluminum Foam under High-speed Impact”, 4th International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard Materials / 8th German-Japanese / 8th International Symposium on Nanostructures, Kyoto, March, 2015.
- (2 2) Kazuaki Kurokawa, Hikaru Kawabata, Tomoyuki Watanabe, Mie Ota, Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama: “Structure and mechanical properties of pure-Ti with harmonic structure by High Pressure Gas Milling Process”, Proceedings of the 13th Advances in Materials & Processing Technology Conference (AMPT2014)
- (2 3) Tomoyuki Watanabe, Ryo Maeda, Kazuaki Kurokawa, Mie Ota, Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama: “Harmonic Structure Design of Ti-6Al-4V Alloy by High Pressure Gas Milling Process”, Proceedings of the 13th Advances in Materials & Processing Technology Conference (AMPT2014)
- (2 4) Osamu Yamaguchi, Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama: ”Deformation Mechanism of Harmonic Structure Designed Co-Cr-Mo Alloy”, Proceedings of the 13th Advances in Materials & Processing Technology Conference (AMPT2014)
- (2 5) Han Yu, Ikumu Watanabe, Kei Ameyama: “Deformation Behavior Analysis of Harmonic Structure Materials by Multi-Scale Finite Element Analysis”, Proceedings of the International Conference on Advances in Materials (ICAM 2014)
- (2 6) Nurul Nadiah MAHMUD, Mie OTA, Sanjay K. VAJPAI, Kei Ameyama: “Preparation of SiC/YSZ Composites with High Strength and High Toughness”, The 9th International Materials Technology Conference and Exhibition (IMTCE 2014), Kuala Lumpur, Malaysia, 2014.5.13-16
- (2 7) Nur Zalikha Binti KHALIL, Sanjay K. VAJPAI, Mie OTA, Kei Ameyama: “Microstructure and Mechanical Properties of SiC Compacts Produced by Mechanical Milling and Spark Plasma Sintering”, The 9th International Materials Technology Conference and Exhibition (IMTCE 2014), Kuala Lumpur, Malaysia, 2014.5.13-16
- (2 8) Bhupendra Sharma, Sanjay Kumar VAJPAI, Kei Ameyama: “Development of New Powder Metallurgy route to fabricate a Ti-Nb Beta-Titanium alloy”, The 4th International Conference on Engineering and Applied Sciences (ICEAS 2014), Hokkaido, JAPAN, 2014.7.22-24
- (2 9) Han Yu, Kei Ameyama, Mie Ota, Sanjay Kumar Vajpai, Zhe Zhang, Bo Tong, Tomoyuki Watanabe, Ikumu Watanabe: “Deformation Behavior Analysis of Harmonic Structure Materials by FEM and DIC method”, The 4th International Conference on Engineering and Applied Sciences (ICEAS 2014), Hokkaido, JAPAN, 2014.7.22-24
- (3 0) Sanjay Kumar Vajpai, Kei Ameyama: “Synthesis and Evaluation of Structural Biomaterials with Unique Bimodal Harmonic Structure Design”, 3rd International Symposium on

Functionalization and Applications of Soft/Hard materials、 Ritsumeikan University、 Shiga、 2014.11.7-8

- (3 1) Bhupendra Sharma 、 Sanjay Kumar Vajpai、 Kei Ameyama: “Fabrication of Ti-Nb β -Titanium alloy by following an innovative powder metallurgy route”、 3rd International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard materials、 Ritsumeikan University、 Shiga、 2014.11.7-8
- (3 2) Han Yu、 Kei Ameyama、 Ikumu Watanabe: “Multi-scale Finite Element Analysis of Harmonic Structure Materials”、 3rd International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard materials、 Ritsumeikan University、 Shiga、 2014.11.7-8
- (3 3) Nur Zalikha Binti Khalil、 Sanjay Kumar VAJPAI、 Mie OTA、 Kei Ameyama: “Effect of Particle Size Distribution and Particle Morphology on Sinterability of SiC Ceramic”、 3rd International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard materials Ritsumeikan University、 Shiga、 2014.11.7-8
- (3 4) Han Yu、 Ikumu Watanabe、 Kei Ameyama: “Deformation Behavior Analysis of Harmonic Structure Materials by Multi-Scale Finite Element Analysis”、 2014 International Conference on Advances in Materials (ICAM 2014)、 Shanghai、 CHINA、 2014.12.13-14
- (3 5) Muhammad, A.B.A.H., Kusaka, T, Miyazaki, T., Arimitsu, K.: “Effect of Loading Rate on Fatigue Crack Growth in Carbon Fiber Reinforced Plastics Adhesive Joint”, 3rd International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard Materials, November 6-9, 2014, (Kusatsu, Japan).
- (3 6) Zailani, S., Kusaka, T., Tanegashima, R., Kawamura, Y., Wakabayashi, H.: “Experimental Method for Evaluating the Energy Absorption Capability of CFRP Laminates”, 3rd International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard Materials, November 6-9, 2014, (Kusatsu, Japan).
- (3 7) Oshima, S., Kusaka, T., Tanegashima, R.: “Improvement of Accuracy of Crack Detection System for Concrete Structures Using Non-contact Displacement Measurement”, 3rd International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard Materials, November 6-9, 2014, (Kusatsu, Japan).
- (3 8) Muhammad, A.B.A.H., Kusaka, T, Tanegashima, R.: “Loading Rate Effects on Fatigue Crack Growth Behaviour of CFRP Adhesive Joints under Mixed Mode Conditions”, 8th International Symposium on Nanostructures, March 1-3, 2015, (Kyoto, Japan).
- (3 9) Oshima, S., Kusaka, T., Tanegashima, R.: “Development of Crack Detection System Based on DIC Method Using Flexible Nodes Arrangement”, 8th International Symposium on Nanostructures, March 1-3, 2015, (Kyoto, Japan).
- (4 0)

<解説・総説論文>

(1) なし

<国内学会>

- (1) 片山真祥、宮原良太、渡邊稔樹、山下翔平、稲田康宏、「鉛直方向波長分散型 XAFS 法の開発と時間・空間分解解析への応用」、第 17 回 XAFS 討論会、徳島、2014 年 9 月.
- (2) 宮田伸弘、豊田健治、日野上麗子、渡邊稔樹、片山真祥、稲田康宏、「デラフォサイト型酸化物における d 電子スピン状態」、第 17 回 XAFS 討論会、徳島、2014 年 9 月.
- (3) 山下翔平、山本悠策、片山真祥、稲田康宏、「担持ニッケル粒子の表面酸化反応に関する速度論的解析」、第 17 回 XAFS 討論会、徳島、2014 年 9 月.
- (4) 山本悠策、山下翔平、片山真祥、稲田康宏、「In situ XAFS 法によるゾル-ゲル法での担持 Ni 触媒調製過程の解析」、第 17 回 XAFS 討論会、徳島、2014 年 9 月.
- (5) 片山真祥、稲田康宏、「空間分解オペランド観測手法の開発と電極反応解析への応用」、放射光学会第 7 回若手研究会“最先端オペランド観測で明らかになる物性科学”、柏、2014 年 9 月.
- (6) 島田佳奈、片山真祥、稲田康宏、「アルミナに担持した Pd と Cu の固相合金化メカニズム」、第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014、東京、2014 年 10 月.
- (7) 大貫雄弥、宮原良太、片山真祥、稲田康宏、「X 線吸収分光法によるリン酸バナジウムリチウム正極の電極反応解析」、第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014、東京、2014 年 10 月.
- (8) 松岡哲也、山下翔平、片山真祥、稲田康宏、「in-situ XAFS 法によるシリカ担持 Ni 触媒の CO による還元反応の解析」、第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014、東京、2014 年 10 月.
- (9) 宮原良太、片山真祥、稲田康宏、「時空間分解可能な新規波長分散型 XAFS 法の開発」、第 50 回 X 線分析討論会、仙台、2014 年 10 月.
- (10) 片山真祥、稲田康宏、「立命館 SR センター XAFS ビームラインを用いた触媒と電池の反応解析」、合同シンポジウム 2014～放射光とレーザーの協働による新産業創成～、神戸、2014 年 11 月.
- (11) 宮原良太、片山真祥、稲田康宏、「正極反応の時空間分解解析に向けた新しい波長分散型 XAFS 法の開発」、第 55 回電池討論会、京都、2014 年 11 月.
- (12) 山本悠策、山下翔平、片山真祥、稲田康宏、「担持 Ni 粒子の酸化還元特性に及ぼす粒子サイズ効果」、第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、草津、2015 年 1 月.
- (13) 渡邊稔樹、片山真祥、稲田康宏、「転換電子収量 XAFS による形状制御した担持 Cu₂O 粒子の表面還元反応」、第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、草津、2015 年 1 月.
- (14) 島田佳奈、片山真祥、稲田康宏、「パラジウム銅合金触媒の生成に対する前駆体組成の効果」、第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、草津、2015 年 1 月.

- (15) 和田憲幸、片山真祥、眞田智衛、小堤和彦、小島一男、稲田康宏、「酸化物ガラス中における Mn イオンの局所構造」、第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、草津、2015 年 1 月。
- (16) 大坪寛太、片山真祥、稲田康宏、「ゼオライトに担持した Ni(II)イオンの吸着状態の解析」、第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、草津、2015 年 1 月。
- (17) Siwaruk Chotiwan, Hiroki Tomiga, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, “Thermodynamic and kinetic study on redox reaction of silica supported cobalt catalysts”, 第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、草津、2015 年 1 月。
- (18) 辻孝祐、与儀千尋、片山真祥、稲田康宏、藤岡大毅、太田俊明、小島一男、「正極活物質 $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ のゾルーゲル法による作製と評価」、電気化学会第 82 回大会、横浜、2015 年 3 月。
- (19) 鈴木淳司、山下翔平、片山真祥、稲田康宏、「希薄なシリカ担持 Ni 触媒の酸化還元特性」、日本化学会第 95 春季年会、船橋、2015 年 3 月。
- (20) 石井駿平、片山真祥、稲田康宏、「メソポーラスシリカに担持した Co 触媒の酸化還元特性」、日本化学会第 95 春季年会、船橋、2015 年 3 月。
- (21) 藤井亜耶、吉村志聡、与儀千尋、藤岡大毅、眞田智衛、小島一男、“形状制御した Pt 担持 WO_3 の液相・気相での光触媒特性”、『第 4 回 CSJ フェスタ』(タワーホール船堀)、2014 年 10 月。
- (22) 藤井亜耶、吉村(孟)志聡、橋新剛、与儀千尋、眞田智衛、小島一男、“形態制御した Pt 担持 WO_3 粉末の作製とメチレンブルー分解活性評価”、『第 21 回シンポジウム「光触媒反応の最近の展開」』(東大先端研)、2014 年 12 月。
- (23) 辻孝祐、与儀千尋、片山真祥、稲田康弘、藤岡大毅、太田俊明、小島一男、“正極活物質 $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ のゾルーゲル法による作製と評価”、『電気化学会第 82 回大会』(横浜国立大学)、2015 年 3 月。
- (24) 水本 雄太、廣庭大輔、Jakapan Chantana、峯元高志、“バッファフリー Cu(In, Ga)Se₂ 薄膜太陽電池の特性と接合界面”、第 11 回「次世代の太陽光発電」シンポジウム(宮崎、2014 年 6 月)
- (25) 新井 裕之、廣庭 大輔、新澤 雄高、峯元 高志、“ZnO:Al/ Cu(In, Ga)Se₂ 接合のスパッタダメージ依存性”、第 11 回「次世代の太陽光発電」シンポジウム(宮崎、2014 年 6 月)
- (26) 松尾寿大、廣庭大輔、石崎雄也、酒井紀行、加藤 拓也、杉本 広紀、峯元 高志、“フォトルミネッセンスを用いた $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}, \text{Se})_4$ 太陽電池のスパッタダメージの定量化”、第 11 回「次世代の太陽光発電」シンポジウム(宮崎、2014 年 6 月)
- (27) 上野晃平、安藤妙子、「ナノスケール単結晶 Si の脆性-延性遷移温度の寸法依存性」、平成 27 年電気学会全国大会、2015 年 3 月

- (28) 安藤和玖、吉坂正、渡辺圭子、「砂への高速物体貫入における力学的挙動、日本機械学会 M&M2014 材料力学カンファレンス」、福島、2014 年 7 月。
- (29) 梅田晃樹、溝井公亮、モハマド・ズルフィ、渡辺圭子、山田浩之、小笠原永久、「発泡構造体用衝撃荷重測定装置の荷重振動現象の実験および解析的検討」、日本機械学会 M&M2014 材料力学カンファレンス、福島、2014 年 7 月。
- (30) 江川祐也、梅田晃樹、渡辺圭子、「縦型無隔膜ガス銃の開発及び性能評価」、日本機械学会 M&M2014 材料力学カンファレンス、福島、2014 年 7 月。
- (31) 山田浩之、立山耕平、小笠原永久、渡辺圭子、小川欽也、「ロードセル対向式落錘試験装置を用いた発泡構造体の動的圧縮特性評価」、第 58 回日本学術会議材料工学連合講演会、京都、2014 年 10 月。
- (32) 山田浩之、小笠原永久、立山耕平、梅田晃樹、渡辺圭子、「全変形速度対応型ロードセルの開発および評価」、日本機械学会 第 27 回計算力学講演会 (CMD2014)、岩手、2014 年 11 月。
- (33) ガーディナー ピーター、江川祐也、渡辺圭子、「縦型無隔膜ガス銃の性能評価」、関西学生会平成 26 年度学生員卒業研究発表講演会、京都、2015 年 3 月。
- (34) 阪井孝成、梅田晃樹、渡辺圭子、「超高速衝突時に発生するプラズマの計測」、関西学生会平成 26 年度学生員卒業研究発表講演会、京都、2015 年 3 月。
- (35) 松島亘志、渡辺圭子、「高速圧縮破砕を受ける砂層に対するユゴニオ状態方程式の土質力学的解釈」、第 17 回応用力学シンポジウム、応用力学論文賞受賞講演、沖縄、2014 年 5 月。
- (36) 渡辺圭子、吉坂正、「砂中貫入速度および姿勢計測を精緻化するための基礎研究」、宇宙科学に関する室内実験シンポジウム、神奈川、2015 年 2 月。
- (37) 渡辺圭子:「分野横断を目指した衝撃研究」、第 138 回衝撃部門委員会及び講演会、京都、2015 年 3 月。
- (38) Yu HAN、飴山恵、渡邊育夢、「マルチスケール有限要素法による調和組織材料の力学特性の解析」、粉体粉末冶金協会平成 26 年度春季大会、早稲田大学国際会議場、東京、2014. 6. 3-5
- (39) 岡田駿、下城啓佑、太田美絵、飴山恵、「調和組織制御された純 Ni の組織形成と変形挙動」、粉体粉末冶金協会平成 26 年度春季大会、早稲田大学国際会議場、東京、2014. 6. 3-5
- (40) 佐原貴行、瀬尾卓弘、太田美絵、飴山恵、「押出成形により作製した純アルミニウム調和組織制御材料の組織と機械的性質」、粉体粉末冶金協会平成 26 年度春季大会、早稲田大学国際会議場、東京、2014. 6. 3-5
- (41) 須藤大和、Choncharoen Sawangrat、加藤翔太、太田美絵、飴山恵、「純銅の力学特性に及ぼす調和組織の役割」、粉体粉末冶金協会平成 26 年度春季大会、早稲田大学国際会議場、東京、2014. 6. 3-5
- (42) 川畑光、黒川和晃、太田美絵、飴山恵、「Jet Mill 法による純チタン調和組織制

御材料の創製」、粉体粉末冶金協会平成 26 年度春季大会、早稲田大学国際会議場、東京、2014. 6. 3-5

- (43) 前田亮、渡邊智之、太田美絵、飴山恵、「調和組織制御された Ti-6Al-4V 合金の微視的組織形成と変形挙動」、粉体粉末冶金協会平成 26 年度春季大会、早稲田大学国際会議場、東京、2014. 6. 3-5
- (44) 太田美絵、澤井貴一、川久保光洋、飴山恵、「調和組織制御された二相ステンレス鋼のネットワーク構造が機械的特性におよぼす影響」、粉体粉末冶金協会平成 26 年度春季大会、早稲田大学国際会議場、東京、2014. 6. 3-5
- (45) 澤井貴一、水谷南、太田美絵、飴山恵、「SPD-PM プロセスにより調和組織制御された純鉄の特異な変形挙動」、粉体粉末冶金協会平成 26 年度春季大会、早稲田大学国際会議場、東京、2014. 6. 3-5
- (46) 山口理、Choncharoen Sawangrat、Sanjay Kumar Vajpai、飴山恵、「Co-Cr-Mo 調和組織材料の室温での変形挙動」、日本鉄鋼協会第 168 回秋季講演大会、名古屋大学、愛知、2014. 9. 24-26
- (47) 黒川和晃、川畑光、前沢英典、太田美絵、飴山恵、「ジェットミルプロセスにより作製した純チタン調和組織材の組織と機械的特性」、日本鉄鋼協会第 168 回秋季講演大会、名古屋大学、愛知、2014. 9. 24-26
- (48) 渡邊智之、前田亮、畠翔也、太田美絵、Sanjay Vajpai、飴山恵、「Ti-6Al-4V 合金のジェットミリングプロセスによる調和組織制御」、日本鉄鋼協会第 168 回秋季講演大会、名古屋大学、愛知、2014. 9. 24-26
- (49) 中鉢達也、飴山恵、「湿式ミリングによる SiC/YSZ 調和組織複合材料の作製」、日本鉄鋼協会第 168 回秋季講演大会 学生ポスターセッション、名古屋大学、愛知、2014. 9. 24-26
- (50) 飴山恵、「調和組織制御による革新的力学特性を有する金属材料の創製とその特性発現機構の解明」、JST 産学共創基礎基盤研究プログラム「ヘテロ構造制御」公開シンポジウム、「ヘテロ構造制御で起こすイノベーションー構造用金属材料の新指導原理ー」、名古屋大学、愛知、2014. 9. 24-26
- (51) 太田美絵、飴山恵、「調和組織制御による革新的力学特性を有する金属材料の創製とその特性発現機構の解明」、JST 産学共創基礎基盤研究プログラム「ヘテロ構造制御」H26 キックオフ、鉄鋼会館、東京、2014. 10. 24
- (52) 畠翔也、渡邊智之、前田亮、太田美絵、Sanjay Kumar Vajpai、飴山恵、「ジェットミリング法により調和組織制御された Ti-6Al-4V 合金の変形挙動」第五十八回日本学術会議材料工学連合講演会、京都テルサ、京都、2014. 10. 27-28
- (53) 増田一樹、下城啓佑、岡田駿、太田美絵、飴山恵、「純 Ni 調和組織材料の変形機構」、第五十八回日本学術会議材料工学連合講演会、京都テルサ、京都、2014. 10. 27-28
- (54) 太田美絵、澤井貴一、水谷南、太田美絵、飴山恵、「調和組織制御された純鉄の特異な変形挙動と組織因子」粉体粉末冶金協会平成 26 年度秋季大会、大阪大学コンベンシ

ョンセンター、吹田市、2014. 10. 29-31

- (55) 佐原貴行、太田美絵、飴山恵、「アルミニウム調和組織材料の組織と力学特性」
軽金属学会第127回秋季大会、東京工業大学、東京、2014. 11. 15-16
- (56) 川畑光、黒川和晃、前沢英典、太田美絵、飴山恵、「純チタン調和組織材料の Jet
Mill 法による創製」、軽金属学会第127回秋季大会、東京工業大学、東京、2014. 11. 15-16
- (57) 太田美絵、澤井貴一、水谷南、上田大記、飴山恵、「Fe 調和組織材の特異な変形
挙動」、日本金属学会2015年春期(第156回)大会、東京大学、東京、2015. 3. 18-20
- (58) Bhupendra Sharma、Sanjay Kumar Vajpai、飴山恵、「Fabrication of Ultra Fine
Grained Beta-Titanium alloy by following an Novel Powder Metallurgy approach」、日
本金属学会2015年春期(第156回)大会、東京大学、東京、2015. 3. 18-20
- (59) Nur Zalikha Binti Khalil、Sanjay Kumar Vajpai、太田 美絵、飴山恵、
「Relationship between Grain Size Coefficient of Variation on Mechanical Properties
of SiC Compacts」、日本金属学会2015年春期(第156回)大会、東京大学、東京、2015. 3. 18-20
- (60) Yu Han、飴山恵 渡邊育夢、「Deformation Behavior Analysis of Harmonic and
Heterogeneous Bimodal Structured Compacts Based on Multi-Scale FEM」、日本金属学会
2015年春期(第156回)大会、東京大学、東京、2015. 3. 18-20
- (61) 野村泰稔、寺元丈雄、日下貴之、「融合粒子フィルタに基づくデータ同化技術
を利用した構造同定と未観測 データの取得」、第63期学術講演会、福岡大学(福岡市)、May
17-18、2014.
- (62) 岡 直輝、湯浅嵩之、日下貴之、種子島亮太:「ランプ入力波を用いた CFRP
接着接合継手の混合モード衝撃破壊じん性評価」、M&M 2014 材料力学カンファレンス、福
島大学(福島市)、July 18-21、2014.
- (63) 河村祐貴、Zailani、S.、日下貴之、種子島亮太、若林宏樹、「SHPB 法を用
いた CFRP 積層材のエネルギー吸収特性評価」、M&M 2014 材料力学カンファレンス、福島大
学(福島市)、July 18-21、2014.
- (64) 河村祐貴、Zailani、S.、日下貴之、種子島亮太、若林宏樹、「CFRP 積層材
の衝撃エネルギー吸収特性の実験的評価」、第59回 FRP CON-EX2014 講演会、京都工芸繊維
大学(京都市)、October 2-3、2014.
- (65) Zailani、S.、河村祐貴、日下貴之、種子島亮太、若林宏樹、「衝撃荷重下
における CFRP 積層材の圧縮挙動の実験的評価」、第56回日本学術会議材料工学連合講演会、
京都テルサ(京都市)、October 27-28、2014.
- (66) 日下貴之、「CFRP の衝撃破壊現象とその評価および対策」、第242回複合材料部門
委員会、東芝機械(沼津市)、November 28、2014.
- (67) 河村祐貴、Zailani、S.、日下貴之、種子島亮太、若林宏樹、「CFRP 積層材
の軸圧壊過程とエネルギー吸収能の実験的評価」、第11回材料の衝撃問題シンポジウム、豊
橋技術科学大学(豊橋市)、November、29-30、2014.
- (68) 岡 直輝、湯浅嵩之、日下貴之、種子島亮太、「SHPB 法を用いた CFRP 接着接

合継手の混合モード破壊じん性評価」、第 11 回材料の衝撃問題シンポジウム、豊橋技術科学大学(豊橋市)、November、29-30、2014.

(69) 宮崎拓也、日下貴之、種子島亮太、「CFRP 接着接合部材の混合モード疲労破壊特性に及ぼす繰返し速度の影響」、第 6 回日本複合材料会議、東京理科大学(東京都)、March 4-6、2015.

(70) Zailani、S.、河村祐貴、日下貴之、種子島亮太、高橋潤平、「CFRP 積層材の衝撃エネルギー吸収特性の実験的評価」、第 6 回日本複合材料会議(日本材料学会)、東京理科大学(東京都)、March 4-6、2015.

<博士論文>

(1) 太田 美絵、「単相ならびに二相系金属材料における調和組織制御プロセスに関する研究」

<修士論文>

(1) 大坪寛太、「種々のゼオライトに対するニッケル(II)イオンのイオン交換状態の解明」

(2) 島田佳奈、「組成の異なるパラジウム銅合金触媒の生成メカニズム」

(3) 辻 孝祐、「リチウムイオン電池高容量正極活物質 $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ の作製と評価」

(4) 藤井 亜耶、「Pt 担持 WO_3 の作製と液相・気相での光触媒活性評価」

(5) 柳井 勝太、「ゾル-ゲル法および W/O エマルジョン法による Eu^{3+} 含有 Ta_2O_5 球状粒子蛍光体の作製と評価」

(6) 内村 智、「RF-MBE 法による $\text{Si}(100)$ 基板上 GaN 結晶成長に関する研究」

(7) 清原 聡介、「KFM による InGaN 表面の In 組成揺らぎ及び GaN 系デバイスの断面電位分布の評価」

(8) 坂本 正洋、「RF-MBE 法を用いた InGaN の膜厚に対する In 組成変化に関する研究」

(9) 柴野 謙太郎、「 Si 基板上縦型深紫外 LED の開発」

(10) 橋本 雄介、「酸化ガリウムの紫外線検出器応用に向けた検討」

(11) 吉村 友孝、「 InN 電子デバイス応用に向けたデバイスプロセスに関する研究」

(12) 村田 雅、「SCAPS を用いた化合物太陽電池のバンドプロファイルの最適化」

(13) 森 匠、「 $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}, \text{Se})_4$ 太陽電池における NaF 後処理の検討」

(14) 水本 雄太、「 $\text{Zn}(\text{O}, \text{S}):\text{Al}/\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ バッファフリー太陽電池の作製と評価」

(15) 小阪 貴一、「 SnS 粉末と S 粉末を用いた硫化法による Cu_2SnS_3 太陽電池の作製」

(16) 高井 諒、「 $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}, \text{Se})_4$ 薄膜太陽電池の Cd 拡散処理による pn 接合形成条件」

(17) 温井 祐喜、「3 ゾーン管状炉を用いた Cu_2SnSe_3 光吸収層の作製と評価」

(18) 溝井 公亮「超高速衝突時における衝撃破壊現象解明のための温度変化機構に関する研究」

(19) 吉坂正、「砂への飛翔体高速貫入実験における挙動計測手法の確立-マグネット・コイル法による電圧出力のモデル化-」

(20) 渡邊智之、「 Ti-6Al-4V 合金の高ひずみ加工による調和組織制御」

- (21) 高橋悠樹、「High Pressure Torsion(HPT)加工された SUS329J1 二相ステンレス鋼の組織形成」
- (22) 川久保光洋、「PM/SPD プロセスによる二相ステンレス鋼の微視的組織制御」
- (23) Nurul Nadiah Binti Mahmud、「Fabrication of Ceramics Composites Materials」
- (24) 黒川和晃、「純チタンの調和組織形成に及ぼすミリングプロセスの影響」
- (25) Zhang Meng、「SUS304L および SUS310S における SPS 条件と微細組織の関係」
- (26) 中島正法、「高エネルギーボールミルによる Si-Ti のメカニカルアロイング」
- (27) 下城啓祐、「無電解 Ni めっきを用いた純 Ni の組織制御と変形挙動」
- (28) Tong Bo、「SUS304L オーステナイト系ステンレス鋼の力学特性に及ぼす調和組織の役割」
- (29) 山口理、「Co-Cr-Mo 合金調和組織材料の組織形成および変形挙動」
- (30) 滝谷友行、「有限要素解析を用いた CFRP 製高圧容器の構造設計」
- (31) 久木祥平、「Ti-6Al-4V 合金の変形挙動に及ぼす調和組織制御の影響」
- (32) 宮崎拓也、「CFRP 接着接合部材の混合モード疲労破壊特性に及ぼす負荷速度の影響」
- (33) 山田輝明、「PZT トランスデューサの圧電特性に及ぼす微視的損傷の影響」
- (34) 湯浅嵩之、「CFRP 接着接合部材の破壊じん性評価に及ぼす非線形変形の影響」
- (35) 吉田和樹、「CFRP 機械接合継手の強度特性に及ぼす繊維配向の影響」

<国際会議基調・招待講演>

- (1) なし

<研究会・勉強会開催状況>

- (1) 名称：3rd International Symposium on Functionalization and Applications of Soft/Hard Materials (Soft/Hard 2014)、場所：ローム記念館、立命館大学びわこくさつキャンパス、滋賀県草津市、日時：2014 年 11 月 7 - 8 日
- (2) 名称：8th German Japanese / 8th International Symposium on Nanostructures、場所：朱雀キャンパス、京都市、日時：2015 年 3 月 1 - 4 日
- (3)

<特許>

- (1) なし

大型研究装置成果報告書

装置名	日立低真空分析走査電子顕微鏡
研究責任者 (所属・役職・氏名)	理工学部・教授・上野 明
研究テーマ	各種材料の微視的組織および破面観察等を通じた材料創成&評価研究
研究の概要	当該顕微鏡は、①日立ハイテクノロジーズ製低真空分析走査電子顕微鏡 SU6600, ②オックスフォード・インストルメンツ製エネルギー分散型X線元素分析装置 EDS, ③オックスフォード・インストルメンツ製電子線後方散乱回折結晶方位解析装置 EBSD から構成されており, ①は各種材料や破面の微視的観察に, ②は微小領域の元素分析に, ③は結晶方位解析や微視領域の変形程度分析などの用いられている. 各装置 (①, ②, ③) を用いることで得られた研究成果の概要を以下に示す. I. SU6600 を用いた研究成果: ・各種破面の観察, き裂寸法の測定 ・破面凹凸の3次元化, FRASTA 解析 ・試料表面性状の観察 など II. EDS を用いた研究成果: ・各種材料の化学成分分析 ・材料中の元素分布分析 など III. EBSD を用いた研究成果: ・結晶方位解析 ・集合組織生成状態分析 ・結晶粒径解析 ・内部ひずみ解析 など

利用成果	SEM を用いた材料組織・破面観察, EDS を用いた化学組成分析, EBSD を用いた結晶方位解析等で貴重な研究成果を多く得た. 装置利用時間が特に多い2研究室の当該装置を用いた結果を含む研究成果を以下に示す. 【論文】 1. Benjamin Guennec, Akira Ueno, Tatsuo Sakai, Masahiro Takanashi, Yu Itabashi and Mie Ota, "Dislocation-based Interpretation on the Effect of the Loading Frequency on the Fatigue Properties of JIS S15C Low Carbon Steel", <i>International Journal of Fatigue</i>, Vol.70, pp.328-341, 2015. 2. Shoichi Kikuchi, Yuta Nakamura, Akira Ueno and Kei Ameyama, "Development of Low Temperature Nitriding Process and Its Effects on the 4-points Bending Fatigue Properties of Commercially Pure Titanium", <i>Advanced Materials Research</i>, No.891-892, pp.656-661, 2014. 3. Benjamin Guennec, Akira Ueno, Tatsuo Sakai, Masahiro Takanashi and Yu Itabashi, "Effect of the Loading Frequency on Fatigue Properties of JIS S15C Low Carbon Steel and Some Discussions Based on Micro-plasticity Behavior", <i>International Journal of Fatigue</i>, Vol.66, pp.29-38, 2014. 4. Masahiro Nawa, Naoki Kurizoe, Yasunori Okamoto and Akira Ueno, "Transformation-induced Plastic Deformation in Ce-TZP/alumina Nanocomposite Generated During Fatigue Tests at Room Temperature", <i>Journal of the European Ceramic Society</i>, Vol.34, pp.4337-4345, 2014. 5. 上野 明, 西田匡秀, 宮川進, 山田耕二, 菊池将一, 「$\sqrt{area}$ 法を用いたアルミダイカスト合金の疲労限度予測」, 材料, Vol.63, No.12, pp.844-849, 2014. 6. 向山和孝, 花木宏修, 岡田憲司, 境田彰芳, 中村裕紀, 菅田 淳, 西川 出, 上野 明, 酒井達雄, 「静的強度特性値による機械構造用炭素鋼の <i>S-N</i> 曲線に関する統計的推定」, 材料, 掲載可. 7. 三浦拓, 榊原隆之, 三村真吾, 久野隆紀, 菊池将一, 上野明, 酒井達雄, 「フラクトグラフィによる熱間成形ばね用鋼 SUP7 の内部起点型疲労破壊メカニズムの検討」, 材料, 掲載可. 8. Sanjay Kumar Vajpai, Mie Ota, Tomoyuki Watanabe, Ryo Maeda, Tatsuya Sekiguchi, Takayuki Kusaka and Kei Ameyama, "The Development of High Performance Ti-6Al-4V Alloy via a Unique Microstructural Design with Bimodal Grain Size Distribution", <i>Metallurgical and Materials Transactions A</i>, Vol.64, No.2, pp.903-914, 2015. 9. Mie Ota, Sanjay Kumar Vajpa, Ryota Imao, Kazuaki Kurokawa and Kei Ameyama, "Application of High Pressure Gas Jet Mill Process to Fabricate High Performance Pure Titanium", <i>J. Materials Transactions</i>, Vol.56, No.1, pp.154-159, 2015. 10. Nurul Nadia MEHMUD, Sanjay Kumar Vaipai and Kei Ameyama, "Fabrication of
-------------	--

	Yttria Stabilized Zirconia-Silicon Carbide Composites with High Strength and High Toughness by Spark Plasma Sintering of Mechanically Milled Powders", <i>J. Materials Transactions</i>, Vol.55, No.12, pp.1827-1833, 2014. 11. Z. Zhang, D. Orlov, S. K. Vajpai, B. Tong and K. Ameyama, "Importance of Bimodal Structure Topology in the Control of Mechanical Properties of a Stainless Steel", <i>J. Advanced Engineering Materials</i>, DOI: 10.1002/adem.201400358, 2014. 12. R. Yoshida, T. Tsuda, H. Fujiwara, H. Miyamoto and K. Ameyama, "Annealing Effect on Mechanical Properties of Ti-Al Alloy/Pure Ti Harmonic-Structured Composite by MM/SPS Process", <i>Materials Science and Engineering</i>, 63, doi:10.1088/1757-899X/63/1/012031, 2014. 13. Y. Tsuzuki, H. Fujiwara, H. Miyamoto and K. Ameyama, "Deformation behavior of high speed steel/low Carbon steel composite with harmonic structure by MM/SPS process", <i>Materials Science and Engineering</i>, 63, doi:10.1088/1757-899X/63/1/012029, 2014. 14. Sanjay Kumar Vajpai, Kei Ameyama, Mie Ota, Tomoyuki Watanabe, Ryo Maeda, Tatsuya Sekiguchi, Guy Dirras and David Tingaud, "High performance Ti-6Al-4V alloy by creation of harmonic structure design", <i>Materials Science and Engineering</i>, 63, doi:10.1088/1757-899X/63/1/012030, 2014. 15. M. Ota, K. Sawai, M. Kawakubo, S. K. Vajpai and K. Ameyama, "Harmonic structure formation and deformation behavior in a ($\alpha + \gamma$) two phase stainless steel", <i>Materials Science and Engineering</i>, Vol.63, No.1, pp.12-27, 2014. 16. Yasuhiro Kanoko, Kei Ameyama, Shigeo Tanaka and Benjamin Hefler, "Production of ultra-thin porous metal paper by applying the fibre space holder method", <i>Powder Metallurgy</i>, Vol.57, No.3, pp.1-5, 2014. 17. Mie Ota, Keisuke Shimojo, Shun Okada, Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama, "Harmonic Structure Design and Mechanical Properties of Pure Ni Compact", <i>Journal of Powder Metallurgy & Mining</i>, Vol.3, No.1, Doi:0.4172/2168-9806. 1000122, 2014. 18. Ruixiao Zheng, Yanbo Sun, Wenlong Xiao, Kei Ameyama and Chaoli Ma, "Nanostructured $\text{Al}_{87}\text{Ni}_{8.5}\text{Ce}_3\text{Fe}_1\text{Cu}_{0.5}$ alloy prepared by mechanical milling spark plasma sintering and hot extrusion", <i>Materials Science & Engineering A</i>, Vol.606, No.3, pp.426-433, 2014. 19. Dmitry Orlov, Daniele Pelliccia, Xiya Fang, Laure Bourgeois, Nigel Kirby, Andrei Y Nikulin, Kei Ameyama and Yuri Estrin, "Particle evolution in Mg-Zn-Zr alloy processed by integrated extrusion and equal channel angular pressing: Evaluation by electron microscopy and synchrotron small-angle X-Ray scattering", <i>Acta Materiala</i>, Vol.3, No.1, Doi:0.4172/2168-9806. 1000122, 2014.
--	---

20. Mie Ota, Keisuke Shimojo, Shun Okada, Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama, "Harmonic Structure Design and Mechanical Properties of Pure Ni Compact", *Journal of Powder Metallurgy & Mining*, Vol.72, pp.110-124, 2014.
21. Choncharoen Sawangrat, Shota Kato, Dmitry Orlov and Kei Ameyama, "Harmonic-structured copper: performance and proof of fabrication concept based on severe plastic deformation of powders", *Journal of Materials Science*, Vol.3, No.1, Doi:0.4172/2168-9806. 1000122, 2014.
22. Mie Ota, Keisuke Shimojo, Shun Okada, Sanjay Kumar Vajpai and Kei Ameyama, "Harmonic Structure Design and Mechanical Properties of Pure Ni Compact", *Journal of Powder Metallurgy & Mining*, Vol.5, 2014.
23. Choncharoen Sawangrat, Osamu Yamaguchi, Sanjay Vajpai and Kei Ameyama, "Harmonic structure design of Co-Cr-Mo alloy with outstanding mechanical properties", *Advanced Materials Research*, No.939, pp.60-67, 2014.

【国際会議 Proceedings】

1. Yiwen Yang, Nobuyuki Fujitsuna, Ryota Yakura, Mariko Matsuda, Taku Miura, Akira Ueno, Shoichi Kikuchi and Tatsuo Sakai, " Effects of Cleanliness and Induction Hardening on Very High Cycle Fatigue Properties of Low Alloy Forged Steel", Proc. of the 6th International Conference on VHCF, USB, No.INS06, October 15–18, 2014, Chengdu, China.
2. Tatsuo Sakai, Noriyasu Oguma, Akinari Morikawa and Akira UENO, "Microscopic and Nanoscopic Observations of Metallographic Structures around Inclusions at Interior Crack Initiation Site in Very High Cycle Fatigue", Proc. of the 6th International Conference on VHCF, USB, No.MIM02, October 15–18, 2014, Chengdu, China.
3. Taku Miura, Takayuki Sakakibara, Takanori Kuno, Akira Ueno, Shoichi Kikuchi and Tatsuo Sakai, "Interior-induced Fracture Mechanism of Valve Spring Steel (JIS SWOSC-V) with High Cleanliness in Very High Cycle Regime", Proc. of the 6th International Conference on VHCF, USB, No.MIM09, October 15–18, 2014, Chengdu, China.
4. Tatsuo Sakai, Koushu Hanaki, Akiyoshi Sakaida, Kenji Okada, Yuki Nakamura, Kazutaka Mukoyama, Noriyasu Oguma, Takashi Matsumura, Yoshinobu Shimamura and Akira Ueno, "Construction of Electronic Database on Very High Cycle Fatigue Properties for Metallic Materials", Proc. of the 6th International Conference on VHCF, USB, No.MIM10, October 15–18, 2014, Chengdu, China.
5. Akiyoshi Sakaida, Yanbin Zhang, Shoichi Kikuchi, Yoshihiko Yokoyama, Akira Ueno and Tatsuo Sakai, "A Study on Very High Cycle Fatigue Properties of Bulk Amorphous Alloy in Rotating Bending", Proc. of the 6th International Conference

- on VHCF, USB, No.PSM14, October 15–18, 2014, Chengdu, China.
6. Shoichi Kikuchi, Stefan Heinz, Dietmar Eifler, Yuta Nakamura and Akira Ueno, "Effects of Low Temperature Nitriding Process on the Very High Cycle Fatigue Properties of Ti-6Al-4V Alloy", Proc. of the 6th International Conference on VHCF, USB, No.PSM04, October 15–18, 2014, Chengdu, China.
 7. Shoichi Kikuchi, Kotaro Takemura, Yosuke Hayami, Akira Ueno and Kei Ameyama, "Evaluation of the 4-points Bending Fatigue Properties of Ti-6Al-4V Alloy with Harmonic Structure Created by Mechanical Milling and Spark Plasma Sintering", Proc. of the 3rd Japan-Chine Fatigue Symposium, November 6–8, 2014, Takayama, Japan.
 8. Akira Ueno, Masahide Nishida, Susumu Miyakawa, Koji Yamada, Shoichi Kikuchi, " ΔK_{th} estimation of aluminum die-casting alloy by means of $\sqrt{area}$ method ", Proc. of the APCFS/SIF-2014 International Congress, December 9-12, 2014, Sydney, Australia.
 9. Microstructure And Mechanical Properties Of Sic Compacts Produced By Mechanical Milling And Spark Plasma Sintering, N. Z. B. Khalil, S. K. Vajpai, K. Ameyama, 9th International Materials Technology Conference & Exhibition (IMTCE2014), Kuala Lumpur (Malaysia), May 13-16, 2014.

【口頭発表】

1. 前村悠輝, 上野 明, 村山翔哉, 加藤右也, 「内圧式高圧水素法を用いたアルミニウム合金 A7075-T6511 の疲労特性に及ぼす高圧水素ガスの影響評価」, 日本機械学会関西支部第 90 期定時総会・講演会・発表予定, 2015.
2. 安田周平, 上野 明, 小林篤史, 仲井 肇, 横山嘉彦, 酒井達雄, 境田彰芳, 菊池将一, 「Zr 基バルク金属ガラスの 4 点曲げ疲労特性に及ぼす水分の影響評価」, 日本機械学会関西支部関西学生会平成 26 年度学生員卒業研究発表講演会・発表予定, 2015.
3. 廉 本寧, 上野 明, 「回転曲げ疲労試験機用疲労き裂連続観察システムの開発」, 日本材料学会第 32 回疲労シンポジウム講演論文集, 2014.
4. 稲垣柚香, 堀川教世, 宮島敏郎, 菓子貴晴, 上野 明, 境田彰芳, 岩井善郎, 川野優希, 「AIP 法と UBMS 法により TiAlN 膜を被覆した高速度工具鋼の疲労強度比較」, 日本機械学会 M&M2014 材料力学カンファレンス, 福島大学, USB, 2014.
5. 堀川教世, 川野優希, 上野 明, 境田彰芳, 宮島敏郎, 「キンク損傷を与えた PBO 繊維の引張強度の確率分布」, 日本機械学会 M&M2014 材料力学カンファレンス, 福島大学, USB, 2014.
6. 上野 明, 高根 真, 上野文弘, 「固体高分子形燃料電池用電解質膜の劣化評価」, 日本機械学会 M&M2014 材料力学カンファレンス, 福島大学, USB,

	2014. 7. 中村悠太, 菊池将一, 吉田 翔, 上野 明, 飴山 惠, 「低温プラズマ窒化を施した工業用純チタンの 4 点曲げ疲労特性に及ぼす結晶粒径の影響評価」, 8. 岡田悦郎, 堀川教世, 宮島敏郎, 菓子貴晴, 上野 明, 境田彰芳, 岩井善郎, 川野優希, 「膜厚の異なる TiCrAlSiN/CrN 被覆高速度工具鋼の疲労特性」, 日本機械学会 M&M2014 材料力学カンファレンス, 福島大学, USB, 2014. 9. 矢倉亮太, 森 啓之, 西口克茂, 松田真理子, 酒井達雄, 上野 明, 菊池将一, 三浦 拓, 「船舶用クランク軸材料のギガサイクル疲労特性と介在物サイズの関係について」, 日本材料学会第 63 期学術講演会, 福岡大学, USB, 2014. 10. 境田彰芳, 張 艶斌, 菊池将一, 横山嘉彦, 上野 明, 酒井達雄, 「アモルファス・バルク材の超高サイクル域における確率疲労特性の解析」, 日本材料学会第 63 期学術講演会, 福岡大学, USB, 2014. 11. 向山和孝, 花木宏修, 岡田憲司, 境田彰芳, 菅田 淳, 西川 出, 上野 明, 酒井達雄, 「静的強度特性値による鉄鋼材料の <i>S-N</i> 曲線に関する統計的推定」, 日本材料学会第 63 期学術講演会, 福岡大学, USB, 2014. 12. 向山和孝, 中村裕紀, 花木宏修, 岡田憲司, 境田彰芳, 酒井達雄, 菅田 淳, 西川 出, 上野 明, 「静的強度特性値による非鉄金属材料の <i>S-N</i> 曲線に関する統計的推定」, 日本材料学会第 63 期学術講演会, 福岡大学, USB, 2014. 13. 菊池将一, 中村悠太, 吉田 翔, 上野 明, 南部紘一郎, 中村裕紀, 「微粒子ピーニングを利用した工業用純チタン表面へのハイドロキシアパタイト層の創製」, 日本材料学会第 63 期学術講演会, 福岡大学, USB, 2014. 14. 上野 明, 仲井 肇, 小林篤史, 「セリア安定化正方晶ジルコニアナノ複合セラミックスの疲労強度信頼性評価 (第 1 報: 大気中)」, 日本材料学会第 63 期学術講演会, 福岡大学, USB, 2014. 15. 上野 明, 小林篤史, 仲井 肇, 「セリア安定化正方晶ジルコニアナノ複合セラミックスの疲労強度信頼性評価 (第 2 報: 水中)」, 日本材料学会第 63 期学術講演会, 福岡大学, USB, 2014. 16. 菊池将一, S. Heinz, E. Dietmar, 中村悠太, 吉田 翔, 上野 明, 「低温窒化プラズマを施した Ti-6Al-4V 合金の超音波疲労特性」, 日本材料学会第 63 期学術講演会, 福岡大学, USB, 2014. 17. 吉田 翔, 菊池将一, 中村悠太, 上野 明, 「Ti-6Al-4V 合金の 4 点曲げ疲労特性に及ぼす低温プラズマ窒化の影響評価」, 日本材料学会第 63 期学術講演会, 福岡大学, USB, 2014. 【招待講演】
--	---

- | | |
|--|---|
| | <p>1. スズキ財団招待講演，上野 明，「$\sqrt{area}$ 法を用いたアルミダイキャスト合金の疲労限度予測と，回転曲げ疲労試験機用疲労き裂連続観察システムの開発」，2014 年 10 月 8 日．</p> |
|--|---|

以上

大型研究装置成果報告書

装置名	磁気分析装置（NMR）
研究責任者 (所属・役職・氏名)	生命科学部・教授・堤 治
研究テーマ	ソフト・ハード融合材料の階層的構造制御による新材料の創発
研究の概要	いろいろなソフト材料（有機・高分子材料）とハード材料（金属、金属酸化物など）を融合させ、分子レベルから巨視的レベルにおける各階層において精密に構造制御を行うことで革新的な性能・機能を示す材料の創発を目指した研究を行った。特に本装置を分子構造の決定にもちいて、分子レベルでの精密構造が材料物性に与える影響について検討し、下記に示すような成果を発表した。
利用成果	論文 1) Photoluminescent Gold(I) Complex with Biphenyl Acetylene Ligand Showing Stable Nematic Liquid-Crystalline Phase, N. Sugimoto, S. Tamai, K. Fujisawa, <u>O. Tsutsumi</u>, <i>Mol. Cryst. Liq. Cryst.</i>, 601, 97–106 (2014). 2) Synthesis, liquid-crystalline behavior, and photoluminescence properties of novel Au(I) complex with naphthalene ring in a mesogenic core, Y. Rokusha, N. Sugimoto, S. Yamada, <u>O. Tsutsumi</u>, <i>Proc. SPIE</i>, 9182, 918206, DOI: 10.1117/12.2060334 (2014). 3) Reversible thermal-mode control of luminescence from liquid-crystalline gold(I) complexes, K. Fujisawa, Y. Okuda, Y. Izumi, A. Nagamatsu, Y. Rokusha, Y. Sadaike, <u>O. Tsutsumi</u>, <i>J. Mater. Chem. C</i>, 2, 3549–3555 (2014). 4) Tuning the photoluminescence of condensed-phase cyclic trinuclear Au(I) complexes through control of their aggregated structures by external stimuli, K. Fujisawa, S. Yamada, Y. Yanagi, Y. Yoshioka, A. Kiyohara, O. Tsutsumi, <i>Sci. Rep.</i>, in press. 国際学会 1) Full-Color Luminescence from a Single Liquid-Crystalline Gold Complex, <u>O. Tsutsumi</u>, O.M. Younis, M. Tamaru, S. Tamai, N. Sugimoto, K. Fujisawa, 2014 Organic Photonics + Electronics (SPIE Optics + Photonics), San Diego, USA, August 17, 2014. 国内学会 1) ピラゾール配位子を有する液晶性三核金錯体の電気伝導特性, 島井信吾, 田丸雅一, <u>堤治</u>, 第 63 回高分子学会年次大会, 名古屋国際会議場, 2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日 2) 液晶性三核金錯体のナノ空間における発光特性, 中村恭輔, 田丸雅一, 玉井翔, <u>堤治</u>, 第 63 回高分子学会年次大会, 名古屋国際会議場, 2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日 3) White-Color Emission from Polymer Liquid Crystals Containing Rod-Like Gold Complexes in Side-Chain, O. Younis, S. Tamai, <u>O. Tsutsumi</u>, 第 63 回高分子学会年次大会, 名古屋国際会議場, 2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日 4) 液晶性棒状金錯体のキラルネマチック相における発光特性, 杉本菜々, <u>堤治</u>, 第 63 回高分子学会年次大会, 名古屋国際会議場, 2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日 5) 液晶性有機・無機ナノハイブリッド材料の電気化学特性, 西田匠汰, <u>堤治</u>, 第 63 回高分子学会年次大会, 名古屋国際会議場, 2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日 6) 大環状ポリオキソモリブデートとデンドリマー複合体の液晶挙動, 渡邊亮平, 津守達啓, <u>堤治</u>, 第 63 回高分子学会年次大会, 名古屋国際会議場, 2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日

大型研究装置成果報告書

装置名	強力 X 線装置
研究責任者 (所属・役職・氏名)	生命科学部・教授・堤 治
研究テーマ	ソフト・ハード融合材料の階層的構造制御による新材料の創発
研究の概要	いろいろなソフト材料（有機・高分子材料）とハード材料（金属，金属酸化物など）を融合させ，分子レベルから巨視的レベルにおける各階層において精密に構造制御を行うことで革新的な性能・機能を示す材料の創発を目指した研究を行った。特に本装置では，結晶中における分子のパッキング構造をナノメートルレベルで解明し，分子凝集構造が材料物性に与える影響について検討した。
利用成果	論文 1) Photoluminescent Gold(I) Complex with Biphenyl Acetylene Ligand Showing Stable Nematic Liquid-Crystalline Phase, N. Sugimoto, S. Tamai, K. Fujisawa, <u>O. Tsutsumi</u>, <i>Mol. Cryst. Liq. Cryst.</i>, 601, 97–106 (2014). 2) Synthesis, liquid-crystalline behavior, and photoluminescence properties of novel Au(I) complex with naphthalene ring in a mesogenic core, Y. Rokusha, N. Sugimoto, S. Yamada, <u>O. Tsutsumi</u>, <i>Proc. SPIE</i>, 9182, 918206, DOI: 10.1117/12.2060334 (2014). 3) Reversible thermal-mode control of luminescence from liquid-crystalline gold(I) complexes, K. Fujisawa, Y. Okuda, Y. Izumi, A. Nagamatsu, Y. Rokusha, Y. Sadaike, <u>O. Tsutsumi</u>, <i>J. Mater. Chem. C</i>, 2, 3549–3555 (2014). 4) Tuning the photoluminescence of condensed-phase cyclic trinuclear Au(I) complexes through control of their aggregated structures by external stimuli, K. Fujisawa, S. Yamada, Y. Yanagi, Y. Yoshioka, A. Kiyohara, O. Tsutsumi, <i>Sci. Rep.</i>, in press. 国際学会 1) Full-Color Luminescence from a Single Liquid-Crystalline Gold Complex, <u>O. Tsutsumi</u>, O.M. Younis, M. Tamaru, S. Tamai, N. Sugimoto, K. Fujisawa, 2014 Organic Photonics + Electronics (SPIE Optics + Photonics), San Diego, USA, August 17, 2014. 国内学会 1) ピラゾール配位子を有する液晶性三核金錯体の電気伝導特性，島井信吾，田丸雅一，<u>堤治</u>，第 63 回高分子学会年次大会，名古屋国際会議場，2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日 2) 液晶性三核金錯体のナノ空間における発光特性，中村恭輔，田丸雅一，玉井翔，<u>堤治</u>，第 63 回高分子学会年次大会，名古屋国際会議場，2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日 3) White-Color Emission from Polymer Liquid Crystals Containing Rod-Like Gold Complexes in Side-Chain, O. Younis, S. Tamai, <u>O. Tsutsumi</u>, 第 63 回高分子学会年次大会，名古屋国際会議場，2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日 4) 液晶性棒状金錯体のキラルネマチック相における発光特性，杉本菜々，<u>堤治</u>，第 63 回高分子学会年次大会，名古屋国際会議場，2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日 5) 液晶性有機・無機ナノハイブリッド材料の電気化学特性，西田匠汰，<u>堤治</u>，第 63 回高分子学会年次大会，名古屋国際会議場，2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日 6) 大環状ポリオキソモリブデートとデンドリマー複合体の液晶挙動，渡邊亮平，津守達啓，<u>堤治</u>，第 63 回高分子学会年次大会，名古屋国際会議場，2014 年 5 月 28 日～5 月 30 日

装置名； X線回折装置

研究責任者	
部門名	
研究テーマ	X線回折装置による酸化物担持金属触媒材料と二次電池正極材料の状態解析
研究の概要	不均一系触媒材料として用いられる各種酸化物担体上に、Ni、Co、Mnなどの金属ナノ粒子およびPdCuなどの合金ナノ粒子を担持した粉末触媒材料を合成し、X線回折装置を用いてその結晶状態の解析を行った。既知構造の標準試料との比較などから合成した試料の組成や結晶構造を決定した。また、放射光を用いたその場化学状態解析の結果と合わせ、担持金属触媒の反応活性と金属化学種の化学状態との相関を明らかにした。また、リチウムイオン二次電池の正極活物質であるLiNiO ₂ やLiFePO ₄ などを合成し、その電池特性を評価すると同時に、それらの粉末材料の状態解析を行った。これは、電池特性を評価する上で必要不可欠な情報である。
利用成果 【原著論文（査読付き）】 Misaki Katayama, Koichi Sumiwaka, Ryota Miyahara, Hisao Yamashige, Hajime Arai, Yoshiharu Uchimoto, Toshiaki Ohta, Yasuhiro Inada, Zempachi Ogumi, “X-ray absorption fine structure imaging of inhomogeneous electrode reaction in LiFePO₄ lithium-ion battery cathode”, <i>J. Power Sources</i>, 2014, 269, 994-999. Takayasu Moroki, Hiroyuki Yasui, Yusuke Adachi, Katsuhiko Yoshizawa, Airo Tsubura, Kazuhiko Ozutsumi, Misaki Katayama, and Yutaka Yoshikawa, “New Insulin-Mimetic and Hypoglycemic Hetero-Binuclear Zinc(II)/Oxovanadium(IV) Complex”, <i>Curr. Inorg. Chem.</i>, 2014, 4(1), 54-58. Satoshi Asaoka, Hideo Okamura, Yusuke Akita, Katsuyoshi Nakano, Kenji Nakamoto, Kazutoshi Hino, Tadashi Saito, Shinjiro Hayakawa, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, “Regeneration of manganese oxide as adsorption sites for hydrogen sulfide on granulated coal ash”, <i>Chem. Eng. J.</i>, 2014, 254, 531-537. 片山真祥, 稲田康宏, “DXAFSによる時間分解X線吸収分光”, <i>表面科学</i>, 2014, 35(3), 141-145. 【著書】 稲田康宏・片山真祥, 「XAFS/EELS局所構造解析」、情報機構、59-66 (2014). 【国内学会発表】 片山真祥, 宮原良太, 渡邊稔樹, 山下翔平, 稲田康宏, 「鉛直方向波長分散型XAFS法の開発と時間-空間分解解析への応用」, 第17回XAFS討論会, 徳島, 2014年9月.	

宮田伸弘, 豊田健治, 日野上麗子, 渡邊稔樹, 片山真祥, 稲田康宏, 「デラフォサイト型酸化物における d 電子スピン状態」, 第 17 回 XAFS 討論会, 徳島, 2014 年 9 月.

山下翔平, 山本悠策, 片山真祥, 稲田康宏, 「担持ニッケル粒子の表面酸化反応に関する速度論的解析」, 第 17 回 XAFS 討論会, 徳島, 2014 年 9 月.

山本悠策, 山下翔平, 片山真祥, 稲田康宏, 「In situ XAFS 法によるゾル-ゲル法での担持 Ni 触媒調製過程の解析」, 第 17 回 XAFS 討論会, 徳島, 2014 年 9 月.

片山真祥, 稲田康宏, 「空間分解オペランド観測手法の開発と電極反応解析への応用」, 放射光学会第 7 回若手研究会 “最先端オペランド観測で明らかになる物性科学”, 柏, 2014 年 9 月.

島田佳奈, 片山真祥, 稲田康宏, 「アルミナに担持した Pd と Cu の固相合金化メカニズム」, 第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014, 東京, 2014 年 10 月.

大貫雄弥, 宮原良太, 片山真祥, 稲田康宏, 「X 線吸収分光法によるリン酸バナジウムリチウム正極の電極反応解析」, 第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014, 東京, 2014 年 10 月.

松岡哲也, 山下翔平, 片山真祥, 稲田康宏, 「in-situ XAFS 法によるシリカ担持 Ni 触媒の CO による還元反応の解析」, 第 4 回 CSJ 化学フェスタ 2014, 東京, 2014 年 10 月.

宮原良太, 片山真祥, 稲田康宏, 「時空間分解可能な新規波長分散型 XAFS 法の開発」, 第 50 回 X 線分析討論会, 仙台, 2014 年 10 月.

片山真祥, 稲田康宏, 「立命館 SR センター XAFS ビームラインを用いた触媒と電池の反応解析」, 合同シンポジウム 2014～放射光とレーザーの協働による新産業創成～, 神戸, 2014 年 11 月.

宮原良太, 片山真祥, 稲田康宏, 「正極反応の時空間分解解析に向けた新しい波長分散型 XAFS 法の開発」, 第 55 回電池討論会, 京都, 2014 年 11 月.

山本悠策, 山下翔平, 片山真祥, 稲田康宏, 「担持 Ni 粒子の酸化還元特性に及ぼす粒子サイズ効果」, 第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 草津, 2015 年 1 月.

渡邊稔樹, 片山真祥, 稲田康宏, 「転換電子収量 XAFS による形状制御した担持 Cu₂O 粒子の表面還元反応」, 第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 草津, 2015 年 1 月.

島田佳奈, 片山真祥, 稲田康宏, 「パラジウム銅合金触媒の生成に対する前駆体組成の効果」, 第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 草津, 2015 年 1 月.

和田憲幸, 片山真祥, 眞田智衛, 小堤和彦, 小島一男, 稲田康宏, 「酸化物ガラス中における Mn イオンの局所構造」, 第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 草津, 2015 年 1 月.

大坪寛太, 片山真祥, 稲田康宏, 「ゼオライトに担持した Ni(II)イオンの吸着状態の解析」, 第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 草津, 2015 年 1 月.

Siwaruk Chotiwan, Hiroki Tomiga, Misaki Katayama, Yasuhiro Inada, “Thermodynamic and kinetic study on redox reaction of silica supported cobalt catalysts”, 第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 草津, 2015 年 1 月.

辻孝祐, 与儀千尋, 片山真祥, 稲田康宏, 藤岡大毅, 太田俊明, 小島一男, 「正極活物質

$\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ のゾル-ゲル法による作製と評価」, 電気化学会第 82 回大会, 横浜, 2015 年 3 月.
鈴木淳司, 山下翔平, 片山真祥, 稲田康宏, 「希薄なシリカ担持 Ni 触媒の酸化還元特性」, 日本化学会第 95 春季年会, 船橋, 2015 年 3 月.
石井駿平, 片山真祥, 稲田康宏, 「メソポーラスシリカに担持した Co 触媒の酸化還元特性」, 日本化学会第 95 春季年会, 船橋, 2015 年 3 月.

【修士学位論文】

大坪寛太, 「種々のゼオライトに対するニッケル(II)イオンのイオン交換状態の解明」
島田佳奈, 「組成の異なるパラジウム銅合金触媒の生成メカニズム」

大型研究装置成果報告書

装置名	NMR JEOL ECS-400
研究責任者 (所属・役職・氏名)	小島一男 (生命科学部・応用化学科・教授)
研究テーマ	蛍光性液晶基を表面修飾させたシリカナノ粒子の合成と物性の評価
研究の概要	シリカナノ粒子は電場印加下で特異な挙動を示すことが知られているが、その挙動は解明されていない。シリカナノ粒子表面を蛍光性液晶基で修飾することで（例えば、Silica:11-(Ethoxydimethylsilyl)undecyl-2,5-bis((4-(octyloxy)phenyl)ethynyl)benzoate）や関連化合物であるSilica:Undecylethoxydimethylsilane)、電場印加下におけるシリカナノ粒子を可視化し、その挙動を視覚的に解明することを目的とする。 蛍光性液晶基の構造を解析するために室温(20℃)、400 MHz 条件下の溶液 ^1H NMR スペクトルによる測定を行った。具体的に測定した化合物 5 種を以下に示す。なお共同研究教員は、小島一男、眞田智衛、花崎知則、金子光佑である。 (1) 1-(Octyloxy)-4-(2-(trimethylsilyl)ethynyl)benzene (2) 1-Ethynyl-4-(octyloxy)benzene (3) 10-Undecen-1-yl-2,5-dibromobenzoate (4) 10-Undecen-1-yl 2,5-bis((4-(octyloxy)phenyl)ethynyl)benzoate (5) Undecylethoxydimethylsilane
利用成果	昨年度未掲載分の国内学会発表 (1) 渡邊修平、花崎知則、小島一男、「シリカナノ粒子に液晶分子を結合させた無機-有機ハイブリッド型化合物の合成と物性」、日本化学会第 94 春季年会：4E4-11、(名古屋大学、2014 年 3 月 30 日)

大型研究装置成果報告書

装置名	レクセル
研究責任者 (所属・役職・氏名)	生命科学部・教授（レクセル施設長）・早野俊哉
研究テーマ	- ミドリゾウリムシ細胞内共生藻に関する研究（担当：薬学部・教授・今村信孝） - ペプチドトランスポーター（PEPT1）をターゲットとした 5-アミノサリチル酸（5-ASA）プロドラッグの合成と Caco-2 細胞に対する輸送特性研究（担当：薬学部・教授・藤田卓也）
研究の概要	- ミドリゾウリムシ共生藻は、酸性条件下で光合成産物のマルトースを放出することが特徴であり、この放出経路については不明な点が多く検討を行った。放出条件下で炭酸の取り込みから放出までは、数分といった短い反応で起こることが分かった。また、放出されるマルトースの大部分が蓄積されたデンプンからではなく、固定した炭素から新たに合成していることが分かった。 - 潰瘍性大腸炎は厚生労働省より難病に指定されている疾患である。潰瘍性大腸炎の治療薬としては 5-アミノサリチル酸（5-ASA）が汎用されているが、炎症部位への送達性が乏しく、十分な治療効果が得られないことも多い。経口 β-ラクタム抗生物質の小腸からの吸収に関与している oligopeptide transporter（PEPT1）は、健常人では大腸での発現はほとんど認められないのに対し、潰瘍性大腸炎の患者では大腸炎症部位にも高発現していることが報告されている。本研究では、5-ASA の NH_2 基あるいは COOH 基にアミノ酸を導入したジペプチド型プロドラッグを合成し、これら化合物の PEPT1 を介した輸送・代謝特性を Caco-2 細胞を用いて検討した。Caco-2 細胞における PEPT1 を介した Gly-Sar の取り込みは、検討した 5-ASA プロドラッグ全てが濃度依存的に阻害された。Glu を 5-ASA の NH_2 基あるいは COOH 基に導入したプロドラッグでは、$[\text{H}]$ Gly-Sar 取り込みに対する IC_{50} 値に顕著な差が認められたことから、アミノ酸の導入部位によりプロドラッグと PEPT1 の親和性に差異が生じることが示唆された。また、5-ASA の NH_2 基にアミノ酸（Val、Tyr、Lys）を導入したプロドラッグは、Caco-2 ホモジネート中で分解されたが、COOH 基にアミノ酸を導入したプロドラッグでは全く分解が認められなかった。この結果は、親薬物である 5-ASA に変換せずに大腸部位に発現する PEPT1 に送達させることができれば、より効率的な治療を行うことができる可能性を示唆するものであり、今後は、実際に 5-ASA のプロドラッグの取り込み実験、IBD モデル動物を用いた治療実験を行うことで IBD に対する新規治療薬としての可能性を追求していく予定である。

利用成果	<国内学会> 1. 柴田 あいか、高橋 文雄、笠原 賢洋、今村 信孝. ミドリゾウリムシ共生クロレラにおけるマルトース放出の制御機構について. 原生生物学会第47回大会、(仙台)、2014年11月 2. 由利龍嗣、西 貴弘、河野裕允、寺田智祐、藤田卓也. PEPT1 を標的とした 5-アミノサリチル酸プロドラッグの Caco-2 細胞における輸送特性の検討. 日本薬剤学会第30年会(長崎)、2015年5月(発表予定) <論文> なし <その他> 藤田卓也. 消化管トランスポーターの吸収障壁としての役割と消化管代謝における種差. 持田製薬講演会(静岡)、2014年12月
-------------	---

大型研究装置成果報告書

装置名	SR 光電子分光・イオン散乱複合分析装置
研究責任者 (所属・役職・氏名)	理工学部物理科学科・教授・難波秀利
研究テーマ	高分解能中エネルギーイオン散乱と SR 光電子分光による固体表面の構造、電子状態と触媒機能の解析
研究の概要	2014 年度の主たるテーマ 1) SR-NEXAFS による液晶の下地配向膜の解析 2) 原子状酸素によるグラファイトの表面酸化 3) 文部科学省先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業における共同利用
利用成果	本装置の利用は表面物理・表面科学での研究成果を上げるためだけでなく、数年前から理工学部物理科学科 3 回生の正課授業である「物理学特別実験 1」の一つのパートとして供用され、学生に放射光を実際に利用してもらい、そのポテンシャルの高さを体験してもらってきた。本装置は通常の実験室にはない大型実験装置でもあり、それに慣れることも貴重な経験になっている。 研究成果報告書 M. Takizawa, K. Kondo and H. Namba, “Oxidation states of graphite studied by near edge x-ray absorption fine structure measurements”, Memories of the SR Center Ritsumeikan University, No.16, 2014, pp.145-146. 国内会議 滝沢優、近藤謙作、難波秀利「吸収端近傍 X 線吸収微細構造測定によるグラファイト表面の酸化状態」、第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム（立命館大学、2015 年 1 月）。

理 工 学 研 究 所 記 事

理工学研究所シンポジウム・ワークショップ報告書

代表者 (所属・職名・氏名)	薬学部薬学科・教授・民秋 均
集会名	国際研究集会 第 10 回「化学的にプログラムされた合成色素類の超分子ナノ科学」 Tenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP14)
開催日程	2014年5月30日～2014年6月1日
会場	エポック立命21
報告内容	予め様々な情報をプログラムした分子を設計することで、エネルギー投入することなく、自己集積能を利用して、内部構造が緻密で全体構造も明確なナノ超分子構造体を構築することは、ナノ科学の推進に大きな影響を与える。そこで、広い意味での「化学的にプログラムされた合成色素類の超分子ナノ科学」に関わる研究成果を発表する国際研究集会 SNCC2014 を、立命館大学びわこ・くさつキャンパスで上記期間に行った。 基調講演 1 件、招待講演 8 件、選抜講演 2 件、ポスター発表 36 件が行われ、約 100 名の参加者があり、大変盛況であった。特に、若手で超分子ナノ科学の分野で研究を行っている研究者を国内外から招待して、活発に議論を行い、この分野の発展にとって大きな意義があった。 今回の SNCC2014 の BKC での開催は、本学の研究者、特に大学院生を含む若手の研究者にとって大きな刺激を与えてくれた。このような交流によって、立命館大学の国際化に資することができた。また、博士研究員や大学院生などの若手研究者を含む本学の研究者が、「化学的にプログラムされた合成色素類の超分子ナノ科学」の研究発表を英語で行うことで、立命館大学からの研究発信だけではなく、国際化も推進できた。 口頭講演者は、Jishan Wu (シンガポール国立大)、田中隆行 (京大理)、北川裕一 (北大工)、寺村美里 (立命館大)、山口健太 (立命館大)、Jeongho Kim (韓国・Inha Univ.)、梶 貴博 (未来 ICT 研)、林 宏暢 (奈良先端科技大)、齊藤尚平 (名大理)、王 曉峰 (横浜桐蔭大)、坂本良太 (東大理) の 11 名 (敬称略・発表順) であり、その他の詳細は、公式 HP を参照して下さい。 http://www.ritsumei.ac.jp/se/rc/staff/tamiaki/sncpp14/

シンポジウム・ワークショップ開催助成 報告書

代表者 (所属・職名・氏名)	生命科学部・教授・下妻 晃二郎
集会名	第2回生命医科学コロキウム
開催日程	2014年6月27日
会場	サイエンスコア1F S講義室
報告内容	生命医科学科では、年1回程度、所属教員の研究成果を順に紹介するとともに、学外からその時代のトピックスに詳しい演者を招聘し、生命医科学コロキウムを開催している。 今回のプログラムでは、生命医科学科の教授2名と、特別講演として、京都大学より妹尾講師の講演を行った。 概要は下記である。 ☆オープニングリマーク 学科長（コース長）・司会 17:00-17:05 ☆講演 1. 下妻 晃二郎（生命医科学科・教授） 「効率的かつ公平な医療資源配分方法確立へのチャレンジ」 17:05-17:40 2. 堀 利行（生命医科学科・教授） 「がん細胞の細胞内シグナル伝達～Hippo経路を手がかりとして～」 17:40-18:15 3. 妹尾 浩（京都大学大学院医学研究科・消化器内科学・講師） 「がん幹細胞を標的とした新しいがん治療の可能性」 18:15-19:00 本研究会への講演者の招聘謝礼に、研究費を使わせていただいた。

シンポジウム・ワークショップ開催助成 報告書

代表者 (所属・職名・氏名)	理工学部 教授 藤 家 雪 朗
集会名	5-th Lectures on Semi-Classical Analysis (準古典解析入門講義)
開催日程	2014 年 7 月 3 日 ～ 2014 年 7 月 5 日
会場	立命館大学びわこくさつキャンパス コラーニングII プレゼンテーションルーム
報告内容	数学の微分方程式の理論の中でも、特に準古典解析の分野に絞ったサマースクールを、立命館大学の BKC キャンパスにおいて開催した。この分野の世界の第 1 人者である Nicolas Burq 教授 (パリ 11 大学)、Michael Hitrik 教授 (UCLA) を講師として招き、最先端の話題の中からそれぞれトーラス上のシュレディンガー方程式の制御理論、準古典非自己共役作用素のスペクトル理論について、大学院生にも理解できる入門レベルから最新の研究成果まで、3 時間づつ連続講義を行ってもらった。その他、海外、国内で活躍する 5 人の若手の研究者の講演もプログラムに入れた。50 人近い参加者がこの研究分野の発展に寄与すべく熱心に勉強し、議論を深めた。 講師らの招聘はもちろん、北海道大学・筑波大学・東京大学・大阪大学・神戸大学・広島大学などのポスドクや大学院生といった若手研究者の旅費の援助に本助成金を活用できた。 一部の講演については、ホームページ http://www.math.ritsumei.ac.jp/takuwatanabe/LSCA/LSCA2014.html 上に講義録を公開している。

シンポジウム・ワークショップ開催助成 報告書

代表者 (所属・職名・氏名)	情報理工学部・教授・山下茂
集会名	Asian Conference on Quantum Information Science (AQIS)
開催日程	2014 年 8 月 20 日 ～2014 年 8 月 24 日
会場	京都市、芝蘭会館
報告内容	量子計算・量子通信の実現に関わる萌芽的・学際的なトピックを扱う量子情報科学に関する国際会議 Asian Conference on Quantum Information Science (AQIS2014) では、理論的および実験的な側面を持つトピック全般をスコープとして、当該分野の最新の研究成果発表による研究者に情報交換の機会を与えることを目的とした。量子情報科学の研究には、必然的に従来は別の分野であった複数の研究分野の研究者が集うようになり、当該分野は新しい学際・融合領域としても注目されている。このように様々な面から学術的にも今後ますますその重要性が増すと考えられる量子情報科学に関する研究を、特にアジア圏において振興をすることを主な目的とした。 本会議は、招待講演、一般講演、ポスターセッションから構成した。招待講演者は、André CHAILLOUX (INRIA Paris-Rocquencourt)、Aram HARROW (MIT)、Holger HOFMANN (Hiroshima University)、Alexander HOLEVO (Steklov Mathematical Institute)、John MARTINIS (UC Santa Barbara)、Masanao OZAWA (Nagoya University)、Valerio SCARANI (CQT Singapore)、Yoshihisa YAMAMOTO (Stanford University and NII) であった。また、今回は、Gilles BRASSARD (Université de Montreal)、Richard CLEVE (IQC Waterloo)、Daniel GOTTESMAN (Perimeter Institute)、Thomas VIDICK (Simons Institute, UC Berkeley) らによるチュートリアルを、本分野に参入を考えているような周辺の研究者なども気楽に聴講できるように無料で公開した。 一般講演は採択率を 3 割以下として厳選する一方、ポスターは学生を含めてできるだけ多くの研究者に発表の場を提供し、活発な議論ができるように配慮した。発表に対しては活発な質疑応答が行われた。会議全体では、口頭発表件数 40 件 (Long Talk 12 件, Short Talk 28 件)、ポスター発表件数 68 件であった。また、学生が発表したポスターの中から Student Poster Award を 3 件選んだ。 主な参加国は、当初の目的の通り、日本、中国、韓国、シンガポールなどのアジアを中心として、チェコ、アメリカなどから多数参加し、その他にも 17 か国から、全体で 160 名 (うち外国からの参加者 96 名) であった。 また、関連分野のサテライトワークショップを会議の前後に東京大学および大阪大学で企画し、参加者の増加および関連分野の研究者の交流などを促進した。 上記の会議を通して、当初の目的通り、量子情報処理の研究分野に関して、最新の研究成果の発表と情報交換を行う場をアジア圏、(今回は日本) において提供することができたと考えている。それにより当該分野の特にアジア圏でのさらなる発展に効果があったと考えている。

シンポジウム・ワークショップ開催助成 報告書

代表者 (所属・職名・氏名)	理工学部 都市システム工学科 准教授 岡井 有佳
集会名	温泉地再生を目指した景観まちづくり手法に関わるワークショップ
開催日程	2014 年 8 月 21 日
会場	富山県黒部市宇奈月温泉柏や
報告内容	富山県黒部市宇奈月温泉は、富山県唯一の温泉地ではあるものの、バブル崩壊後、団体客をはじめとする観光客の減少等により、地域の活力が衰退傾向にある。2015 年 3 月の北陸新幹線開業をにらんで、現在、住民が中心となって温泉地再生に取り組んでいるところである。 代表者が所属する都市計画研究室（教員＋学生有志）は、2013 年度から地域住民とともにワークショップを開催し、住民のまちづくりへの意識を向上させたり、景観形成の重要性を認識させるなどといった点において住民を支援してきた。今回は、駅前通り地区に居住する住民を対象に、宇奈月温泉の中心となる駅前通りにおける景観ガイドラインの作成のためのワークショップを開催した。 本ワークショップにおいては、まず、宇奈月温泉のあるべき町並み像について住民に議論してもらった。その結果、温泉地らしい町並みや、自然と調和した景観が望ましいという意見が共有された。さらに、これらの意見をイメージしながら、具体的に建物や屋外広告物、外部空間のあり方について議論した。その成果については、以下の「宇奈月温泉景観ガイドライン」という形でとりまとめた。 ★宇奈月温泉景観ガイドライン（全 9 ページ） ○ガイドラインの方針 ○目指すべき町並み像 ○ガイドライン ・建築物 ・工作物 ・屋外広告物 ・外部空間 今後、建替えや改修の時期にあわせ、本ガイドラインに沿った建物デザインが導入されることになり、少しずつ住民が目標とする温泉地らしい町並みが形成されることとなる。 一方、都市計画研究室の学生にとっては、実際の地域を対象として住民の生の声を聴きながらガイドラインという形にすることで、まちづくりの面白さと難しさを実感できる貴重な経験になったと考えられる。

シンポジウム・ワークショップ開催助成 報告書

代表者 (所属・職名・氏名)	理工学部・教授・大坂博幸
集会名	Workshop on Quantum Information Theory and related Topics
開催日程	2014 年 9 月 4 日～2014 年 9 月 6 日
会場	衣笠キャンパス 研心館 632 号室
報告内容	・参加者 37 名（学外者 22 名、学内者 15 名）（その内海外研究者 7 名） ・講演者 12 名（博士院生 2 名）（その内海外研究者 3 名） ・2012 年から継続して開催されている量子情報理論に関する回目の国際研究集会であり、今回は多くの国内外の大学・研究所から参加があり、盛況であった。1 日目は、量子エントロピーや作用素不等式に関連する講演、2 日目は、量子ファイナンスに関連する講演や量子エンタングルメント、自由確率論に関する講演、最終日は作用素単調関数に関する講演がおこなわれた。講演後活発な議論がなされ非常に充実をした。2015 年 9 月 1 日～9 月 3 日には、ハノイ数学研究所で第 4 回の同名の国際研究集会が開催されることが確定している。報告者はこの研究集会の主催者の一人として、講演者の手配をしている。

シンポジウム・ワークショップ開催助成 報告書

代表者 (所属・職名・氏名)	薬学部・教授・浅野 真司
集会名	第2回 上皮バリアと上皮輸送に関する国際シンポジウム
開催日程	2014年11月1日(土) ～ 11月2日(日)
会場	BKC ローム記念館ホール ほか
報告内容	国内の生理学、細胞生物学、薬物動態学の第一線の研究者(33名、シンポジスト18名)に加え、腎上皮バリア・輸送分野の第一線の研究者であるカンザス大学医学部メディカルセンターのYu教授を招きシンポジウムを開催した。シンポジウムでは生体防御や、薬物吸収の最前線である上皮組織の機能構築について分子レベル、組織レベル、個体レベルでの最先端の研究成果を発表し、意見交換を行った(参加者60名)。本学からは薬学部の桂敏也先生、藤田隆司先生、波多野亮先生がシンポジウム発表をされた。 シンポジウムでは、名古屋大学大学院の藤吉好則教授をお招き、タイトジャンクション(細胞間の密着結合)を構成するタンパク質であるクロージンの結晶構造と生体バリアの生理機能について特別講演を開催した。また、基礎研究として生体バリアの分子基盤や輸送に関する研究から、新たな創薬に直結する応用研究まで幅広く発表がなされ、活発な意見交換、情報交換がなされた(製薬企業からの参加者2名)。さらに、若手研究者(学部生・大学院生)を中心にポスター発表、ポスター討論を行った。本学の学生、大学院生13名もシンポジウムに参加した。 おもな参加者は以下の通り。 ・ Alan SL. Yu (University of Kansas Medical Center, Kansas City) ・ 藤吉好則 (名古屋大学大学院創薬科学研究科) ・ 丸中良典 (京都府立医科大学医学部) ・ 月田早智子 (大阪大学大学院生命科学研究科) ・ 永森収志 (大阪大学大学院医学系研究科) ・ 木村 徹 (杏林大学医学部) ・ 河原克雅 (北里大学医学部) ・ 酒井秀紀 (富山大学大学院医薬系) ・ 鈴木喜郎 (生理学研究所) ・ 永井純也 (大阪薬科大学) ・ 林 久由 (静岡県立大学食品栄養学部) ・ 宮本賢一 (徳島大学医学部医科栄養学科)

- | | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none">・ 鈴木喜郎（岡崎バイオサイエンスセンター細胞生理部門）・ 五十里彰（岐阜薬科大学）・ 加藤将夫（金沢大学大学院薬学研究科）・ 尾畑祐樹（千葉大学大学院医学研究院） ほか |
|--|---|

シンポジウム・ワークショップ開催助成 報告書

代表者 (所属・職名・氏名)	情報理工学部・教授・平林晃
集会名	電子情報通信学会第29回信号処理シンポジウム
開催日程	平成26年11月11日～13日
会場	立命館大学朱雀キャンパス
報告内容	上記日程でシンポジウムを開催し、立命館大学朱雀キャンパスにおいては以下の内容を実施した： 11/11(火)13:30～17:50, 学生向け講演会「企業の最前線で生きる信号処理技術」 趣旨に賛同頂けた9社から信号処理分野の研究者にお越しいただき、各社での信号処理研究の取り組みやその活用法についてご講演頂いた。技術的な話だけでなく、各講演者ご自身の経験を踏まえた若手研究者向けのメッセージがそれぞれの講演にちりばめられており、当該分野の学生にとって非常に価値のある貴重な経験となった。また、大学とは異なる制約や視点からの研究活動についての話は、学生や若手だけでなくシニアの大学研究者にとっても新鮮で興味深いものであった。 講演後におよそ1時間の懇談会を設けて、学生と各社の研究者との交流の時間を用意したが、会場のあちらこちらで熱心に質問をする学生の姿がみられ、終了時刻になっても会場を閉められないほど盛況であった。 参加者へのアンケートに対して、回答のあった方の94%が本イベントの評価として「期待以上」あるいは「期待通り」と答えており、本イベントの目的が達成されたと考えられる。 11/13(火)15:00～17:30, 特別講演 京都大名誉教授片山徹先生および IEEE Signal Processing Society Distinguished Lecturer である V. John Mathews 教授を招聘してそれぞれ、フィルタリングとシステム同定および Signal Processing for Health Monitoring of Aerospace Structures に関する特別講演を頂いた。200名を超える参加者が聴講し、極めて有意義な講演会とすることができた。

2014 年度 立命館大学理工学研究所 学術講演会

主催 :理工学研究所

日 時: 2014 年 12 月 10 日(水) 18:00～19:30

会 場: 立命館大学びわこ・くさつキャンパス ローム記念館 5 階 大会議室

講 師: 京都大学医学研究科 メディカルイノベーションセンター
センター長 成宮 周氏

演 題: 「ストレス、こころ、プロスタグランジン」

要 旨: ストレスは、内的や外的環境の変化で生体の恒常性が破綻した状態をいう。ストレスは、病気などの身体への刺激とともに新規環境や外敵への暴露といった心理的刺激で惹起され、交感神経の緊張やストレスホルモンの分泌と言った身体的反応に加え、不安、恐怖、攻撃性、あるいは、うつ状態といったこころの反応を引き起こす。講演では、これらストレス反応の脳内メカニズムにおける炎症分子プロスタグランジンの働きについて述べられた。

理工学研究所の運営

2014 年度	所長	深川 良一	理工学部都市システム工学科
	主事	堀 利行	生命科学部生命医科学科
	委員	福本 善洋	理工学部数理科学科
		山崎 勝弘	理工学部電子情報工学科
		木股 雅章	理工学部機械工学科
		奥 健太	情報理工学部情報コミュニケーション学科
		西原 陽子	情報理工学部メディア情報学科
		野間 昭典	生命科学部生命情報学科
		一川 暢宏	薬学部薬学科
		塩澤 成弘	スポーツ健康科学部スポーツ健康科学科

2015 年 3 月 10 日 印刷

2015 年 3 月 31 日 発行

立命館大学理工学研究所紀要 第 73 号

〒525-8577 滋賀県草津市野路東一丁目 1 番 1 号
編 集 兼 立 命 館 大 学 理 工 学 研 究 所
発 行 所 代 表 者 深 川 良 一

〒600-8047 京都府京都市下京区松原通麴屋町東入
印 刷 所 石不動之町 677-2
(株)田中プリント

CONTENTS of No. 73, 2014

<Treatise>

1. Quadratic reciprocity law over number fields	Hidenori Ishii.....	1
2. Relationship between polishing performance and viscoelasticity of epoxy resin polishing pads	Yasuhiro TANI, Yu ZHANG and Junji MURATA.....	5
3. Development of partially Ni-coated diamond abrasives for electroplated tools	Yu ZHANG, Yasuhiro TANI and Junji MURATA.....	15
4. A feasibility study for the application for slicing Si ingots using a wet etching assisted by wire-friction	Yasuhiro TANI, Yu ZHANG and Junji MURATA.....	27
5. Social Sciences of Hope in the Theory of Language Communication and Language Philosophy - Is it possible for us to fully understand each other? : From discussions of W.V.O. Quine, D. Davidson & R. Rorty	Tsukasa Yamanaka.....	37
6. Formation of Forsterite Grains and Direct Observation of The Sublimation of Crystal Formation Grain	Chihiro Kaito, Saito Yoshio, Chiyoeko Koike.....	45
7. Shikiba Construction Method and its Origin	Masao Okuda, Youji Nakane, Yukihiko Kani, Katsuhiro Nishimura and Kiyoshi Hayakawa.....	53
8. History of cut and soil at the ruins	Katsuhiro Nishimura, Yukihiko Kani, Masao Okuda, Youji Nakane, Kiyoshi Hayakawa.....	63
9. Operations Research Linear Planning solving with Excel Solver 1	Yoshiki Hayashi.....	71
Abstracts of Research Projects using Institute Experimental Apparatuses		79
Other Activities		125