

*Research Reports of  
National Institute of Technology, Tokyo College  
No.46(1), Nov. 2014*

東京工業高等専門学校  
研 究 報 告 書



第 46(1)号

2014. 11

目次

放射線教育の充実に向けた取り組み .....	尾 沼 猛 儀	1
	中 川 修	
	多羅尾 進	
	綾 野 秀 樹	
	一 戸 隆 久	
	北 越 大 輔	
	衣 笠 巧	
	黒 澤 剛	
	前 段 眞 治	
	大 野 秀 樹	
一方向性炭素繊維強化樹脂積層板および金属材料の被着体を有する .....	志 村 穰	9
単純重ね合わせ接着継手の曲げ強度特性	豊 川 澄 斗	
	黒 崎 茂	
	林 丈 晴	
Comparison between Anand Model and Classical Decoupled Creep and Plasticity Model .....	林 丈 晴	14
	高 部 眞 彰	
	海老原 理 徳	
	志 村 穰	
電力系統の周波数変動解析と負荷側での周波数制御分担の検討 .....	土 井 淳	22
	寺 崎 眞 志	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> を用いた太陽電池用パッシベーション膜の評価 .....	伊 藤 浩	30
X P S 分析による陽極酸化と熱酸化の比較 .....	柚 賀 正 光	35
平成 25 年度教員教育研究業績 .....		40

CONTENTS

Takeyoshi ONUMA	...Educational Activities on Radiation Physics .....	1
Osamu NAKAGAWA		
Susumu TARAO		
Hideki AYANO,		
Takahisa ICHINOHE		
Daisuke KITAKOSHI		
Takumi KINUGASA		
Takeshi KUROSAWA		
Shinji MAEDAN		
Hideki OHNO		
Jyo SHIMURA	.....Bending Strength Properties for Adhesively Single-lap Joints Composed of	
Sumito TOYOKAWA	bidirectional CFRP Laminates and Metal Materials .....	9
Shigeru KUROSAKI		
Takeharu HAYASHI		
Takeharu HAYASHI	....Comparison between Anand Model and Classical Decoupled Creep and Plasticity Model.....	14
Masaaki TAKABE		
Yoshinori EBIHARA		
Jyo SHIMURA		
Atsushi Doi	.....Frequency Fluctuation Analysis of Electric Power System	
Masashi Terasaki	and Frequency Control Sharing on Demand Side .....	22
Hiroshi ITO	.....Characterization of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> passivation film for silicon solar cells .....	30
Masamitsu YUGA	.....Comparison of anodic oxidation and thermal oxidation by XPS .....	35

## 放射線教育の充実に向けた取り組み

尾沼猛儀\*, 中川 修\*, 多羅尾 進\*\*, 綾野秀樹\*\*\*,  
一戸隆久\*\*\*\*, 北越大輔\*\*\*\*\*, 衣笠 巧\*,  
黒澤 剛\*\*\*\*\*, 前段眞治\*, 大野秀樹\*

### Educational Activities on Radiation Physics

Takeyoshi ONUMA, Osamu NAKAGAWA, Susumu TARAO, Hideki AYANO,  
Takahisa ICHINOHE, Daisuke KITAKOSHI, Takumi KINUGASA,  
Takeshi KUROSAWA, Shinji MAEDAN, Hideki OHNO

Educational activities on radiation physics were performed by adjusting contents for student's school-age. The contents consist of lectures and experiments, in which background knowledge of physics determine experimental themes and measuring objects, i.e., measuring natural radiation using Geiger-Mueller (GM) counter in the first year, measuring radiation from familiar objects using GM counter in the third year, and measuring  $\gamma$ -ray radiated from laboratory radiation sources using scintillation counter in the advanced courses. We are confident that deep understanding in radiation physics will be more or less an aid of student's life in the future.

(Keywords: radiation physics, nuclear energy, counter)

#### 1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災により発生した津波によって東京電力株式会社福島第一原子力発電所で事故が起こり、この事故により放出された放射性物質は、日本に大きな被害を与えた[1]。特に風に運ばれ飛んできた放射性物質が多量に降った地域では、多くの住民が自宅から避難を強いられた。福島第一原子力発電所の廃止に向け国を挙げた努力が続けられているが、原子炉からの核燃料の取り出しや汚染水の問題、作業要員の確保及び作業環境の改善などの課題があり、今後もそれらの解決に向けた努力が必要となる。

工学を扱う高専においては、将来これらの問題解決に向けて直接携わるようになる学生や、あるいは製品開発等を通じ間接的に携わるようになる学生がいると考えられる。また、仕事として関わらずとも、これらの課題に正面から向き合っていくため、放射能・放射線への正しい理解が求められる。このような背景の中、技術者教育の一環として放射能・放射線教育を行った。

放射線教育充実に向けた取り組みを図1にまとめる。重要課題の解決努力に向けた取り組みとして平成24年度重点配分経費「放射線教育の充実に向けた取り組み」を行った。本科1年生(15~16歳)に対しては、学齢を考慮して日常生活の中に放射能・放射線が存在すること、その正しい測定方法など、一市民としても知って

おいて欲しい内容について「工学基礎演習」において講義と実験を行った。実験では、ガイガー・ミュラー(GM)計数管を用い、自然放射線の測定を行った。本科3年生(17~18歳)に対しては、「応用物理」において、放射能・放射線に関する物理法則について講義し、身近なものから出る放射線の測定実験、 $\beta$ 線の吸収実験を行った。専攻科の学生(18~20歳)に対しては、「KOSEN 発"イノベーション・ジャパン"」プロジェクト教育プログラム開発事業の一環として、「物理教育におけるイノベーション思考実践」を掲げ、本科

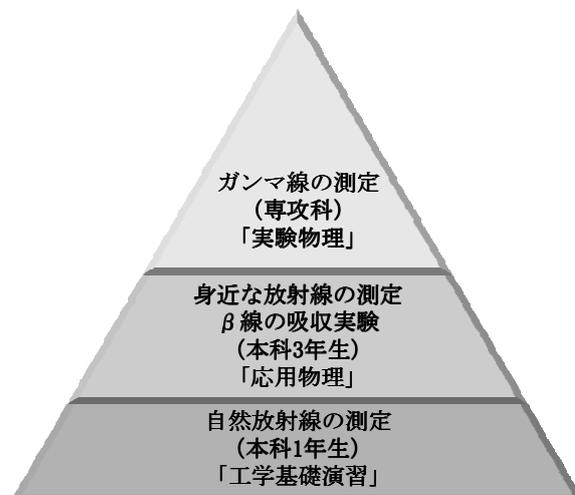


図1 放射線教育充実に向けた取り組み

\*一般教育科(物理), \*\*物質工学科, \*\*\*機械工学科, \*\*\*\*電気工学科,  
\*\*\*\*\*電子工学科, \*\*\*\*\*情報工学科, \*\*\*\*\*教育研究技術支援センター

で学んだ「物理」が科学技術の中で、どのような役割を果たしているのかを講義・実験を通じて認識させ、これから先それをどう活かせるかを議論させた。具体的には、「実験物理」において、原子核・放射線物理を中心とした講義を行うとともに、ガンマ線検出器の試作を行い線源試料の測定実験を行った。次章からは、各取り組みについて紹介する。

## 2. 自然放射線の測定 (本科1年生)

「核種」とは原子核の種類のこと、なかでも放射線を放出するものを放射性核種という。放射性核種は、「人工で生成されたもの」(人工放射性核種)と、「自然を起源としたもの」(自然起源の放射性核種)がある。自然起源の放射性核種は、起源の違いによって「地球形成過程で宇宙空間から地球に取り込まれた放射性核種」と「宇宙線によって自然に生成される放射性核種」に分けられる。人工放射性核種を含む物質を人工放射性物質という。

図2に示すように、地球誕生時、地球には自然起源の放射性核種が多く存在していた。それらの自然起源の放射性核種は、様々な放射線を出して壊変し、最後には放射線を出さない安定した核種になった。しかし、放射性核種ごとに安定な核種になる速度が違うため、安定した核種になる速度が遅いものは地球誕生から46億年過ぎた現在でも残っている。そのため、現在、地球を構成するすべての天然資源(主に土壌や岩石や鉱石)には、地域や物質で差はあるが、自然起源の放射性核種が含まれている。

地球形成過程で宇宙空間から地球に取り込まれた主な自然起源の放射性核種に、カリウム40、トリウム232、ウラン238などがある。カリウム40は主に半減期12.5億年でβ崩壊しカルシウム40に壊変する。トリウム232は半減期140.5億年でα崩壊しラジウム228に壊変する。ウラン238は半減期44.68億年でα崩壊しトリウム234に壊変する。崩壊後は、さらに様々な放射線を出して壊変する。

放射線の検出にはGM計数管式サーベイメータ(株

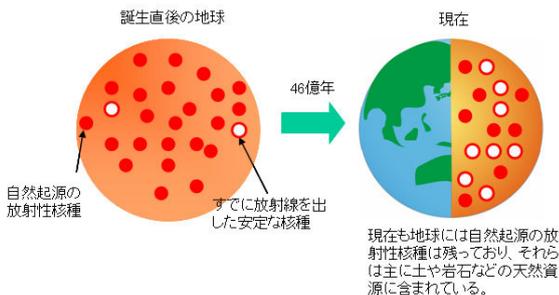


図2 自然起源の放射性核種の変化[2]

式会社ダブリュービーエス:RD-II) [図3参照]を用いた。β線に対する感度が最も高く、α線やγ線も検出できる。授業の様子を図4に示す。一班4~5名のグループに分かれ、校内各所で測定を行わせた。測定シートに氏名、測定場所、計数率を記録させた。測定後は、教室にて測定結果を発表し、結果について議論した。校舎内、体育館、正門、グラウンド、学生寮周辺で測定を行ったが、いずれも1分間当たりの計数率は20カウント前後であり、幸い校内に目立った汚染箇所は発見されなかった。検出器に初めて触れる機会であり、興味深い経験だったと感想を述べる学生が多かった。測定シートは工学基礎演習のレポート課題として提出させた。



図3 GM計数管式サーベイメータ(株式会社ダブリュービーエス:RD-II)



図4 自然放射線の測定(本科1年生)の講義と測定の様子

3. 身近な放射線の測定 (本科3年生)

「応用物理」にて、放射能・放射線に関する物理法則について講義した。原子は原子核と電子とからなり、原子核は陽子と中性子（あわせて核子と呼ばれる）から構成されている。陽子の数を原子番号、核子の数を質量数と呼ぶ。原子番号が等しく、質量数が異なる原子を同位体という。原子の種類は原子番号によって決まるが、一つの原子にいくつかの同位体が存在することが多いので、一つ一つの核種を区別して呼ぶために、元素の名前のあとに質量数を付して呼ぶことにしている。例えば、原子番号19のカリウムの同位体について、天然における存在の比率は、カリウム 39 (93.22%)、カリウム 40 (0.0118%)、カリウム 41 (6.77%) である。カリウム 39 とカリウム 41 は安定同位体だが、カリウム 40 は放射性同位体と呼ばれ、先に述べたように半減期 12.5 億年でβ崩壊しカルシウム 40 に壊変する。カリウムは天然に広く存在する元素で、私たちの体にも体重の 0.23%ほど含まれており、重要な役割を果たしている。その殆どは、安定なカリウムであるが、極微量に放射性同位体も含まれる。

β線は、高速の電子の流れである。電子は原子核の中にはないが、原子核内の中性子が陽子と電子とニュートリノに変化するときに生成、放出される。その結果、質量数は変わらないが、原子番号が1だけ増えた原子核に変わる。これをβ崩壊と呼ぶ。β崩壊に伴って放出されるエネルギーは崩壊前後の質量欠損で明確に決まる。しかし、エネルギーは崩壊後の原子核とβ粒子、ニュートリノに配分されるため、放出されるβ線のエネルギーは一義的に決まらず、連続的な値をとる。

α線は、高速のヘリウム原子核の流れである。原子核内の陽子2個と中性子2個がヘリウム原子核となって飛び出るので、質量数が4、原子番号が2だけ減った原子核に変わるが、これをα崩壊と呼ぶ。例えば、トリウム 232 は半減期 140.5 億年でα崩壊しラジウム 228 に壊変する。また、ウラン 238 は半減期 44.68 億年でα崩壊しトリウム 234 に壊変する。α崩壊に伴って放出されるエネルギーは崩壊前後の質量欠損で明確に決まっており、崩壊後の原子核とα粒子に質量に反比例した比率で配分されるため、放出されるα線のエネルギーは、核種ごとにいつも一定の値をとる。

γ線は、一般にX線よりも波長の短い電磁波であるとされているが、厳密に区別すると、X線は原子核外起源の電磁波、γ線は原子核内起源の電磁波ということになる。α崩壊やβ崩壊によって励起状態にある原子核が、エネルギーのより低い安定な基底状態に移る

ときに、エネルギーの差を電磁波として放出する現象をγ崩壊と呼び、この時放出された電磁波をγ線と呼ぶ。γ崩壊では、原子核の質量数や原子番号は変化しない。γ崩壊は核異性体転移 (isomeric transition) とも呼ばれ、略してITと書くこともある。例えば、セシウム 137 は約 30 年の半減期でβ崩壊し、バリウム 137m (mは準安定状態を表す) になる。バリウム 137m は約 2.5 分の半減期でγ崩壊し、安定なバリウム 137 になる。図 5(a)によると、94.4%がバリウム 137m を経てバリウム 137 に崩壊し、残りの 5.6%が直接バリウム 137 にβ崩壊する。放出されるγ線のエネルギーは 0.661 MeV である。コバルト 60 は、医療用、工業用のガンマ線源としてしばしば利用される。図 5(b)に示すように、コバルト 60 は約 5 年の半減期でβ崩壊しニッケル 60m になる。その後ニッケル 60m はγ崩壊し安定なニッケル 60 になるが、その際に 1.17 MeV と 1.33 MeV の 2本のγ線を放出する。

以上が、講義のおおまかな内容であるが、この他に「原子力発電」をキーワードに核分裂、核融合反応についての講義も行った。

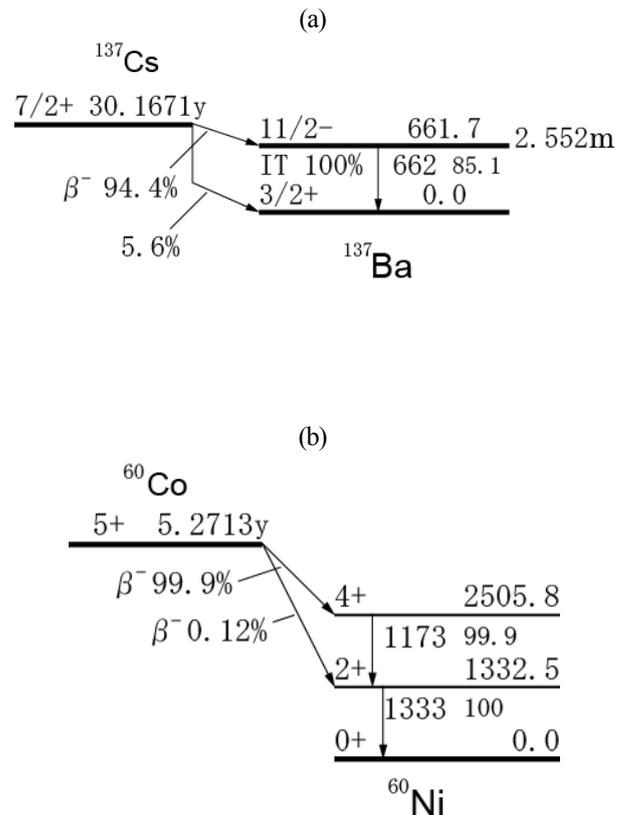


図5 (a) セシウム 137 と (b) コバルト 60 の壊変図[3]

3年生の実験は「身近な放射線の測定」、「β線の吸収実験」の2テーマにより構成され、各一週ずつで行われる。以下に「身近な放射線の測定」に関して概要を述べる。



図6 微量の放射性物質を含む身近な物

図6に示すように、3つの測定試料を準備した。

I. 湯の花 (玉川温泉の華)

秋田県玉川温泉で採取された湯の花 (50%) に、分散剤として天然のカオリン (白土) (50%) が加えられている。微量のラジウム 223 を含む。ラジウム 223 は崩壊しラドン 219 に壊変する。

II. 花崗岩

御影石と呼ばれ、古くから石材として使われてきた。微量のカリウム 40、トリウム 232、ウラン 238 を含む。

III. カリ肥料

カリは窒素、リン酸とともに肥料の三要素の一つである。俗に根肥と言ひ、根の発育を促進する。微量のカリウム 40 を含む。

実験は、自然放射線 (バック・グラウンド) の測定、試料を使った放射線の測定、距離の実験、遮へいの実験① (材質による違い)、遮へいの実験② (厚さによる違い) により構成される。例えば、距離の実験では図 7(a)のように配置し、試料と検出器の間の距離を変化させた。検出器に表示された数値を1分おきに3回記録し平均値を求めた。そして、3回の平均値から自然放射線 (バック・グラウンド) を差し引き正味の値を求めた。得られた測定例を図 7(b)に示す。横軸に距離の2乗の逆数、縦軸に計数率の正味の値をとった。実験から、試料からの距離の2乗に反比例し、計数率が減少することが分かった。遮へいの実験① (材質による違い) では、図 7(c)のように配置し測定した。遮へい材として、紙、ポリ塩化ビニル、アルミニウム (密度はそれぞれ約 0.8、1.4、2.7 g/cm<sup>3</sup>) を使用した。測定から、遮へい材の密度が大きいほど測定値が減少することが分かった。遮へいの実験② (厚さによる違い) では、遮へい材として用いるアルミニウムの厚さを 0.0、

0.5、1.6 mm と変化させ測定した。得られた測定例を図 7(d)に示す。横軸にアルミの厚さ、縦軸に計数率の正味の値をとって、関係を片対数グラフに描いた。放射線の量が半分に減る場合の物質の厚さを半価層という。実験からアルミの半価層は 0.35 mm であることが分かった。

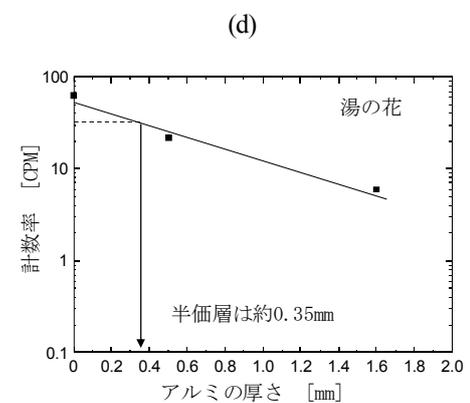
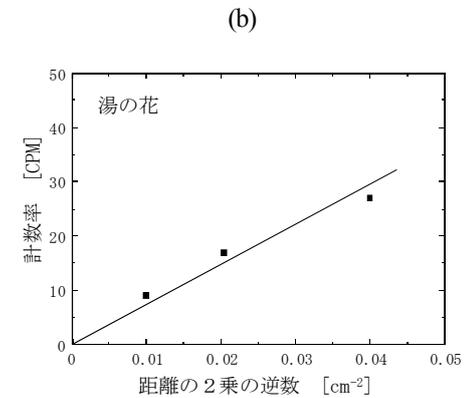
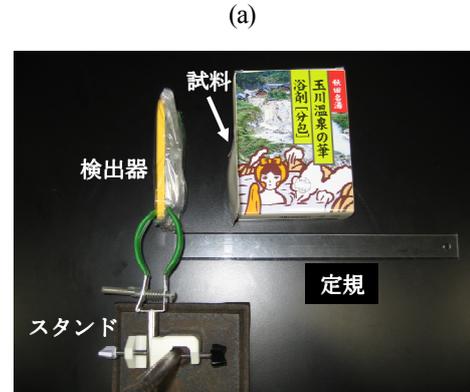


図7 (a) 距離の実験、(b) 距離と計数率の関係、(c) 遮へいの実験、(d) アルミの厚さと計数率の関係

4. ガンマ線の測定 (専攻科)

「実験物理」において、原子核・放射線物理を中心とした講義を行うとともに、ガンマ線検出器の試作を行い線源試料 (セシウム 137 : Cs-137、コバルト 60 : Co-60) の測定実験を行った。実験では、シンチレーション検出器を製作し、ガンマ線スペクトルの測定を行い、ガンマ線と物質の相互作用について学ぶことを目的とした。以下に概要を述べる。

4. 1 放射線検出器の原理

どんな素粒子でもそれが検出器と何らかの反応をしなければ我々はそれを「見る」ことは出来ない。粒子を「見る」原理は検出器の種類によって様々である。

4. 1. 1 GM 計数管式サーベイメータ

図 8 のように、GM 計数管、高圧電源、計数回路により構成される。GM 計数管内部にはアルゴンガスやメタンガスが入れられており、一端をマイカで封じ、入射窓として用いる。気体中を放射線が通過する際に、気体原子 (分子) が電離する。電離によって生じた電子は陽極に向かって加速されるが、電界強度が非常に大きいため、加速された電子が新たな気体原子 (分子) を電離する 2 次電離を引き起こす。この 2 次電離が次から次に起こることで電子なだれが生じ、パルス電圧として計数される。荷電粒子の検出に適しており、特にβ線検出器として用いられる。α線は窓による吸収から検出効率が低い。γ線は直接電離作用が少ないため、GM 管の管壁との相互作用で生じる 2 次電子によって気体原子 (分子) の電離を引き起こす。そのため、計数効率は 1% 程度しかない。陽極の周りの電界が大きく、電離しやすい。一度にたくさんのβ線を入射すると、陽極周辺に陽イオンによる筒 (空間電荷と呼ぶ) が作られことになる。この陽イオンによる筒は静電遮蔽として電界を弱め、窒息現象を引き起こす。一般に、最大 10000 cpm (counts per minute: 1 分間当たりの計数率) 程度までが検出できる。

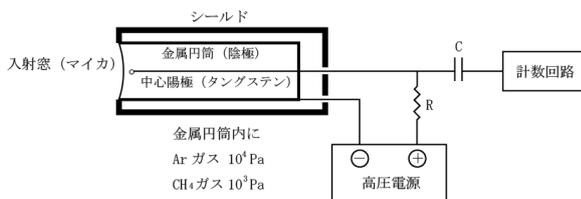


図 8 GM計数管の装置構成

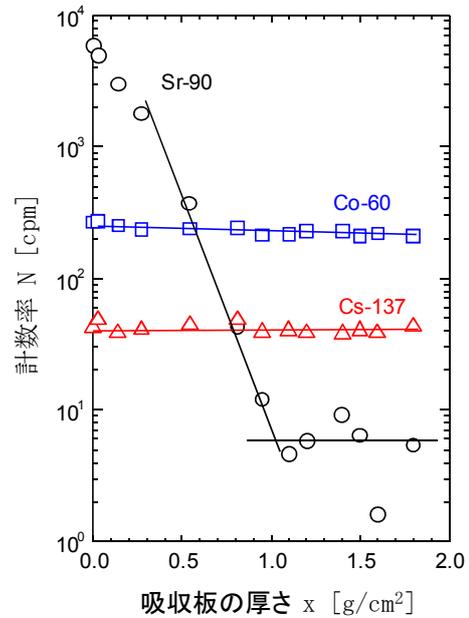


図 9 β線の吸収実験

(吸収板にはアルミニウムを使用)

図 9 は、GM 計数管を用い、β線の吸収実験を行った結果である。ストロンチウム 90 (Sr-90) はβ線源として用いられるが、アルミニウムの吸収板の厚さを変化させることで計数率が変化していることが分かる。一方、Cs-137 は  $8.45 \times 10^3$  Bq (ベクレル) なので、1 秒間に  $8.45 \times 10^3$  個のγ線を放出するが、測定値は  $4 \times 10^1$  cpm、Co-60 は  $1.02 \times 10^4$  Bq であるが測定値は  $2 \times 10^2$  cpm であり、やはり 1% 程度しか検出されない。また、アルミニウムによる吸収は見られないことが分かる。

4. 1. 2 CsI(Tl)シンチレーション検出器

図 10 のように、シンチレータ、光検出器、チャージアンプ、多重波高分析器 (またはマルチチャンネルアナライザと呼ばれる) により構成される。シンチレータの光の量は微量であるため、チャージアンプで増幅する。増幅された電圧パルスの高さは、γ線のエネルギーに比例するため、パルスの高さ分布を測定することにより、γ線のエネルギー分布を得ることができる。本実験では、光検出器として感度波長が 320~1100 nm の Si PIN フォトダイオードを用いた。また、多重波高分析器の代替として、パソコンのサウンドカードを使

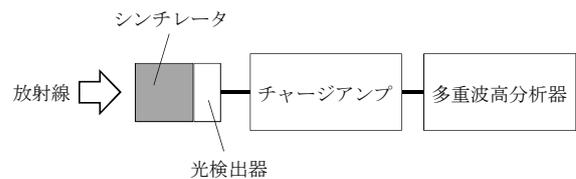


図 10 シンチレーション検出器の装置構成

った波高分析ソフト PRA.EXE [4]を用いた。

電離性放射線の入射により蛍光 (scintillation) や磷光 (phosphorescence) を発生する物質をシンチレータ (scintillator) という。シンチレータは、NaI(Tl)、CsI(Tl)、CsI(Na)などの無機シンチレータ、アントラセン、スチルベンなどの有機シンチレータ、気体シンチレータ、液体シンチレータなどに大別される。本実験では、ヨウ化セシウム結晶 (CsI) に微量のタリウム (Tl) が添加された CsI(Tl)シンチレータを用いた。ヨウ化セシウム結晶は、禁制帯幅 $>8\text{eV}$  (155nm 以下) の絶縁体である。微量のタリウム (Tl) を添加することで、図 11(a) に示すようにタリウム原子は禁制帯の中に活性化中心と呼ばれるエネルギー準位を形成する。価電子帯の電子は、十分なエネルギーを付与されたとき、伝導帯に遷移し、価電子帯には正孔が生成される。タリウムが添加されていない場合は、その後、そのまま再結合し発光するが、その時の発光波長 (155nm 以下) は紫外線領域なので検出することができない。一方、タリウムが添加された結晶では、生成された正孔がタリウム原子をイオン化する。そして伝導帯の電子がタリウムイオンの励起状態へ移行し、その後基底状態へ遷移す

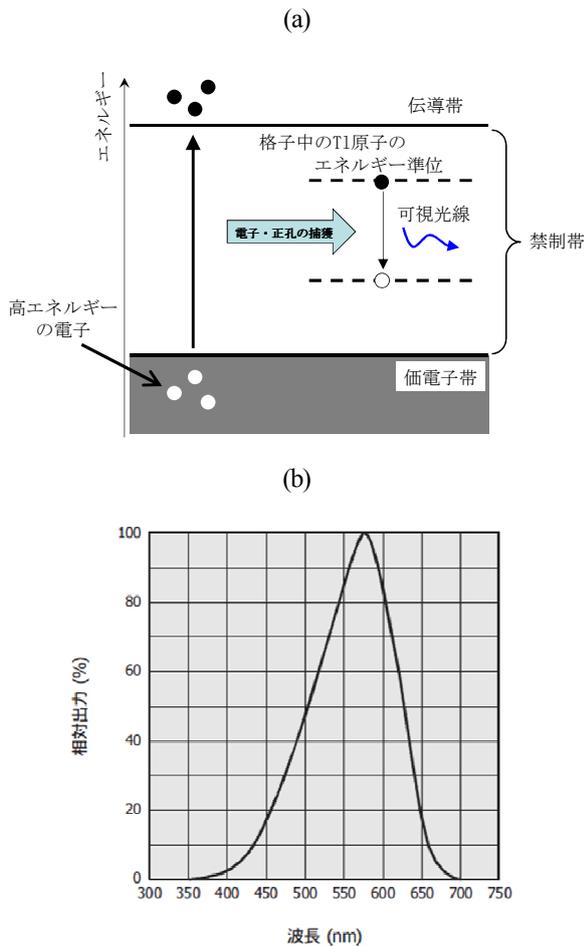


図 11 (a) 無機シンチレータの発光メカニズム  
(b) CsI(Tl)の発光スペクトル[5]

際に図 11(b)に示すように 560 nm をピークとする可視光線を発光するため検出することができる。

#### 4. 2 $\gamma$ 線と検出器との相互作用

$\gamma$ 線が検出器に入射すると図 12 に示す3つの電磁相互作用によりエネルギーを電子に移行する[6,7]。この電子のエネルギーはさらに他の電子へと移行され、シンチレータが発光した際に光パルスを作る。光パルスの高さは $\gamma$ 線のエネルギーに比例する。光パルスは光検出器で電圧パルスへと変換される。

光電効果では、 $\gamma$ 線のエネルギーから束縛エネルギーを差し引いた運動エネルギーが光電子に与えられる。コンプトン散乱では、 $\gamma$ 線と電子が弾性散乱を起こし、エネルギー $E_{\gamma'}$ の一部を電子に与える。散乱後の $\gamma$ 線のエネルギー $E_{\gamma''}$ は、散乱角度を $\theta$ とすると

$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}}{m_e c^2}(1 - \cos \theta)} \quad (1)$$

となる。ただし $m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$  は電子の静止質量を表す。散乱後の $\gamma$ 線は検出器内で再び相互作用を起こす場合もあり、起こさない場合もある。 $\gamma$ 線のエネルギー $E_{\gamma}$ が $2m_e c^2 = 1.02 \text{ MeV}$  より大きくなると、電子対生成が起こる。

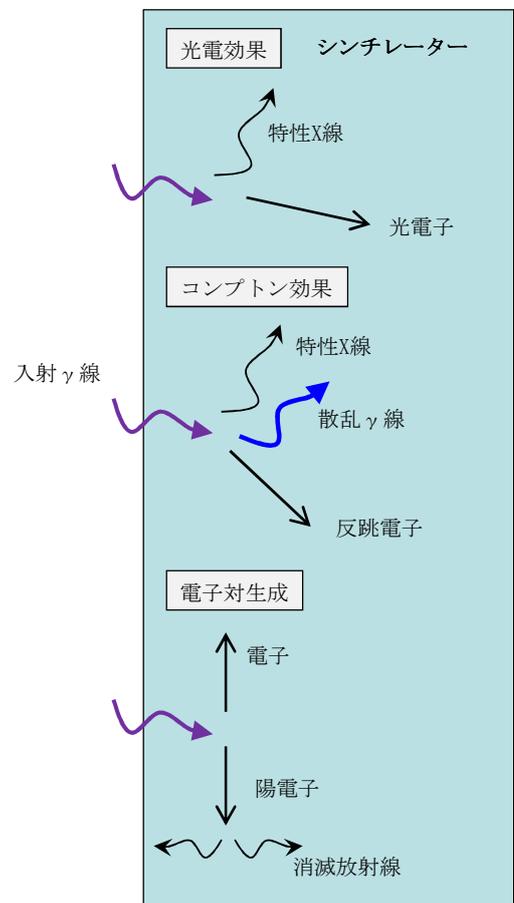


図 12  $\gamma$ 線と検出器との相互作用の模式図

観測される $\gamma$ 線エネルギースペクトルの模式図を図13に示す。光電効果で検出されるピークは、図に示すように、光電ピーク（全エネルギーピーク）と呼ばれる。光電子による電圧パルスと特性X線などによる電圧パルスがほぼ同時に観測されるため、電圧パルスは入射 $\gamma$ 線の全エネルギーに相当するピークを形成する。コンプトン散乱で生じた反跳電子のエネルギーはゼロから最大エネルギー $E_{max}$ までの連続部分（コンプトン連続部）を示す。 $E_{max}$ は、式(1)で $\theta=180^\circ$ とおいた時の $E_\gamma$ を $E_\gamma$ から引いたものであり、

$$E_{max} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_e c^2}{2E_\gamma}} \quad (2)$$

となる。コンプトン連続部の高エネルギー終端部はコンプトンエッジと呼ばれる。

以上は、 $\gamma$ 線と検出器の間の直接的な相互作用によるエネルギー分布であるが、実際の測定では、周りに存在する物質のために幾つか特徴的なピークが現れる。まず、検出器に対して $\gamma$ 線源の背後に物質が有ると、そこでコンプトン散乱された $\gamma$ 線が検出器に入射することがある。この $\gamma$ 線の最小エネルギー $E_{min}$ は、式(1)で $\theta=180^\circ$ と置いた時の $E_\gamma$ であり、

$$E_{min} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{2E_\gamma}{m_e c^2}} \quad (3)$$

となる。その位置に出来るピークは後方散乱ピークと呼ばれる。コンプトンエッジに相当するエネルギーと後方散乱ピークのエネルギーの和は、 $E_\gamma$ の全エネルギーに等しくなる。また、検出器や $\gamma$ 線源の周りに原子番号の大きな物質（よくあるのは遮蔽材の鉛など）が存在する場合、そこで光電吸収を起した原子は比較的高いエネルギー（数10 keV）の特性X線を放出し、しきい値の低く設定された $\gamma$ 線検出器では検出されることがある。また、 $\gamma$ 線源自体が原子番号の大きな元素である場合には、壊変の際に高いエネルギーの特性X線を出し検出される。

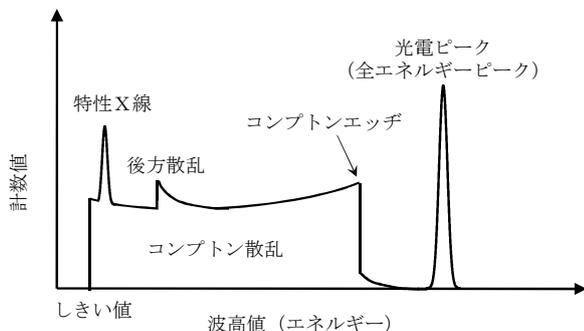


図13  $\gamma$ 線エネルギースペクトルの模式図

#### 4. 3 CsI(Tl)シンチレーション検出器の製作

検出器の全体像を図14(a)に示す。図14(b)に示すように、検出ヘッドにはシンチレータと光検出器が組み込まれている。実験では、まず検出ヘッドを製作し、次に図14(c)に示す回路図に従いチャージアンプを製作した。

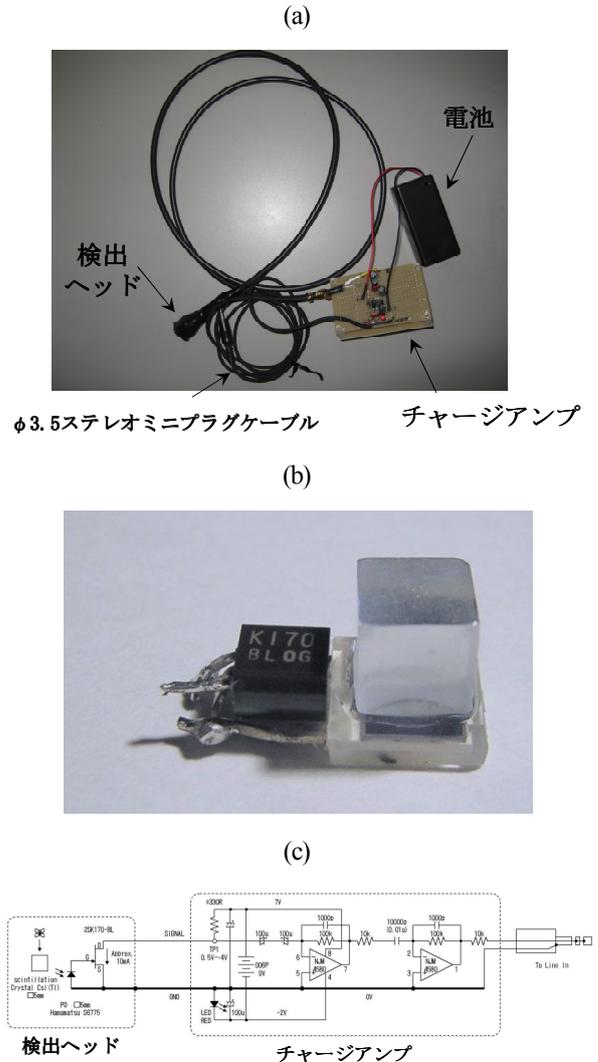


図14 (a) シンチレーション検出器の全体像 (b) 検出ヘッド[8]、(c) 回路図[8]

#### 4. 4 結果と考察

自然放射線（バック・グラウンド）、Cs-137、Co-60を10分ずつ測定した。測定の際は、波高分析ソフトPRA.EXEのshape toleranceを使用し、Height thresholdを2、Tolerance thresholdを1.5、Tolerance correctionを0とした。パソコン（HP ProBook 6560b/CT）のマイク入力設定は50とし、マイクブーストは0 dBとした。

図15(a)に測定例を示す。光電ピーク、コンプトンエッジ、後方散乱ピークがはっきりと現れていることが分かる。式(2)よりCs-137、Co-60のコンプトンエッジ

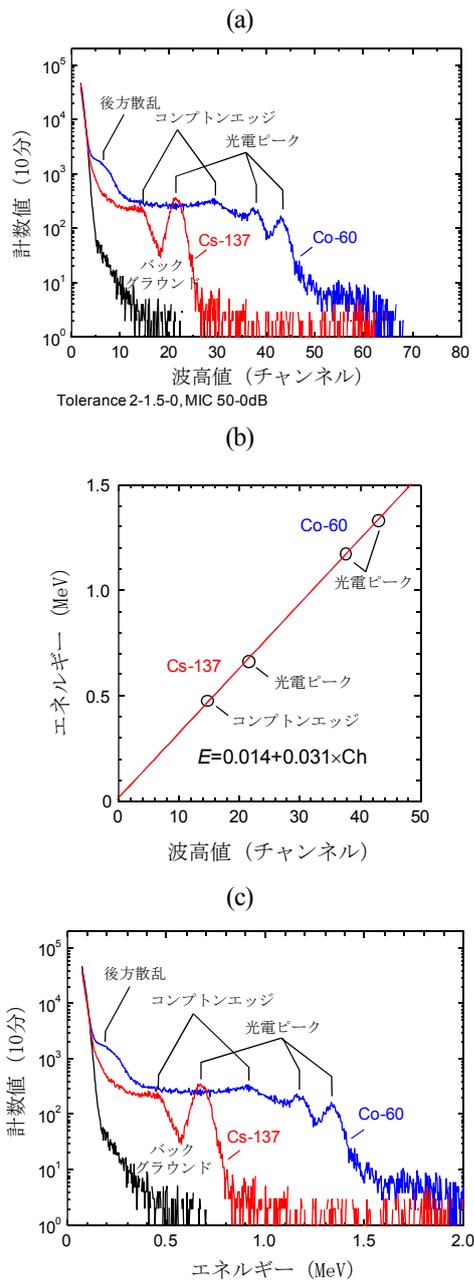


図 15 (a)  $\gamma$ 線波高値スペクトル

(b) エネルギー校正図、(c)  $\gamma$ 線エネルギースペクトル

を計算すると、それぞれ  $E_{max}(Cs-137)=0.477$  MeV、 $E_{max}(Co-60)=0.963$  MeV、 $1.12$  MeV となる。また、式(3)より Cs-137、Co-60 の後方散乱ピークエネルギーを計算すると、それぞれ  $E_{min}(Cs-137)=0.184$  MeV、 $E_{min}(Co-60)=0.210$  MeV、 $0.214$  MeV となる。観測した光電ピークとコンプトンエッジのチャンネル値に対し、上述の理論値をプロットしたものを図 15(b)に示す。一次関数を用い最小二乗フィットしたところ、エネルギー校正直線 ( $E=0.014+0.031 \times Ch$ ) が得られた。縦軸を計数値、横軸をエネルギーとし、 $\gamma$ 線のエネルギースペクトルを図 15(c)に示す。0.2 MeV 付近には、後方散

乱ピークがバック・グラウンドのショルダーとして観測されていることが分かる。Cs-137 の光電ピークの半値全幅から、今回製作した検出器のエネルギー分解能は 90 keV 程度と見積もられた。製作費 1 万円程度の安価な検出器としては十分な性能と言える。

## 5. まとめ

放射線教育充実に向けた取り組みを行った。学齢に合わせ、講義内容を変化させると同時に、測定対象を自然放射線、微量の放射性物質を含む身近な物、線源試料へと変化させ講義に沿った実験を行った。段階を経て学習させることで、学生の放射能・放射線への理解を深めることができた。本取り組みが、将来、原子力発電における課題解決に向けて仕事として直接的に、あるいは間接的にも携わる学生諸君の一助となれば幸いである。また、仕事として関わらずとも、放射能・放射線を正しく理解し、一市民としてこれらの課題に正面から向き合っ欲しいと願う。そして何よりも、それらの課題を早期に解決し、被災された方々が一日も早く日常を取り戻すことを切に願う。

## 謝辞

本研究の一部は、平成 24 年度東京高専・重点配分経費及び文部科学省大学間連携共同教育推進事業「KOSEN 発"イノベティブ・ジャパン"」プロジェクト教育プログラム開発事業の援助を受けた。

## 参考文献

- [1] 中学生・高校生のための放射線副読本～放射線について考えよう～, 文部科学省, (2014).
- [2] 独立行政法人放射線医学総合研究所,  
<http://www.nirs.go.jp/index.shtml>
- [3] 日本アイソトープ協会: アイソトープ手帳, 丸善出版, (2012).
- [4] シドニー大学の Marek Dolleiser 博士が公開しているフリーウェア,  
<http://www.physics.usyd.edu.au/~marek/pr/>
- [5] X線検出器, 浜松フォトリクス技術資料.
- [6] 飯田博美, 安齋育郎: 放射線のやさしい知識, オーム社 (2010).
- [7] 西谷源展, 山田勝彦, 前越久: 放射線計測学, オーム社 (2013).
- [8]  $\gamma$ 線検出器の製作に際し参考になったサイト  
<http://doku.bimyo.jp/preamp/index.html>

(平成 26 年 8 月 28 日 受理)

# 一方向性炭素繊維強化樹脂積層板および金属材料の被着体を有する 単純重ね合わせ接着継手の曲げ強度特性

志村 穰\*, 豊川澄斗\*\*, 黒崎 茂\*\*\*, 林 丈晴\*

## Bending Strength Properties for Adhesively Single-lap Joints Composed of Unidirectional CFRP Laminates and Metal Materials

Jyo SHIMURA, Sumito TOYOKAWA, Shigeru KUROSAKI, Takeharu HAYASHI

Recently, adhesive bonding has been used in functional composite structures. Purpose of this study is to clarify the characteristics of bending strength for adhesively single-lap joints with both adherends, “Unidirectional CFRP laminates” and “Metal materials”. We analyzed four types of adhesively single-lap joints subjected to 3-point bending moment by Finite Element Method. In addition, failure loads of various adhesive joint specimens were measured. By comparing the results of four different types of joints, we obtained conclusions as follow. Under all joint combinations, each stress component and maximum principal stress distribution at adhesive layer were singular behavior, and indicated maximum stress value at edge in longitudinal direction. Maximum stress value at adhesive layer using SS400 as material of one side adherend proved to be the lowest in the four kinds of joint combination. From the experimental results, it was found that bending strength increase as Young’s modulus of lower side adherend decrease.

(Keywords: Adhesively single-lap joint, Bending strength, Stress distribution, Finite Element Method)

### 1. 緒言

近年、構造の軽量化等を目的に複合構造部材の開発・適用が進んでおり、従来の構造部材と炭素繊維強化プラスチック(以後、CFRP と記す)との接合が重要な課題となっている。CFRP は軽量、高強度、高剛性等の特徴を有するため、航空機、輸送機器やスポーツ用品の軽量化・高性能化に寄与するが、繊維方向に高強度、高弾性率を有する異方性材料特性が接合部の応力分布に影響を及ぼすと考えられる<sup>1)</sup>。

過去に著者らは、一方向性炭素繊維強化プラスチック(以後、UD-CFRP と記す)と金属材料で構成される単純重ね合わせ接着継手に引張せん断荷重が作用する際の力学特性を有限要素応力解析により調査し、被着体の材料特性や接着接合部の幾何条件が応力分布および変形状態に及ぼす影響を検討した<sup>2)</sup>。

そこで本研究では、上述の UD-CFRP と金属材料で構成される単純重ね合わせ接着継手に対し、面外曲げモーメントが負荷される場合の強度特性を明らかにすることを目的とする。そのために、有限要素応力解析および 3 点曲げ負荷実験を行い、接着部応力状態と接着曲げ強度との関係を明らかにするとともに、種々の被着体材料の組み合わせが応力分布と接着曲げ強度に及ぼす影響について検討を行う。

### 2. 解析および実験方法

#### 2.1 継手形状と 3 点曲げ負荷条件

本研究で取り扱う単純重ね合わせ接着継手の被着体材料は、アルミニウム合金 A6063-T5(以後、A60

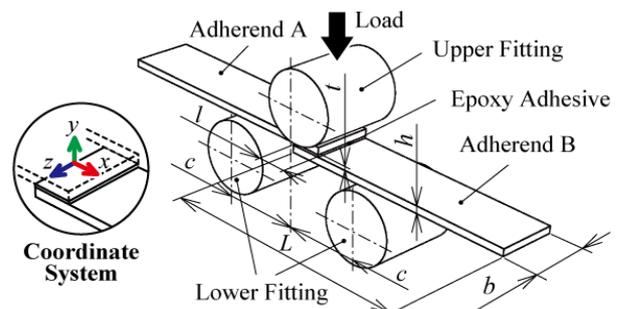


Fig.1 Schematic of adhesively single-lap joint and experimental situation

63 と記す)と一般構造用圧延鋼 SS400(以後、SS400 と称す)の 2 種類の金属材料および UD-CFRP を使用した。これらを構造用接着剤により接着接合し、UD-CFRP と A6063, UD-CFRP と SS400 からなる 2 種類の接着継手試験片を対象にするが、1 つの試験片に対し 2 種類の実験条件があるため、計 4 種類の実験条件を考慮することになる。これに伴い、実験条件と対応させた 4 種類の有限要素応力解析を行った。接着継手の形状、寸法ならびに 3 点曲げ負荷実験の概略を Fig.1 に示す。接着継手を 2 平行丸棒により支持し、接着部中央に静荷重を作用させて 3 点曲げモーメントを負荷する。各部の寸法は  $L=100[\text{mm}]$ ,  $t=12.5[\text{mm}]$ ,  $b=25[\text{mm}]$ ,  $h=3[\text{mm}]$ ,  $t=0.1[\text{mm}]$ ,  $c=31.25[\text{mm}]$  である。被着体の組み合わせの呼称方法として、Fig.1 に示す状態を基本に以後、(Adherend A)/(Adherend B)と記す。UD-CFRP は東レ製炭素繊維トレカ T700SC にエポキシ樹脂(#2592)が含浸されたプリプレグを用いて製造したものであり、繊維方向は  $x$  軸方向とした。接着剤は住友スリーエム製エポキシ系構造用接着剤 Scotch-Weld 1838B/A を用いた。

\* 機械工学科 \*\* 機械工学科学生(現, 東京農工大学学部生) \*\*\* 東京高専名誉教授

Table 1 Material constants of adherends and adhesive

		Young's modulus $E$ [GPa]		Poisson's ratio
		$E_x$	$E_y$	$\nu$
Adherend	UD-CFRP	115	7.6	0.35
	A6063-T5	68.94		0.33
Adhesive	SW1838B/A	3.40		0.39

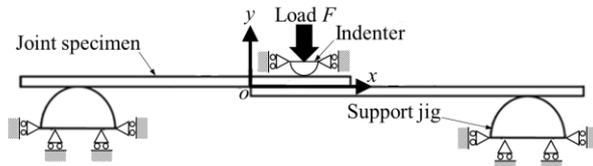
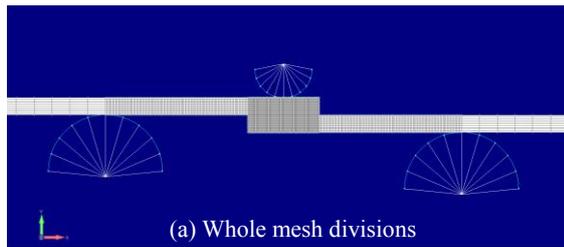


Fig.2 Model for analysis



(a) Whole mesh divisions



(b) Detail in bonded part

Fig.3 An example of mesh divisions in FEM analysis

## 2.2 有限要素応力解析

JIS K 6856 の接着剤の曲げ試験方法<sup>3)</sup>に準拠した3点曲げ負荷の実験条件を想定し、Fig.1に示す接着継手、支持具および圧子の3次元有限要素モデルを作成し、応力解析を行った。ただし、本解析は継手の幅(z軸)方向に関する平面ひずみ状態を仮定している。Fig.2に解析モデルを示す。境界および荷重条件の設定は、支持具底面を完全拘束し、圧子のy軸方向以外の並進自由度を拘束しつつ、圧子にy軸方向に50[N]の荷重を付与した。これにより、継手に負荷される曲げモーメントは781.25[N・mm]となる。各部の接触箇所には摩擦係数等の接触条件を付与し、摩擦係数は全ての接触箇所でも0.3に統一した。要素分割は、平面プレート要素を用い、接着層端部の特異的な応力上昇を考慮し、接着層端部に近づくほど要素を細かく設定した。また、接着層0.1[mm]を5層に等分割し、被着体との界面は互いの節点を共有し、それぞれの領域に材料定数を設定することで接着接合を表現している。材料特性は、UD-CFRPの被着体を横等方性材料として定義し、Table 1に示す材料定数<sup>2,4)</sup>を用いた。要素分割の一例をFig.3に示す。この際の要素数は5929、節点数は5528である。

## 2.3 試験片製作

被着体の接着面をサンドペーパーによる研磨とアセトンによる洗浄により、算術平均粗さRaが $2.0 \pm 0.2[\mu\text{m}]$ となるように調整した後、超音波洗浄機を用いて表面の汚れを除去し、再度、アセトンによる脱脂、洗浄を行い十分に乾燥させた。その後、主剤と硬化剤を重量比1:1で混合させたものを接着面に塗布し、被着体同士を重ね合わせて接合した。その際に、接着層厚さが $0.1 \pm 0.01[\text{mm}]$ となるように専用治具および万力を用いて固定した。Fig.4に製作した接着継手試験片を示す。

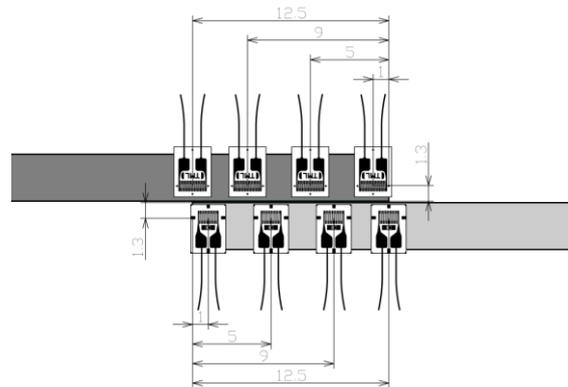
有限要素応力解析結果の妥当性を確認するために、A6063/UD-CFRP接着継手試験片の接着接合部付近におけるひずみ分布を測定するが、Fig.5にひずみゲージの貼付位置およびそれらの番号付け状況を示す。上下の被着体それぞれに共和電業社製金属用ひずみゲージKFG-02-120-C1-23および東京測器研究所製複合材料用ひずみゲージUBFLA-03を4枚ずつ貼付した。

## 2.4 3点曲げ負荷実験およびひずみ分布測定実験

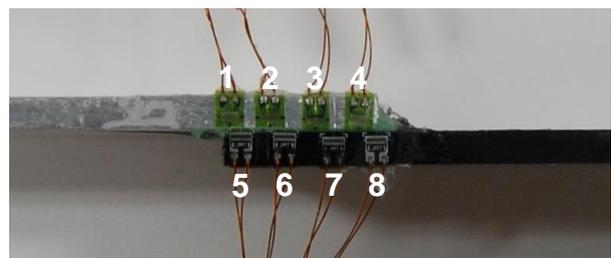
3点曲げ負荷実験による接着曲げ強度の測定はA6063, SS400およびUD-CFRPの被着体材料で製作



Fig.4 Joint specimen fabricated by UD-CFRP and A6063



(a) Glued positions of strain gauges



(b) Numbering of bonded strain gauges

Fig.5 Detail of strain gauges bonded on jointing part

した 2 種類の接着継手試験片が対象となるが, 2.1 節で言及した通り, 精密万能試験機の支持点への配置から 4 種類の実験条件を考慮することになる. これらの接着継手試験片を島津製作所製精密万能試験機オートグラフ AG-Xplus(100kN)の支持点に配置し, 接着部に圧子を介して 0.5[mm/min]の  $y$  軸方向変位を負荷することで 3 点曲げモーメントを作用させる. この際の継手が破壊に至るまでの荷重およびクロスヘッド変位を計測し, 継手の破壊荷重から接着曲げ強度を算出した.

また, 有限要素応力解析結果の妥当性検証のためのひずみ分布測定実験の方法は前述の 3 点曲げ負荷実験と同様であるが, 上下被着体に貼付したひずみゲージよりひずみの時間変動を検出し, 共和電業製センサインタフェース PCD-300 を介してパーソナルコンピュータに記録した.

## 4. 結果および考察

### 4.1 有限要素応力解析結果

Fig.6 に曲げモーメント 781.25[N.mm]を負荷した場合の 4 種類の継手のミーゼス応力コンター表示を示す. 図中では赤色に近づくほど応力値が高くなることを意味する. 本解析では継手の側面( $x$ - $y$  平面)を対象にした平面ひずみ状態を仮定しているため,  $z$  軸方向(幅方向)における任意断面の応力分布は, 全ての断面で同一となっている. Fig.6(a), (d)のように, 下側被着体の縦弾性係数に対し上側被着体のそれを大きくした場合は赤色領域が顕著に見られ, 他の継手に比べ, 最大応力値が高くなる傾向にあると推察される. また, この事は, 被着体で応力を負担する分, 接着層への応力負担が軽減され, 接着部の曲げ強度向上に寄与するものと考えられる.

単純重ね合わせ接着継手の接着部応力評価には, 接着層の剥離応力としての  $y$  方向垂直応力  $\sigma_y$  と接着面におけるせん断応力  $\tau_{xy}$  が, また, 破壊強度の観点では最大主応力  $\sigma_1$  が多用される<sup>5)</sup>. Fig.7 は本研究でのそれらの応力分布である. 縦軸は各応力[MPa], 横軸は, 接着層の任意位置  $x$  を重ね合わせ長さ  $l$  で除した無次元値を示す. Fig.7(a)の垂直応力  $\sigma_y$  分布では  $x/l=0$  で最大応力値を生じており, 剥離はこの部分を起点に発生すると考えられる. また, Fig.7(b)のせん断応力  $\tau_{xy}$  分布は, Fig.7(a)の垂直応力  $\sigma_y$  分布を左右反転させたような状態を示している. Fig.7(c)の最大主応力  $\sigma_1$  分布は 4 種類いずれの継手において, 全領域で正の応力値となっている. 特に,  $x/l=0$  側の端部で最大主応力  $\sigma_1$  の顕著な上昇が見られるため, この部分では剥離応力が支配的であると考えられる.

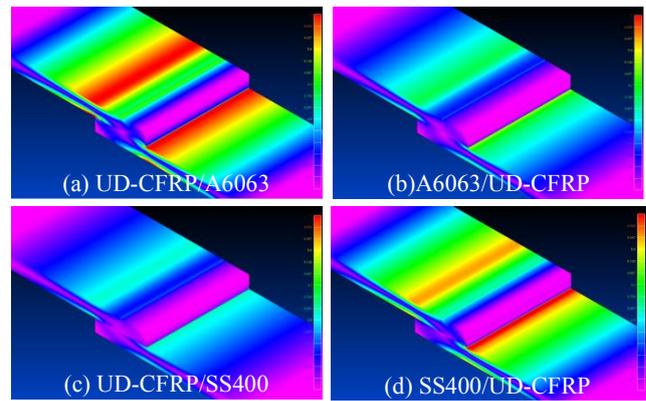
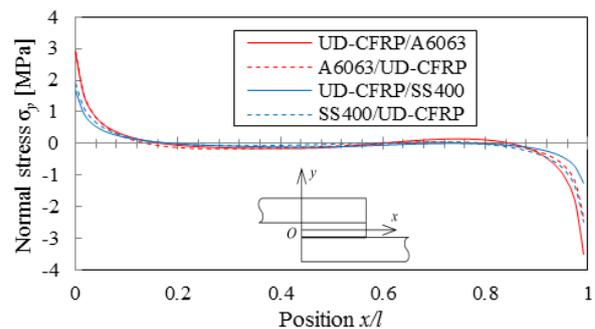
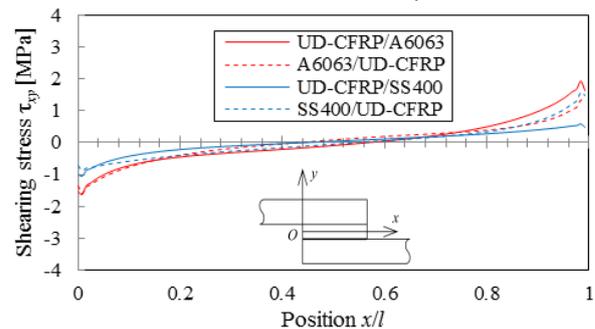


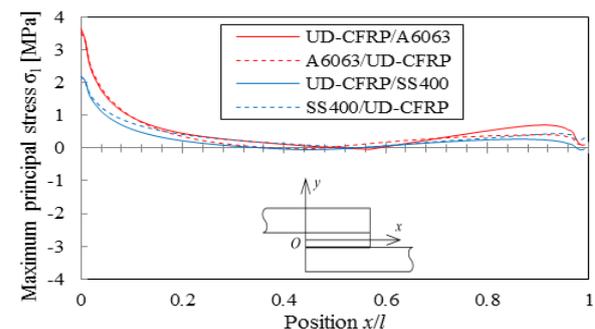
Fig.6 Contour of von mises stress  $\sigma_m$  at jointed part



(a) Normal stress  $\sigma_y$



(b) Shearing stress  $\tau_{xy}$

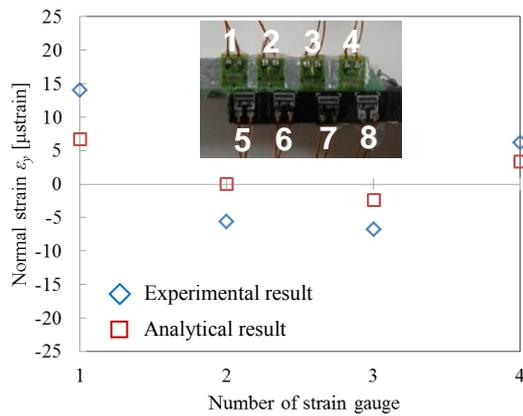


(c) Maximum principal stress  $\sigma_1$

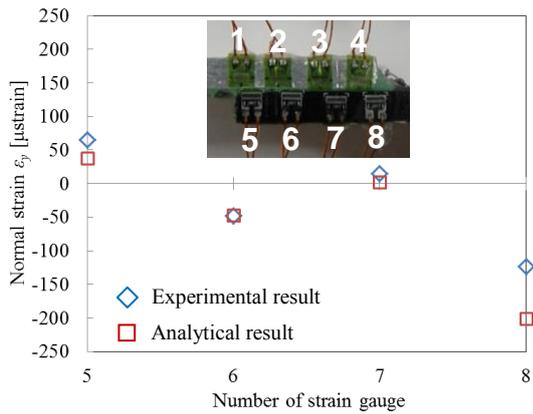
Fig.7 Stress distribution at center of adhesive layer

### 4.2 ひずみ分布測定実験結果

Fig.8 にひずみ分布に関する解析結果と実験結果との比較を示す. 実験結果は, Fig.5 に示すひずみゲージが貼付された A6063 / UD-CFRP 接着継手試験片に曲げモーメント 781.25[N・mm]が負荷した時の弾性ひずみ分布を示す. 実験は試験片 5 本分実施し, 図中のプロットは 5 回の実験の平均値である. 解析結果は, 有限要素モデルにおいて, ひずみゲージが



(a) Strain gauge number from 1 to 4 at upper adherend, "A6063"



(b) Strain gauge number from 5 to 8 at lower adherend, "UD-CFRP"

Fig.8 Comparison between analytical and experimental results concerning strain distribution

貼付された箇所に対応する y 軸方向の要素ひずみ  $\epsilon_y$  を意味する。実験と対応させ、曲げモーメント 781.25[N・mm] 負荷時の要素ひずみ値を用いた。

Fig.8 の縦軸は y 軸方向ひずみ  $\epsilon_y$  [μstrain], 横軸はひずみゲージの貼付位置番号 1~8 を示す。これらの番号は Fig.5(b)における 1~8 のひずみゲージ貼付位置を表している。これらより、解析結果と実験結果との両ひずみ分布には定性的な一致が見られ、本解析方法が妥当性を有するものと考えられる。

### 4.3 3点曲げ負荷実験結果

#### 4.3.1 荷重-変位線図

A6063 および UD-CFRP で構成される 4 種類の接着継手試験片について、0.5[mm/min]の変位制御による 3 点曲げ負荷実験を行い、クロスヘッド変位ならびに継手試験片の破壊荷重を測定した。各継手試験片 5 本ずつ合計 20 回の実験を行い、それらの測定データをもとに荷重-変位線図を作成した。Fig.9 は各継手試験片に対する作用荷重とクロスヘッド変位との関係であるが、図中には平均的な挙動を示したものに限定している。上側被着体の縦弾性係数が下側被着体のそれより大きい場合の被着体材料の組み合

わせにおいて、破壊荷重が増加する傾向が見られる。また、クロスヘッド変位に着目すると、UD-CFRP と接合する金属材料の剛性が低いほど、その数値が上昇することを確認できる。本研究では、破壊荷重およびクロスヘッド変位、ともに高い数値を示す UD-CFRP/A6063 接着継手試験片が機械的特性に優れることがわかる。

#### 4.3.2 接着曲げ強度

4 種類 5 本ずつの 3 点曲げ負荷実験結果を、平均接着曲げ強度および平均クロスヘッド変位と継手種類との関係として整理したものを Fig.10 に示す。接着曲げ強度は、継手の破壊荷重を接着面積 312.5[mm<sup>2</sup>]で除することで算出した。接着曲げ強度は UD-CFRP/A6063 接着継手試験片が最も高いことがわかる。全体として、接着曲げ強度の増加に伴いクロスヘッド変位量も上昇しており、両者には相関が見られる。前項で言及したが、上側被着体の縦弾性係数を下側被着体のそれより大きくすると、破壊荷重、すなわち、接着曲げ強度が上昇するが、この強度特性は 3 点曲げ負荷という荷重負荷形態に関係している可能性も考えられる。そのため、4 点曲げ負荷実験等で強度特性に差異が生じるかを含め、今後の検討が必要であろう。

また、接着部の破壊箇所を観察したところ、UD-CFRP/A6063 接着継手試験片の場合は接着層からではなく、UD-CFRP そのものの層間剥離により生じていることを確認した。したがって、この継手の

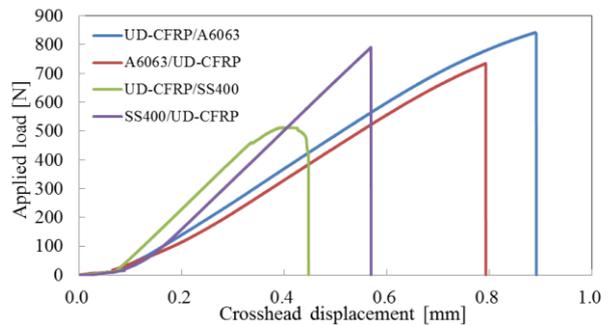


Fig.9 Relationship between applied load and crosshead displacement

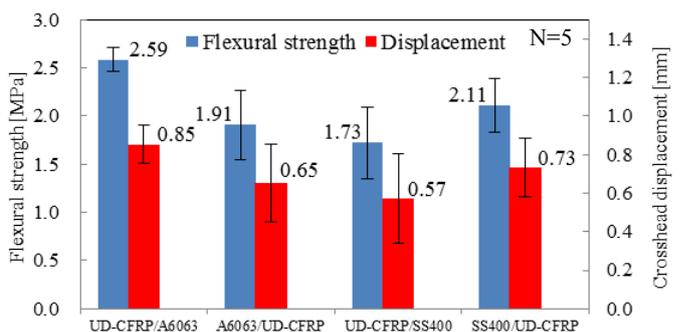


Fig.10 Relationship among averaged flexural strength, averaged crosshead displacement and joint types

場合の接着曲げ強度は UD-CFRP 自体の曲げ強度に依存すると言える。一方で, A6063/UD-CFRP 接着継手試験片では上側被着体と接着層の界面から破壊が起きており, 同一の継手試験片でも荷重負荷方向で破壊様相が異なることが伺える。UD-CFRP と SS400 による全ての接着継手試験片では SS400 被着体と接着層との界面で破壊が生じる結果となった。

## 5. 結言

本研究では, UD-CFRP と金属材料で構成される単純重ね合わせ接着継手に面外曲げモーメントが作用する場合の強度特性を有限要素応力解析および 3 点曲げ負荷実験により調査し, 接着部応力状態と接着曲げ強度との関係を明らかにした。また, 種々の被着体材料の組み合わせが接着曲げ強度に及ぼす影響について検討を行った。以下に得られた知見を示す。

- (1) 上側被着体の縦弾性係数を下側被着体のそれより大きくすると, 被着体に生じる応力の最大値が高くなる。
- (2) 接着層の応力分布はその端部で最大値を示す特異的なものとなり, A6063 を被着体に用いた継手は最大応力が大きくなる傾向がある。

- (3) 3 点曲げ負荷実験結果より, UD-CFRP/A6063 の接着継手試験片が最も曲げ強度が大きくなる。
- (4) ひずみ分布に関する解析結果と実験結果の比較から, 本解析方法の妥当性を確認した。

## 参考文献

- 1) Min-Gyu Song, Jin-Hwe Kweon, Jin-Ho Choi, Jai-Hyun Byun, Min-Hwan Song, Sang-Joon Shin, Tae-Joo Lee, “Effect of manufacturing methods on the shear strength of composite single-lap joints”, *Composite Structures*, Volume 92, Issue 9, (2010), pp. 2194-2202.
- 2) 小坂典嵩, 志村 穰, 黒崎 茂, 宮川睦巳, “引張荷重下における CFRP/Aluminum alloy 単純重ね合わせ接着継手の有限要素応力解析”, 東京工業高等専門学校研究報告書, Vol.42, No.2 (2011), pp.99-104.
- 3) 日本規格協会, JIS ハンドブック 2004, (2004), pp.194-196.
- 4) 松井真一, 志村 穰, “構造用接着剤の弾性係数測定”, 東京工業高等専門学校研究報告書, Vol.41, No.1 (2010), pp.29-33.
- 5) 宮入裕夫, “構造接着の基礎と応用”, *CMC テクニカルライブラリー* 215, (2006), pp.159-172.

”

.....

(平成26年7月8日受理)

”

## Comparison between Anand Model and Classical Decoupled Creep and Plasticity Model

Takeharu HAYASHI\*, Masaaki TAKABE\*\*, Yoshinori EBIHARA\*\*\*, Jyo SHIMURA\*

When we estimate the fatigue life of lead-free solder joints, we have to conduct FE analysis using a constitutive model which can exhibit the mechanical properties of lead-free solder alloy, that is, their experimental test data such as tensile tests results. In this process, Anand model and classical decoupled creep and plasticity model are often used. However, in these models, how accuracy simulation results by each model accord with these experimental test data have been not clarified and how the agreement degree to them had influences on life time fatigue have been not enough investigated. In this study, for the purpose of getting basic data to investigate these influences, we investigated how accuracy simulation results by each model accord with these experimental test data.

**Key Words:**Anand model, Classical decoupled creep and plasticity model, Lead-free solder alloy

### 1. Introduction

Today, detailed solder mounting technologies are being developed owing to the miniaturization and density growth of electronic devices. And, some kinds of lead-free solder alloys are used for environmental reasons. In these microelectronic solder joints, under cyclic temperature changes due to switch ON/OFF operations, fatigue failures occurred as a result of low cycle thermal deformation generated by the mismatch of thermal expansion coefficient between the solders parts. Therefore, in development of high-density solder mounting technology, it is important that we establish how to evaluate thermal fatigue life of solder joints.

In general, evaluations of thermal fatigue life of solder joints under cyclic temperature changes are done by next process. First, fatigue life properties of solder are got by conducting mechanical fatigue examinations and total equivalent inelastic strain range are got by conducting the FE structural analysis of solder joints. Second, the fatigue life is got from the property and the total equivalent inelastic strain range. Therefore, when we estimate the fatigue life of lead-free solder joints, we have to conduct FE analysis using a constitutive model which can exhibit the mechanical properties of lead-free solder alloy, that is, their experimental test data such as tensile tests results.

By the way, melting points of lead free solder alloys are about 220°C, so room temperature is even located under severe temperature environment. In this condition, creep and plasticity exist at the same time, in addition, creep is intimately linked to plasticity and vice versa. Classical decoupled creep and plasticity model, where plasticity properties are acquired from high rate tensile tests and creep properties are acquired from creep tests, cannot capture this interaction effect [1]. Therefore, some researchers have used Anand model [2] as the constitutive model which can exhibit their mechanical properties. For example, Yokota and Watanabe [3] carried out thermal fatigue simulation

---

\* Department of Mechanical Engineering

\*\* Department of Mechanical Engineering, Advanced Courses Student

\*\*\* Tokyo Gakugei University, Department of Education

of lead-free solder alloy with Anand model. However, in Anand model and classical decoupled creep and plasticity model, how accuracy simulation results by each model accord with experimental test data have been not clarified and how the agreement degree to mechanical properties had influences on life time fatigue have been not enough investigated.

So, in this study, for the purpose of getting basic data to investigate these influences, we investigated how accuracy simulation results by each model accord with these experimental test data.

## 2. Parameters determination of each model

### 2.1 Anand model

Viscoplastic strain rate of Anand model is given by

$$\dot{\varepsilon}^{vp} = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \left[ \sinh\left(\xi \frac{\sigma}{s}\right) \right]^{1/m} \quad (1)$$

where  $\dot{\varepsilon}^{vp}$  is viscoplastic strain rate and  $A$  is the pre-exponential factor,  $Q$  is the activation energy,  $m$  is the strain rate sensitivity,  $\xi$  is the multiplier of stress,  $R$  is the gas constant,  $\sigma$  is the stress,  $s$  is deformation resistance and  $T$  is the absolute temperature, respectively.

The evolution of equation for the internal variable  $s$  is assumed to be of the form as

$$\dot{s} = h_0 \left(1 - \frac{s}{s^*}\right)^a \dot{\varepsilon}^{vp} \quad (2)$$

with

$$s^* = s' \left[ \frac{\dot{\varepsilon}^p}{A} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \right]^n \quad (3)$$

where  $h_0$  is the hardening/softening constant,  $a$  is the strain rate sensitivity of hardening/softening.  $s^*$  means the saturation values of  $s$ .  $s'$  is a coefficient, and  $n$  is the strain rate sensitivity, respectively. And,  $s$  is proportional to  $\sigma$  as shown in Eq. (4):

$$\sigma = cs \quad (4)$$

where  $c$  is a function of temperature and inelastic strain rate. In addition, initial value of  $s$  is  $s_0$ .

When using Anand model, it is necessary to determine  $s_0, Q/R, A, \xi, m, h_0, s', n, a$ . And, Tensile test results of more than two kinds different strain rate are necessary for determining parameter of Anand model. So, we used the tensile test results which have already been conducted under the

condition of 25 °C, 75 °C and 125 °C at 0.2%/sec and 0.002%/sec strain rate by hayashi et al[4]. In our previous study[5], we drove the Eq. (5) and Eq. (6) for determination of Anand parameters and developed the system to determine them with these equation using Excel.

$$\sigma^* = \frac{\hat{s}}{\xi} \sinh^{-1} \left[ \frac{\dot{\epsilon}}{A} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \right]^m \left[ \frac{\dot{\epsilon}}{A} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \right]^n \tag{5}$$

$$\sigma = \sigma^* - \left[ (\sigma^* - c_0 s_0)^{1-a} + (a-1)(\sigma^*)^{-a} \left( \frac{1}{\xi} \sinh^{-1} \left[ \frac{\dot{\epsilon}^p}{A} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \right]^m \right) h_0 \epsilon^p \right]^{\frac{1}{1-a}} \tag{6}$$

where  $c_0$  is  $c$  corresponding to the initial inelastic strain rate.

And then, we determined Anand parameters on 25 °C, 75 °C and 125 °C using the developed system. Anand parameters gotten in this way are shown in Table 1.

Table 1 Anand parameter

	25[°C]	75[°C]	125[°C]
$S_0$ [MPa]	17.0	14.0	4. 6
$Q/R$ [1/K]	7730	7730	7730
$A$ [1/sec]	1338000	409984	15000
$\xi$	1.20	0.80	0.48
$m$	0.1361	0.1524	0.1600
$h_0$ [MPa]	7500	9000	16000
$s'$	33	21	7.8
$n$	0.0010	0.0024	0.0030
$a$	1.4	1.5	2.2

**2.2 Decoupled creep and plasticity model**

In this model, plastic priorities and creep priorities need to be gotten.

The plasticity properties are expressed by stress-plastic strain relations and got by tensile tests at the high strain rate where only a plasticity strain arises. So, we conducted tensile tests under the condition of 25 °C, 75 °C and 125 °C at 2%/sec strain rate. Fig.1 show specimen for tensile tests. Plastic properties gotten in this way are shown in Table 2.

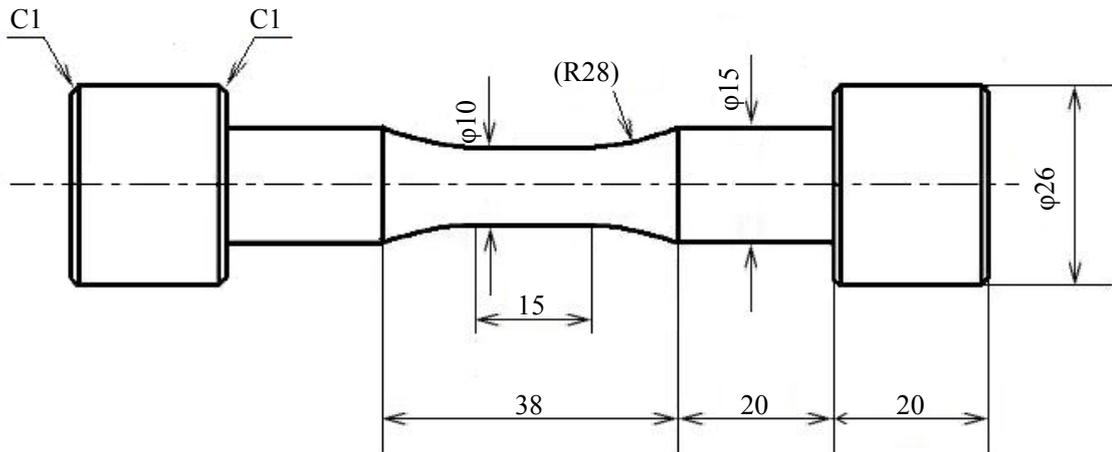


Fig. 1 Specimen for tensile tests

Table 2 Plastic properties

25[°C]		75[°C]		125[°C]	
Plastic Strain	Stress [MPa]	Plastic Strain	Stress [MPa]	Plastic Strain	Stress [MPa]
0.000210	13.04	0.00106	24.36	0.00127	22.32
0.000965	22.60	0.00353	34.26	0.00361	28.21
0.001800	27.99	0.00695	38.53	0.00848	32.10
0.002800	31.90	0.01150	40.68	0.01420	33.57
0.004980	37.67	0.01910	42.02	0.02100	34.14
0.010100	42.92	0.02370	42.38	0.02700	34.46
0.015100	45.70	0.02940	42.70	0.03210	34.59
0.024100	47.89	0.03600	42.93	0.03820	34.70
0.038000	49.33	0.04140	43.11	0.04230	34.72
0.047000	49.74	0.04670	43.25	0.04730	34.73

Creep properties is expressed by Norton's law:

$$\dot{\varepsilon}^c = A_c \sigma^{n_c} \quad (7)$$

where  $\dot{\varepsilon}^c$  is creep strain rate,  $A_c$  is creep constant and  $n_c$  is creep exponent.

Creep properties are got by the saturation values of stress on low rate tensile tests results. Table 3 show saturation stresses from low rate tensile tests results. And, creep properties gotten in this way

are shown in Table 4.

	25[°C]	75[°C]	125[°C]
$\dot{\varepsilon} = 0.2(\%/ \text{sec})$	41.6	33.0	22.0
$\dot{\varepsilon} = 0.002(\%/ \text{sec})$	27.1	19.0	12.6

Unit [MPa]

	25[°C]	75[°C]	125[°C]
$A_c[1/(\text{MPa}\cdot\text{sec})]$	$8.13 \times 10^{-21}$	$4.37 \times 10^{-16}$	$1.62 \times 10^{-14}$
$n_c$	10.74	8.34	8.26

### 3. Finite element analysis

Analysis was conducted by general purpose finite element analysis code ABAQUS. We made FE model, length of which is 15mm and radius of which is 5mm. And, the kind of the element is 10-node second-order tetrahedral element. The number of elements is 361 and the number of nodes is 685. We conducted tensile analysis till 5 % mount of strain arose under the condition of 25 °C, 75 °C and 125 °C at 0.2%/sec 0.002%/sec strain rate by each constitutive model using the determined parameters.

In addition, we also conducted tensile-stress relaxation analysis where 5 % mount of strain have been retained after the tensile tests finished. Fig.2 show FE model.

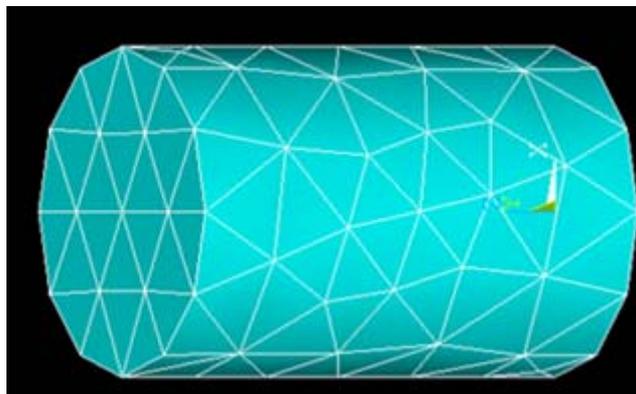


Fig.2 FE model

**4. Analytical results and consideration**

Fig.3 show comparison of stress-strain relations on 0.2% / sec strain rate by Anand model with those by tests. Fig.4 show comparison of stress-strain relations on 0.2% / sec strain rate by elastic-plastic creep model with those by tests. Fig.5 show comparison of stress-time relations on 0.002% / sec strain rate and stress relaxation-time relations by Anand model with those by tests. Fig.6 show comparison of stress-time relations on 0.002% / sec strain rate and stress relaxation-time relations by classical decoupled creep and plasticity model with those by tests.

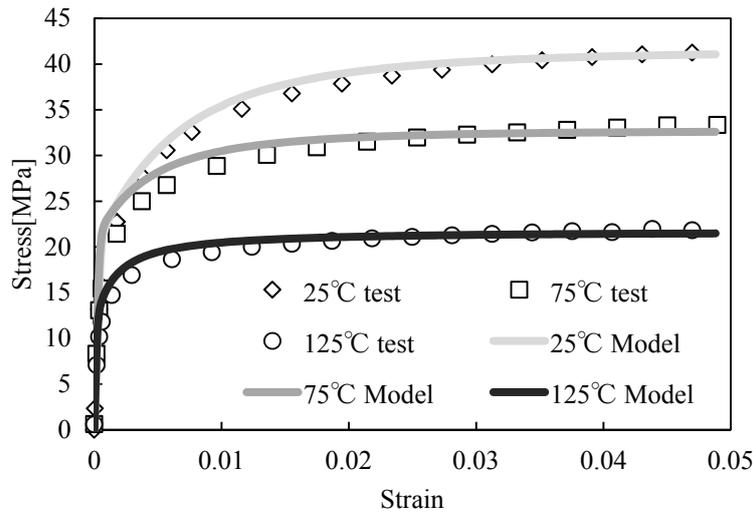


Fig.3 Comparison of stress-strain relations on 0.2% / sec strain rate by Anand model with those by tests

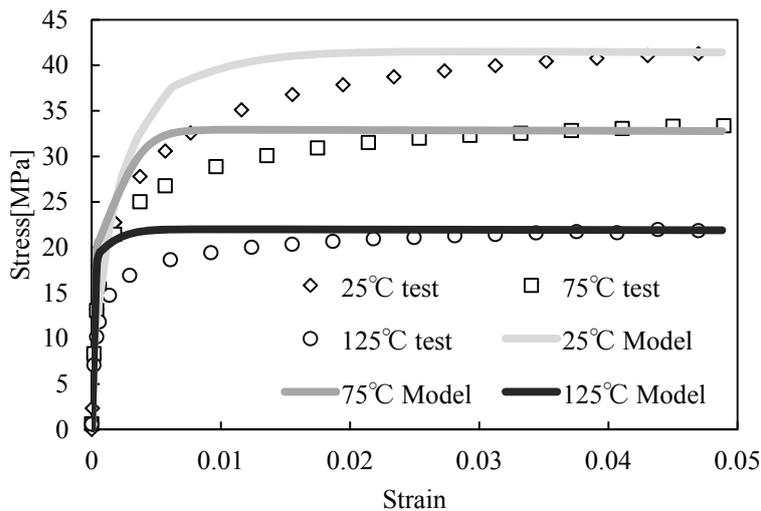


Fig.4 Comparison of stress-strain relations on 0.2% / sec strain rate by elastic-plastic creep model with those by tests

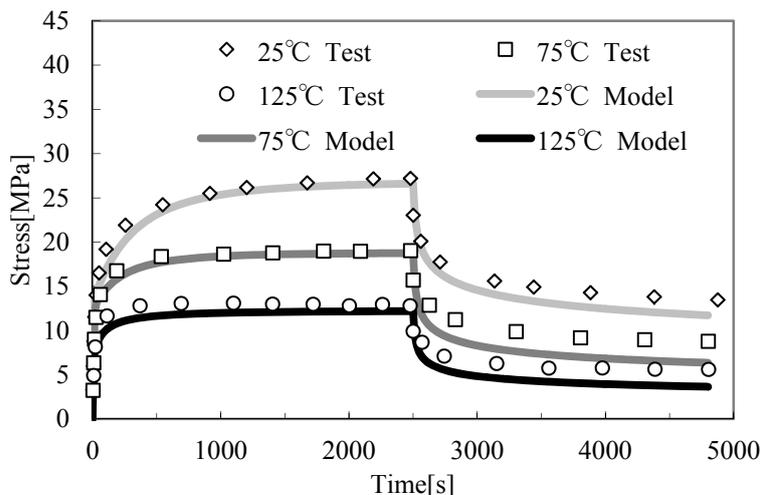


Fig.5 Comparison of stress-time relations on 0.002% / sec strain rate and stress relaxation-time relations by Anand model with those by tests

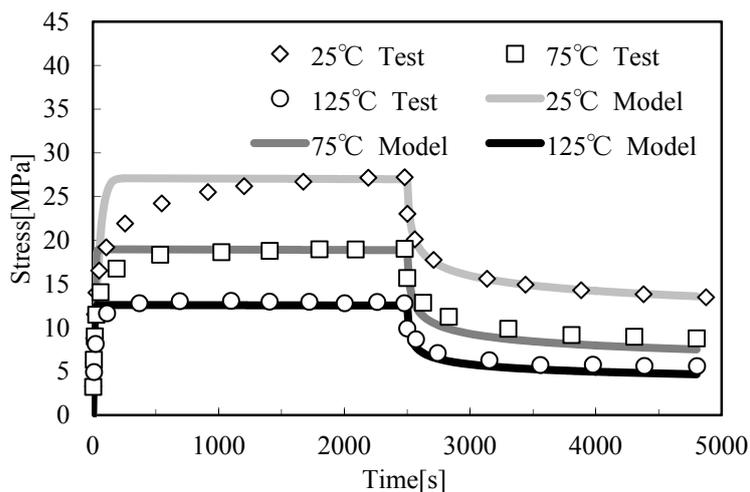


Fig.6 Comparison of stress-time relations on 0.002% / sec strain rate and stress relaxation-time relations by classical decoupled creep and plasticity model with those by tests

At first, the analysis results of tensile test are discussed. Fig.3 and Fig.5 show that stress-strain relations by Anand model are good agreement with those by tests. And, Fig.4 and Fig.6 show that steady parts in stress-strain relations by elastic-plastic creep are good agreement with those by tests, on the other hand, tangent parts of one are not good agreement with those by tests. This reason is because Eq.(7) can describe creep properties of saturation part but can't describe the creep properties of tangent part.

Next, the analysis results of stress relaxation are discussed. Fig.5 and Fig.6 show stress relaxation-time relations by Anand model and classical decoupled creep and plasticity model are both good agreements with those by tests comparatively.

## 5. Conclusion

In this study, on Anand model and elastic-plastic-creep model, their material parameters were determined. And, how accuracy simulation results by each model accord with experimental test data was investigated. As a result, we got a next conclusion.

- 1) Stress-strain relations by Anand model are good agreement with those by tests.
- 2) Steady parts in stress-strain relations by elastic-plastic creep are good agreement with those by tests, on the other hand, tangent parts of one are not good agreement with those by tests.
- 3) Stress relaxation-time relations by Anand model and classical decoupled creep and plasticity model are both good agreements with those by tests comparatively.

## Reference

- [1] D.L. McDowell, M.P. Miller, and D.C. Brooks: "A Unified Creep-Plasticity Theory for Solder Alloy", *Fatigue of Electronic Materials*, ASTM STP 1153, S. A. Schroeder and M. R. Mitchell, eds., *American Society for Testing and Materials, Philadelphia*, pp. 42-59., 1994
- [2] Anand, L., "Constitutive Equation for the Rate-Dependent Deformation of Metals at Elevated Temperatures", *Transactions of the ASME, Journal of Electronic Packaging*, Vol.104(1982), pp. 12-17.
- [3] Yokota, Y. and Watanabe, M. "Optimization of Heat Cycle Test Time of Pb-Free Solder by Thermal Fatigue Simulation", *Journal of the Japan Institute of Electronics Packaging*, Vol.7, No1 (2004-1), pp.76-81.
- [4] Hayashi, T., Ebihara, Y., Asai, T., and Watanabe, H., "Application of Viscoplastic-Creep Separate Constitutive Model to Lead-Free Solder Alloy", *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series (A)*, Vol.77, No.780(2011), pp.1169-1177.
- [5] Hayashi, T., Takabe, M., Ebihara, Y., and Shimura, J., "Determination of Anand Parameters to Lead-Free Solder Alloy using Spreadsheet Software", *research reports of Tokyo national college of technology*, Vol.45, No.2(2014) ,pp.39-45.

(Received September 17. 2014)

# 電力システムの周波数変動解析と 負荷側での周波数制御分担の検討

寺崎 真志\*, 土井 淳\*\*

Frequency Fluctuation Analysis of Electric Power System  
and Frequency Control Sharing on Demand Side

Masashi Terasaki, Atsushi Doi,

In recent years, a lot of renewable energy such as photovoltaic and wind power generations are going to be installed in power systems to respond to global warming. However, the fluctuation of these generator outputs affects the system frequency. Therefore, introduction of battery system to supply side has been considered. However, it is not clear who will be responsible for frequency control in future which have been conducted by the generation section and the transmission section to be separated in electricity business. Therefore, in this paper, frequency fluctuation are suppressed by frequency control on demand side.

(Keywords: electric power system, wind power generation, frequency control)

## 1. はじめに

近年、地球温暖化への影響を考慮し、CO<sub>2</sub>の排出量を減らすための取り組みが始まっている。その中で、問題の一つとなっているのが火力発電である。火力発電は、現在日本の総発電電力量の約9割、2011年の福島第一原発事故の前も約6割を占めており<sup>(1)</sup>、日本の主要な発電方式となっている。しかし火力発電は、石炭、液化天然ガス、石油のような化石燃料を燃焼させたときの熱で発生させた蒸気によりタービンを回すことで発電を行うが、化石燃料が燃焼するとき CO<sub>2</sub> を多く排出するため火力発電に強く依存した電源構成にするのは望ましくない。加えて、化石燃料の量に限りがあることから、火力発電に代わる発電方式が必要であることが分かる。

そこで注目されているのが、太陽光や風力をはじめとする再生可能エネルギーの利用である。再生可能エネルギーとはエネルギー供給構造高度化法によると「エネルギー源として永続的に利用することができる」と認められるもの<sup>(2)</sup>とされており、化石燃料のように残りの埋蔵量を気にする必要がなく、さらに発電時にほとんど CO<sub>2</sub> を排出しないなど、環境面で優れたエネルギーと言える。しかし、再生可能エネルギーの中には、風力や太陽光のように出力の変動が大きいという問題点を持つものがある。

電力の周波数は、電力の需給バランスによって決

まり、需要が供給を上回るとき低下し、供給が需要を上回るとき上昇するという関係がある。周波数が増減し許容範囲を超えると、システムを運用する側では運用面・経済面で悪影響があり、需要家側では工場などの製品品質の低下などの問題が発生する<sup>(3)</sup>。現在、このような需給の不均衡には、主に火力発電と水力発電の発電量を調節することによって対応しているが、火力発電に代わって再生可能エネルギー、特に太陽光発電や風力発電が導入されていくとすると、需給バランスの調整能力が将来的に足りなくなる可能性がある。

調整能力の低下に対して、システム側に大容量の蓄電池を設置する方法や夜間のヒートポンプ給湯器の消費電力を調節する方法<sup>(4)</sup>などがあるが、前者は発電分離により調整能力の負担を誰が行うか明らかでないことや初期投資などの問題があり、後者は夜間しか調整力が確保できないという問題がある。本稿では、負荷側において全日使用可能な周波数制御方式を提案し、その方式の効果を検証する。

## 2. 電力システムの周波数変動シミュレーション

### 2.1 シミュレーションモデル

文献(4)(5)を参考に、図1の周波数変動特性モデルを作成する。これは、本稿の周波数変動解析の基盤となるモデルで、電力の需給の時系列データから

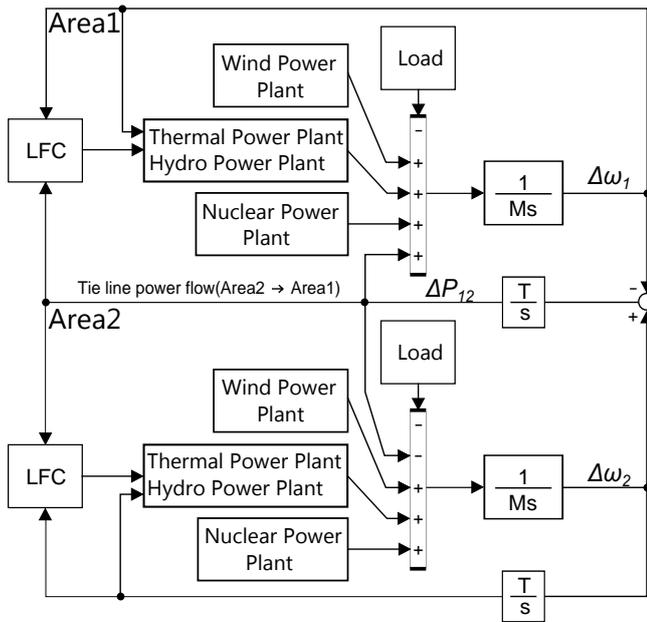


図1 周波数変動特性モデル

周波数変動をシミュレーションすることができる。

通常、電力系統は他の電力系統と連系し、協調して周波数制御を行っている。電力系統では、周波数偏差や連系線潮流偏差を基準値内に抑えるためにLFC(負荷周波数制御)を行っており、日本ではLFC方式として、FFC(定周波数制御)とTBC(周波数偏倚連系線電力制御)の2種類の方式が採用されている。FFCでは周波数偏差だけを対象にPI制御を行うのに対して、TBCでは連系線潮流も考慮に入れてPI制御を行う。

図1では、Area1とArea2の各々の地域において火力発電、原子力発電、水力発電、風力発電の合計出力と地域に流れ込む連系線潮流から負荷が減算され、その差から周波数偏差が計算されている。さらに、2地域の周波数偏差の差から連系線潮流が計算され、周波数偏差とともにLFCシステムに入力され、火力発電と水力発電の出力を制御している。

本稿のモデルでは、東京電力を想定した大規模系統と、東北電力を想定した小規模系統を連系した二地域連系モデルとし、大規模系統側をFFC、小規模系統側をTBCとする。また、時間帯として軽負荷時である夜間を想定する。

## 2.2 短周期負荷変動

負荷の短周期(20分周期以下程度)の変動は、正規分布に従うことが知られており、その標準偏差は総需要の平方根に比例し、(1)式で表される。

$$\sigma_D = \gamma \sqrt{P_D} \quad (1)$$

$\sigma_D$  : 負荷の短周期変動の標準偏差[MW]

$P_D$  : 総需要[MW],  $\gamma$  : 比例定数

$\gamma$ は系統によって異なる値であるが、本研究では二地域共に0.6とする。

さらに、負荷の短周期変動は、そのパワースペクトルが周波数の二乗に反比例することから<sup>(6)</sup>、そのようなパワースペクトルを持つ変動にハイパスフィルタをかけて負荷の短周期変動を模擬できる。

## 2.3 風力発電の短周期出力変動

日本風力発電協会による2050年までの風力発電導入目標<sup>(7)</sup>を参考に、大規模系統では発電設備容量の15%を風力発電に、小規模系統では発電設備容量の50%を風力発電とする。

さらに風力発電の出力変動を定格出力の10%とし<sup>(8)</sup>、この出力変動の大きさを標準偏差の3倍であるとする。風力発電の出力変動の分布は、データが不十分であるため確かなことは分かっていないが、負荷変動と同じく正規分布に近い関係が見られている<sup>(9)</sup>。そこで、本研究では風力発電の短周期出力変動は需要の短周期変動と同様の条件で変動するものとする。

## 2.4 シミュレーション条件

文献(10)を参考に、平成19年5月休日の東北電力管内の総需要が630万kWであることから、小規模系統側の総需要を6[GW]とする。文献(11)から東北の発電設備容量が17,766,131[kW]、東京の発電設備容量が65,581,410[kW]であり、その比が約1:3.7であることから大規模系統側の総需要を21[GW]とする。

現在の日本の発電設備の割合は、風力発電を無視して考えれば、おおよそ各社とも水力発電が15%、火力発電が60%、原子力発電が25%である<sup>(11)</sup>。風力発電導入の際に、火力発電の代わりに風力発電を使うとして、発電設備容量を小規模系統側で水力発電を15%、火力発電を10%、原子力発電を25%、風力発電を50%、大規模系統側で水力発電を15%、火力発電を45%、原子力発電を25%、風力発電を15%とする。

文献(12)を参考に、陸上風力発電の設備利用率を20%、洋上風力発電の設備利用率を30%とし、文献(7)の2050年の風力発電導入目標に占める陸上風力発電と洋上風力発電の割合から、その比を設備利用率に乗じることによって、小規模系統側の風力発電の設備利用率を23%、大規模系統側の風力発電の設

備利用率を 29%と定める。今回設定する総需要が発電設備容量の半分であると仮定し、風力発電と原子力発電を最大限に利用することを考えると、総発電量に占める割合は小規模系統側で原子力発電が 50%、火力と水力発電を合わせて 27%、風力発電が 23%、大規模系統側で原子力発電が 50%、火力と水力発電を合わせて 41.3%、風力発電が 8.7%となる。

### 3. 周波数制御を可能とした負荷モデル

#### 3.1 負荷機器のモデル

周波数制御機能を持たせる負荷機器に求められる条件として、軽負荷で周波数制御が難しい夜間にも電力を大量に消費していることが挙げられる。家庭における機器別消費量を多い順に並べると、冷蔵庫、照明器具、テレビ、エアコン、電気便座、ジャー炊飯器、電子レンジのようになるが<sup>(13)</sup>、冷蔵庫と電気便座以外は使用されるのが不定期であるため周波数制御に利用するのは難しい。

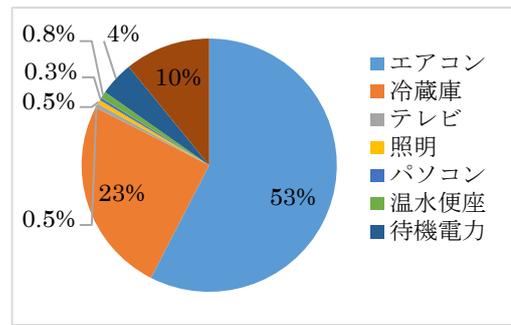
本稿では冷蔵庫と電気便座を比べ、より消費電力の多い冷蔵庫を利用した制御を検討する。

先行研究が行われているヒートポンプ給湯器は、湯切れが発生しそうな場合を除いて、基本的に夜間電力を利用して稼動するため昼間に周波数制御を行うことができない<sup>(14)</sup>。それに対して、冷蔵庫は図 2 の夏季の一般家庭の時間帯別電力需要<sup>(15)</sup>から分かるように昼間でも夜間でも関係なく電力を消費するため、全時間帯での周波数制御が可能になると考えられる。

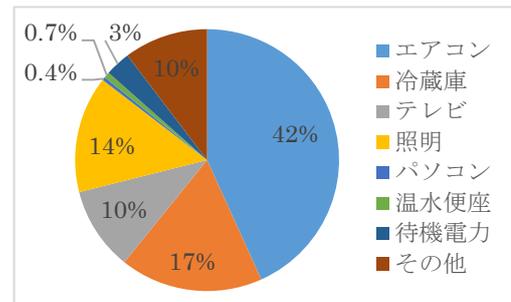
#### 3.2 負荷モデルの調整出力

冷蔵庫と蓄電池による周波数制御として、需要を減らしたいとき冷蔵庫に蓄電池から電力を供給し、逆に需要を増やしたいとき蓄電池を充電する方式を考える。そのため、冷蔵庫に搭載される蓄電池に必要な出力を、冷蔵庫の常時消費電力と同量とする。

冷蔵庫の平均内容積を 316[l]とし、1[l]当たりの年間消費電力量を 0.5[kWh]とすると<sup>(16)</sup>、一台当たりの消費電力は 18[W]となる。大規模系統地域は東京電力を、小規模系統地域は東北電力を想定していることから、それぞれ 18,474,000 世帯、4,277,000 世帯とする<sup>(17)</sup>。次に、1 世帯当たりの冷蔵庫保有台数が 1.256 台であることから<sup>(18)</sup>、大規模系統と小規模系統の冷蔵庫の数はそれぞれ 23,203,344 台、5,371,912 台となり、負荷の調整出力は、それぞれ 418[MW]、95.7[MW]となる。



(a) 14時 (昼間)



(b) 20時 (夜間)

図 2 夏季の一般家庭の時間帯別電力需要

#### 3.3 制御方法

蓄電池による周波数や連系線潮流の制御は、先行研究では LFC 信号を発電機と蓄電池で比例分配する方法、閾値によって発電機が負担しきれない分の LFC 容量を蓄電池が負担する方法が挙げられているが、蓄電池の容量が十分であれば周波数制御、連系線潮流制御の効果はほとんど変わらないことが分かっている<sup>(4)</sup>。その中で、本稿では蓄電池容量が一番少なくても済む閾値による分配を考える。

さらに、電源構成の変化により、LFC 容量だけでなく、ガバナ・フリー容量も不足する可能性があることから、ガバナと同様の周波数偏差に比例した制御も考える。

#### 3.4 蓄電池システムモデル

文献(2)を参考に作成した蓄電池システムモデルを図 3 に示す。このモデルでは、充放電の変換器容量(MW 容量)、およびエネルギー貯蔵容量(MWh 容量)に上下制限を設けており、その範囲内では、蓄電池は入力信号に対して時間遅れなしで理想的に充放電を行うことができるものとしている。そして、貯蔵容量が上限、または下限に達したときは、それぞれ充電、放電は停止する。

図 3 において、MWmax, MWmin が出力の上下限值であり、3.2 節で求めた値を設定する。MAX Capacity はエネルギー貯蔵容量の上限値であるが、

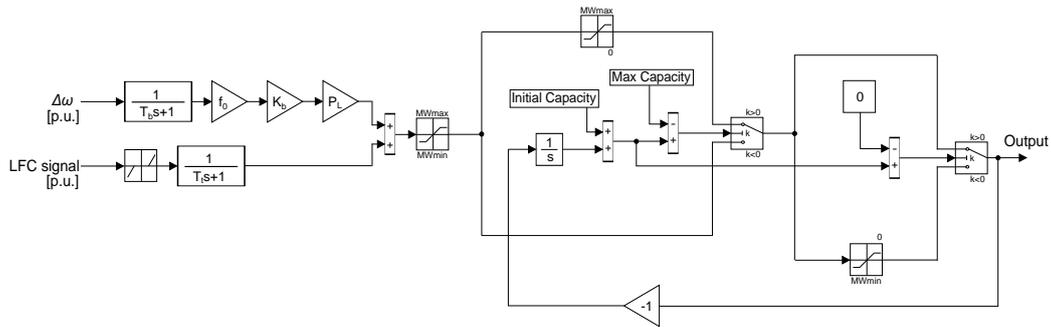


図 3 蓄電池システムモデル

本稿では十分大きく設定し、シミュレーションの中で、どの程度の容量が必要となるのかを調べる。Initial Capacity は初期エネルギー貯蔵容量であり、MAX Capacity の半分とする。

4. 周波数制御を可能としたモデルによる制御

本章では、蓄電池の制御方法として、次の三種類の方式を考える。

方式 A : LFC 信号による制御

方式 B : LFC 信号と比例制御による制御

方式 C : 比例制御

以下の図表において、「制御無し」とは、周波数制御を可能としたモデルによる制御が無いことを表しており、「制御無し」から周波数制御を可能とした負荷モデルによる制御に変えることにより、値が何%改善しているかを「改善率」として表している。「平均」と「最大」は、100 ケースのシミュレーションのデータのうち各ケースの最大値を平均したものが「平均」で、各ケースの最大値のうち、最も大きい値を「最大」としている。蓄電池の「必要容量」は、冷蔵庫 1 台に 1 つの蓄電池が搭載されていると考え、各々の地域の、合計容量を冷蔵庫の台数で割った数値の大きい方を「必要容量」としている。

4. 1 制御方法による比較

この節では小規模システムと大規模システムの比例定数をシステム容量基準で 0.15[%/Hz] に固定したときの、三種類の制御方法による周波数偏差、連系線潮流偏差の低減効果を比較する。

表 1 を見ると、方式 B による制御が一番周波数変動を抑制していることが分かる。次に方式 C、方式 A というよう順に改善率が良くなっている。

方式 A が周波数偏差において方式 B、方式 C と比べて改善率が悪いのは、LFC のみでは、出力変動、需要変動の急激な変動に対応できないからであると

考えられる。方式 B も方式 C も周波数偏差に比例した制御を行っているが、方式 B のほうが周波数偏差のどの指標においても改善率が良いのは、方式 C が周波数偏差に比例した制御だけを行っており、積分制御を行っていないのに対して、方式 B では LFC による制御も行っているため、より周波数が 0 の方に近づくためだと考えられる。

表 1 制御方法による周波数偏差の違い

		小規模システム	大規模システム
制御無し	平均[Hz]	0.163	0.158
	最大[Hz]	0.262	0.253
方式A	平均[Hz]	0.140	0.134
	改善率[%]	14.3	15.0
	最大[Hz]	0.203	0.194
方式B	改善率[%]	22.4	23.5
	平均[Hz]	0.0924	0.0867
	改善率[%]	43.4	45.1
	最大[Hz]	0.117	0.111
方式C	改善率[%]	55.2	56.0
	平均[Hz]	0.0979	0.0920
	改善率[%]	40.1	41.7
	最大[Hz]	0.139	0.131
	改善率[%]	47.0	48.1

表 2 を見ると、LFC による制御が無いことではあるが、方式 C ではほとんど連系線潮流を抑えることは出来ていない。方式 A と方式 B を比較すると、平均、最大共に若干方式 A が良くなっている。これにより LFC に周波数偏差に比例した制御を加えることにより、連系線潮流制御に若干の悪影響を及ぼしていることが分かる。この影響が比例定数によってどのように変わっていくかは次節で検証していく。

表 3 を見ると、蓄電池の必要容量は方式 A と方式 B は同程度であるが、方式 C はその他二つの制御と比べると必要容量が少ない。

表 2 制御方法による連系線潮流偏差の違い

制御無し	平均[GW]	0.494
	最大[GW]	0.811
方式A	平均[GW]	0.418
	改善率[%]	15.5
	最大[GW]	0.714
方式B	平均[GW]	0.420
	改善率[%]	15.0
	最大[GW]	0.734
方式C	平均[GW]	0.489
	改善率[%]	1.1
	最大[GW]	0.801
	改善率[%]	1.3

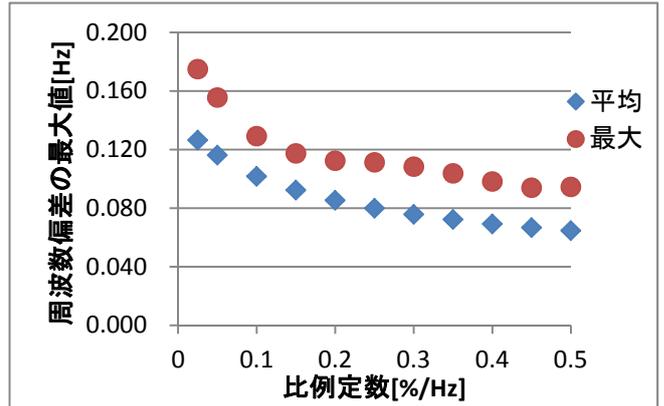


図 4 方式 B のときの比例定数と小規模システムの周波数偏差の関係

表 3 制御方法による蓄電池必要容量の違い

方式A	平均[Wh]	1.52
	最大[Wh]	3.60
方式B	平均[Wh]	1.50
	最大[Wh]	3.64
方式C	平均[Wh]	0.280
	最大[Wh]	0.932

表 5 方式 B のときの比例定数と連系線潮流偏差の関係

比例定数 [%/Hz]	平均[GW]	最大[GW]
0.025	0.418	0.720
0.05	0.418	0.725
0.1	0.419	0.730
0.15	0.420	0.734
0.2	0.421	0.737
0.25	0.422	0.739
0.3	0.424	0.741
0.35	0.424	0.742
0.4	0.425	0.743
0.45	0.426	0.743
0.5	0.427	0.743

#### 4. 2 方式 B の比例定数による比較

表 4 と図 4 を見ると、比例定数が増えるにつれて周波数偏差が抑制されるが、比例定数が大きくなってくると、比例定数を上げててもなかなか周波数偏差が改善しなくなるという傾向が読み取れる。また、平均の値と最大の値の上がり下がりがおおよそ連動していることが分かる。

表 5 を見ると、方式 B では、比例定数の違いによって連系線潮流偏差制御の効果はあまり変わらないことが、表 6 を見ると、方式 B では比例定数の違いによって蓄電池の必要容量はほとんど変わらないことが分かる。

表 4 方式 B のときの比例定数と小規模システムの周波数偏差の関係

比例定数 [%/Hz]	平均[Hz]	最大[Hz]
0.025	0.126	0.175
0.05	0.116	0.156
0.1	0.102	0.129
0.15	0.0924	0.117
0.2	0.0854	0.112
0.25	0.0800	0.111
0.3	0.0758	0.108
0.35	0.0723	0.104
0.4	0.0693	0.0983
0.45	0.0668	0.0940
0.5	0.0647	0.0946

表 6 方式 B のときの比例定数と蓄電池必要容量の関係

比例定数 [%/Hz]	平均[Wh]	最大[Wh]
0.025	1.52	3.61
0.05	1.52	3.61
0.1	1.51	3.63
0.15	1.50	3.64
0.2	1.49	3.62
0.25	1.49	3.62
0.3	1.48	3.62
0.35	1.48	3.62
0.4	1.48	3.61
0.45	1.48	3.61
0.5	1.48	3.61

#### 4. 3 方式 C の比例定数による比較

表 7 と図 5 を見ると、方式 B の傾向と同じく、比例定数が増えるにつれて周波数偏差が抑制されるが、比例定数が大きくなってくると、比例定数を上げててもなかなか周波数偏差が改善しなくなるという傾向が読み取れる。

表 7 方式 C のときの比例定数と  
小規模系統の周波数偏差の関係

比例定数[%/Hz]	平均[Hz]	最大[Hz]
0.025	0.142	0.206
0.05	0.128	0.185
0.1	0.110	0.158
0.15	0.0979	0.139
0.2	0.0892	0.125
0.25	0.0826	0.113
0.3	0.0772	0.110
0.35	0.0728	0.106
0.4	0.0692	0.100
0.45	0.0664	0.0953
0.5	0.0640	0.0948

表 9 方式 C のときの比例定数と  
蓄電池必要容量の関係

比例定数[%/Hz]	平均[Wh]	最大[Wh]
0.025	0.0795	0.272
0.05	0.137	0.471
0.1	0.219	0.744
0.15	0.280	0.932
0.2	0.329	1.08
0.25	0.371	1.19
0.3	0.406	1.28
0.35	0.438	1.34
0.4	0.467	1.39
0.45	0.493	1.43
0.5	0.518	1.47

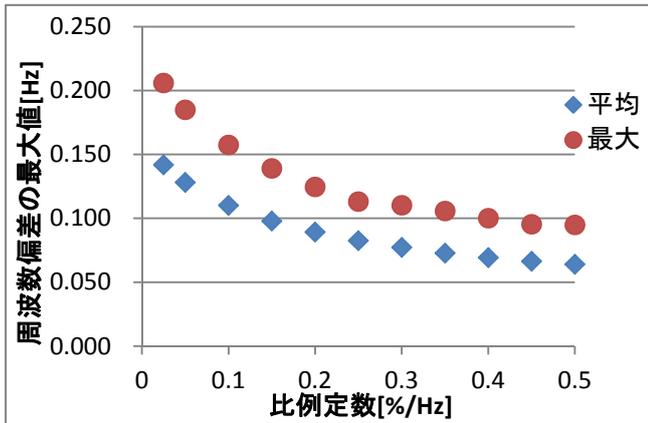


図 5 方式 C のときの比例定数と  
小規模系統の周波数偏差の関係

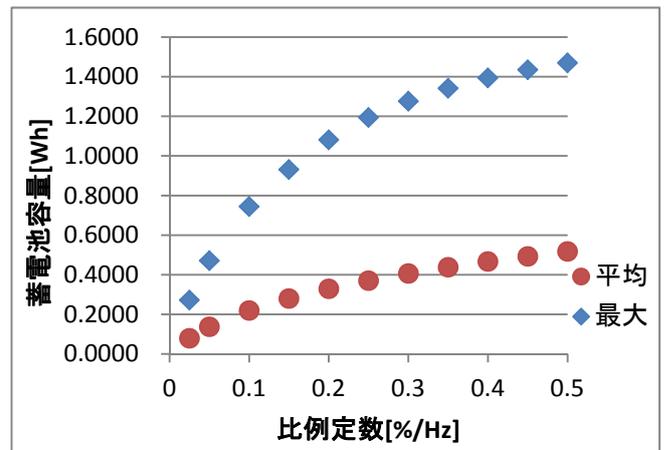


図 6 方式 C のときの比例定数と  
蓄電池必要容量の関係

表 8 をみると、方式 C では比例定数が上がるにつれてわずかに連系線潮流偏差が抑制できる傾向があるものの、ほとんど変化しないことがわかる。

表 9 と図 6 から、蓄電池必要容量は比例定数が上がるにつれて増加するが、指数関数的な振る舞いがあり、ある値に収束するような傾向が見られる。

表 8 方式 C のときの比例定数と  
連系線潮流偏差の関係

比例定数[%/Hz]	平均[GW]	最大[GW]
0.025	0.493	0.811
0.05	0.493	0.809
0.1	0.491	0.805
0.15	0.489	0.801
0.2	0.487	0.798
0.25	0.485	0.795
0.3	0.484	0.793
0.35	0.482	0.791
0.4	0.481	0.790
0.45	0.480	0.789
0.5	0.479	0.788

### 5. 遠方観測情報を必要としない改善案

これまで検討してきた制御方法の中で、方式 A と方式 B は連系線潮流の情報が必要とする TBC を行っているのですが、大規模な通信網が必要となるという欠点がある。一方、方式 C では周波数の情報に基づいて制御を行っているだけなので、通信を必要としないが連系線潮流制御効果は期待できない。

そこで改善案として、発電機のガバナ・フリー容量を LFC 容量に割り当て、周波数制御を可能とした負荷モデルでは周波数偏差に比例した制御のみを行う制御を考える。これを方式 D とする。

ガバナ・フリー容量を LFC 容量に割り当てたことにより、短周期の周波数変動の調整能力が低下する代わりに連系線潮流制御能力が上がるのが期待される。低下した短周期の周波数変動の調整能力は、周波数制御を可能とした負荷モデルにより補う。

以下で、「制御無し」は 4 章と同様の値のことを示している。

表 10 と図 7 を見ると、ガバナによる制御がないため、比例定数が小さいときは、表 1 に示される制御無しの状態よりむしろ周波数偏差が大きくなっていることが分かる。比例定数が上がるにつれて周波数偏差は最大、平均共に低減されていき、最大は 0.3[%/Hz]のときに 0.146[Hz]で最小値となっている。この値は方式 A の 0.194[Hz]に比べると小さいが、方式 B の最大の最小値である 0.0940[Hz]や方式 C の最大の最小値である 0.0948[Hz]と比べると大きくなっている。

表 11 を見ると、比例定数によって連系線潮流偏差の最大値に大きな変化は無いことが分かる。最大は 0.15[%/Hz]のときに 0.702[GW]で最小値になっており、この値は方式 A の最大の最小値である 0.714[GW]や、方式 B の最大の最小値である 0.720[GW]と遜色ない結果となっており、方式 D を提案した目的であった通信を用いずに連系線潮流偏差を低減し、かつ周波数変動偏差を低減することに成功している。

表 11 方式 D のときの比例定数と連系線潮流偏差の関係

比例定数[%/Hz]	平均[GW]	最大[GW]
0.025	0.445	0.715
0.05	0.435	0.744
0.1	0.423	0.733
0.15	0.415	0.702
0.2	0.409	0.707
0.25	0.404	0.718
0.3	0.399	0.727
0.35	0.396	0.732
0.4	0.393	0.736
0.45	0.391	0.739
0.5	0.389	0.744

表 12 と図 8 を見ると、蓄電池の必要容量は比例定数 0.2[%/Hz]あたりから大きく増加しているが、方式 A や方式 B と比べるとかなり小さい値となっている。

表 10 方式 D のときの比例定数と小規模システムの周波数偏差の関係

比例定数[%/Hz]	平均[Hz]	最大[Hz]
0.025	0.333	0.478
0.05	0.242	0.368
0.1	0.155	0.280
0.15	0.111	0.238
0.2	0.0867	0.181
0.25	0.0740	0.150
0.3	0.0670	0.146
0.35	0.0630	0.153
0.4	0.0612	0.162
0.45	0.0614	0.171
0.5	0.0628	0.179

表 12 方式 D のときの比例定数と蓄電池必要容量の関係

比例定数[%/Hz]	平均[Wh]	最大[Wh]
0.025	0.28	0.63
0.05	0.33	0.81
0.1	0.27	0.63
0.15	0.25	0.57
0.2	0.28	0.51
0.25	0.32	0.58
0.3	0.36	0.65
0.35	0.40	0.72
0.4	0.43	0.80
0.45	0.47	0.86
0.5	0.50	0.91

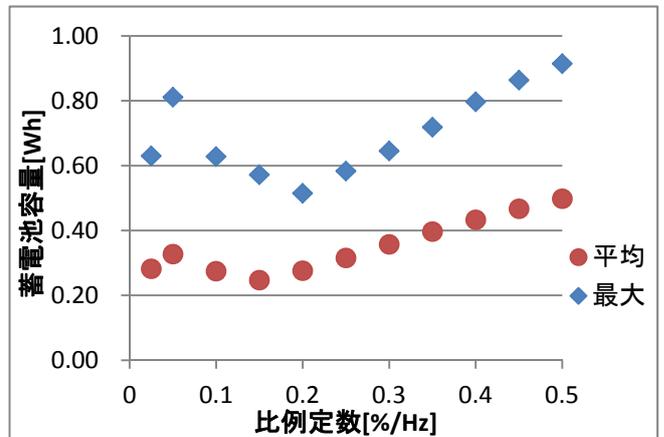
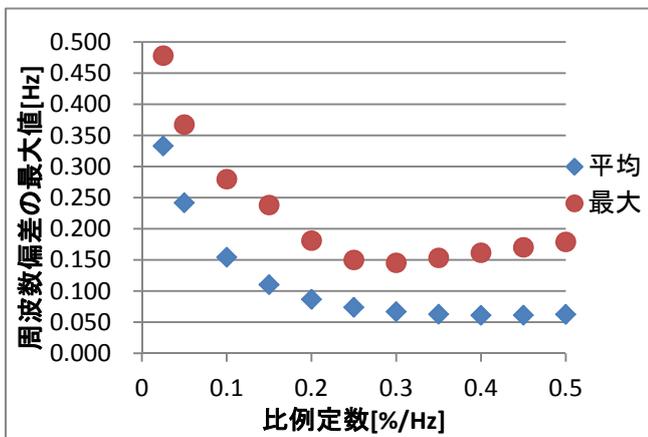


図 7 方式 D のときの比例定数と小規模システムの周波数偏差の関係

図 8 方式 D のときの比例定数と蓄電池必要容量の関係

## 6. まとめ

本稿では、周波数変動を、これまでの発電機のガバナ・フリー制御と LFC に加えて、小容量の蓄電池を搭載した冷蔵庫による周波数制御によって抑制するという方式を提案し、解析を行った。

この負荷モデルは、冷蔵庫が常時電力を消費するため、全時間帯で周波数制御が可能であるという特長がある。

モデルの制御方法として、LFC 信号による制御、LFC 信号と比例制御による制御、比例制御の 3 種類の方式を提案し、比較検討を行った。その結果、周波数偏差に比例した制御が周波数偏差の最大値を抑えるのに最も有用であることが分かった。

冷蔵庫一台当たりに必要な蓄電池の容量は、本稿で見られた最大値でも 3.64[Wh]であり、スマートフォン用の蓄電池でも 2000[mAh] (蓄電池の電圧を 3.7[V]として換算すると 7.4[Wh]) 程度の蓄電池が搭載されているため、これはさほど大きな量ではなく実現可能性があると考えられる。

さらに、発電機のガバナ・フリー容量を LFC 容量に割り当て、負荷モデルでは周波数偏差に比例した制御だけを行うことによって、通信を不要とした上で周波数偏差と連系線潮流偏差を抑える制御を提案した。

(2006)

- (7) 日本風力発電協会「風力発電導入ポテンシャルと中・長期導入目標 (V3.2)」(2012)
- (8) 電力系統利用協議会「連系可能量算定の前提条件の明確化 (短周期変動)」(2012)
- (9) 経済産業省「周波数変動の観点から見た風力発電連系可能量の正確な把握」(2005)
- (10) 東北電力「風力発電連系可能量の算定プロセス」(2011)
- (11) 電気事業連合会「電力統計情報」(2011)
- (12) 経済産業省「コスト等検証委員会報告書」(2011)
- (13) 一般財団法人家電製品協会「生活家電の基礎と製品技術 2013 年版」, NHK 出版, p.21 (2012)
- (14) 資源エネルギー庁「夏期最大電力使用日の需要構造推計 (東京電力管内)」(2011)
- (15) Panasonic「エコキュートのしくみ」(2014)
- (16) 経済産業省「家庭用電気冷蔵庫及び家庭用電気冷凍庫の現状について」(2009)
- (17) 総務省統計局「都道府県、世帯の種類別世帯数と世帯人員」(2010)
- (18) 内閣府「主要耐久消費財等の保有数量」(2004)

(平成 26 年 8 月 29 日 受理)

## 参考文献

- (1) 電気事業連合会「2012 年度の電源別発電電力量構成比」(2013)
- (2) 大久保 仁「電力システム工学」, オーム社, p.65 (2008)
- (3) 入江 寛・横山 明彦・多田 泰之「大容量風力発電導入時における需要家ヒートポンプ給湯器と蓄電池の協調による系統周波数制御」, 電学論, B130, pp.338-346 (2010)
- (4) 有田 征史・横山 明彦・多田 泰之「FFC-TBC 系統連系での蓄電池による連系線潮流変動抑制に関する基礎検討」, 電学論, B128, pp.953-955 (2008)
- (5) 谷口 治人「電力システム解析」, オーム社, pp.162-163, p.167 (2009)
- (6) 井上 俊雄・天野 博之「発電機の出力応動特性に応じた負荷周波数制御分担--応動遅れの大きい発電機を活用する制御ロジックの提案」, 電力中央研究所報告, R 研究報告(05021), pp.1-16

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いた太陽電池用パッシベーション膜の評価

伊藤 浩\*

Characterization of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> passivation film for silicon solar cells

Hiroshi ITO\*

In this paper, the surface passivation Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> film for Si solar cells was studied by a hydrogen reactive sputtering method. These Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films were characterized by optical properties, effective carrier life times and the C-V measurements. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films deposited at 10% hydrogen gas and 30% oxygen gas indicated that its refractive index was similar to the bulk's index. And the maximum value of effective carrier life time was obtained at the substrate temperature 300°C. The fixed charge in the oxide film and the interface level density measured by the C-V method were decreasing after the anneal at 400°C. From these results, the optimum condition of the sputtered Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> film was obtained and it was indicated that the proposed method would be useful for the solar cell's passivation films.

(Keywords: aluminum oxide, silicon solar cell, passivation film, reactive rf sputtering)

## 1. 諸言

現在、エネルギー環境の問題からソフトエネルギーの関心が高まり、その中でも太陽光発電は特に注目されている。太陽電池は、半導体のpn接合を基本構造として、SiやGaAsなど二元、三元系の化合物半導体材料を用いて作られている。このSi太陽電池セルは最も広く普及しており、今現在も高効率化、低コスト化に向け研究開発が進められている。Si太陽電池の基板には、単結晶、多結晶、アモルファスが用いられ、それぞれ実用化されているが、単結晶基板を用いたものは他に比べコスト面で劣るが、発電効率で一番優れる。この単結晶Si太陽電池の高効率化には、PERL (passivated emitter, rear locally-diffused)構造<sup>[1]</sup>や裏面コンタクト部選択的裏面電界構造BSF (Back Surface Field)などが用いられ、Si表面のパッシベーション技術が重要な課題となっている。このパッシベーション膜には反射防止効果と表面再結合抑制効果とがあり、SiO<sub>2</sub>膜やSi<sub>2</sub>N<sub>3</sub>膜などが利用されている。また一方で、低コスト化に向けSi基板厚が100μ以下と薄くなり、裏面側のキャリア再結合などの影響が問題となってきた<sup>[2]</sup>。そこで、裏面側パッシベーション膜材料として、酸化アルミニウムAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜が注目され、研究が進められている<sup>[3]</sup>。この裏面パッシベーションAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜に関してはまだ研究段階である。

そこで、本研究では単結晶Si太陽電池用の

裏面パッシベーション膜Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を反応性スパッタリング法で作製する手法を開発する。通常、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜はCVD法やALD法を用いて研究されている<sup>[4]</sup>。本研究では、簡便な成膜プロセスである反応性スパッタリング法を用い、CVD法やALD法と比べ低コスト化が可能となる。しかし、スパッタリング法はプラズマを用いる成膜手法のため、基板に対するプラズマダメージの問題がある。プラズマ中の高エネルギー粒子が基板上に衝突することで、Si基板表面の結晶を乱し、表面準位を増加させることになる。また、スパッタ成膜では入射粒子のエネルギーが高いため、膜応力や固定電荷が形成されやすい。これらのことから、一般的にスパッタリング法は表面パッシベーションには向かないと言われている。そこで、本研究ではプラズマダメージの緩和と、表面準位の消滅を目的に、水素を添加させた水素添加反応性スパッタリング法を提案する。この手法は、表面パッシベーション膜SiNにおいて、CVD法で作製した膜と同等性能の膜を形成できることを示した<sup>[5,6]</sup>。この研究成果から、同様にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜においてもCVD法やPLD法と同等のパッシベーション性能を持つ膜の作製が可能であると考えられる。本報告では、水素添加反応性スパッタリング法を用いて作製したAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜の成膜速度、屈折率、キャリアライフタイム、界面固定電荷を評価し、そのパッシベーション効果について検討したので

\*電気工学科

報告する。

## 2. 実験方法

$\text{Al}_2\text{O}_3$  の作製には、反応性スパッタリング装置（芝浦メカトロニクス 4ES）を用いた。ターゲットは Al (4N 3inchφ)、スパッタ出力は 400W 一定、スパッタガスは Ar、 $\text{O}_2$  及び、 $\text{H}_2$  の混合ガスを用いた。混合ガスの流量をマスフロー制御により変化させ、ガス混合比をパラメータとして実験した。基板には p 型 Si (111) 100Ωcm 片面鏡面研磨ウエハを用いた。Si 基板の洗浄は HF 6% に 3 分間浸漬し、その後、純水リンスを 1 分間行った。成膜時の基板温度は室温から 500°C の範囲で行った。

$\text{Al}_2\text{O}_3$  膜の評価には、エリプソメータ、マイクロ波光導電減衰法 ( $\mu$ -PCD 法) を用いた。また、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜の固定電荷の評価には C-V 測定を用いた。評価用試料の電極作製に、真空蒸着装置を用い、電極寸法が 2mm×2mm のメタルマスクを用いて、Al 電極を作製した。基板裏側には全面に Al を蒸着した。測定には、LCR メータ (Agilent4284A)、低雑音プローバを用いて行った。測定条件として、測定周波数 1 MHz、信号電圧 300 mV、Cs-Rs モード、バイアス -5 V ~ 5 V の範囲とした。試料のアニールには、大気中、ホットプレートを用いた。アニール温度  $T_a$  を 100°C ~ 400°C とし、時間依存性を調べるために 1 分間隔で加熱と C-V 測定を繰り返し、最終的に 10 分間アニールを行った。

## 3. 実験結果・考察

図 1 に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜の成膜速度、屈折率の水素量依存性を示す。成膜速度は水素添加量が増加すると 6% 以上で減少傾向を示し、水素ラジカルによるエッチング作用か、水素イオンから放出された電子などによる影響が考えられる。また、屈折率は単調な増加傾向を示すことから、水素添加量を増やすと、膜の緻密化が促進されるものと考えられる。また、水素添加量が 10% でバルク  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の値と同様の屈折率を得られることから、緻密な  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜であると考えている。

図 2 に成膜速度と屈折率の基板温度依存性を示す。この結果では基板温度の増加と伴に

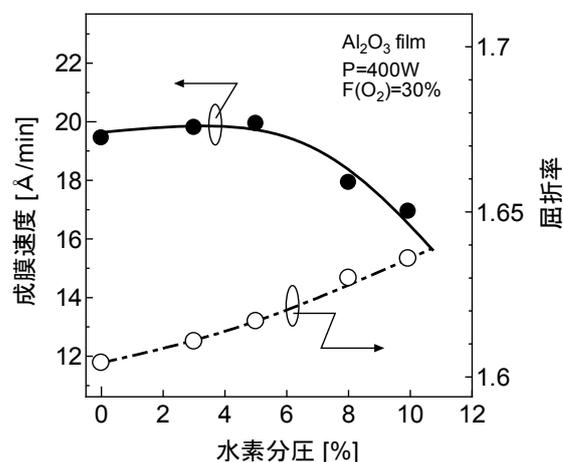


図 1 成膜速度、屈折率の水素量依存性

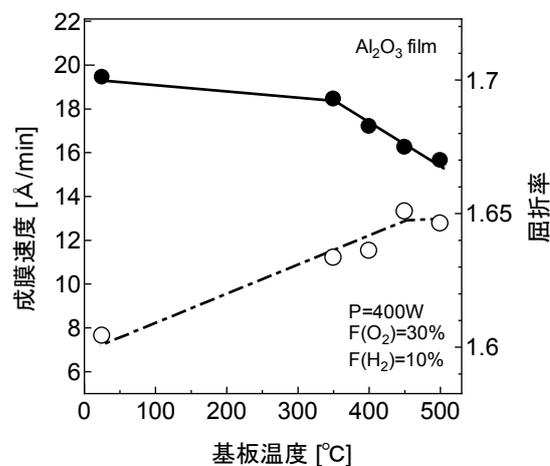


図 2 成膜速度、屈折率の基板温度依存性

屈折率はほぼ単調に増加し、450°C 以上で ALD 法と同等の 1.65 を得た。

図 3 には実効キャリアライフタイム  $\tau$  の評価結果を示す。 $\tau$  の基板面内の平均値で評価すると 350°C で最大となり、400°C 以上で急激な減少傾向を示した。この減少は水素脱離の影響と考えている。使用した Si 基板の  $\tau$  のバルク値は約 2msec であり、アニール処理により  $\tau$  は数倍に増加する。

図 4 と図 5 に C-V 特性の測定結果を示す。図 5 はアニール温度 400°C、10 分後の結果である。C-V 特性の容量は、容量特性における最大値を酸化膜容量  $C_{ox}$  として、割った値で表示している。図 4 において、基板温度 RT と 100°C の試料では、変化領域が負バイアス側で現れている。また、基板温度 200°C、250°C の試料では、変化領域が正バイアス側で現れている。この C-V 特性の変化領域がシフトす

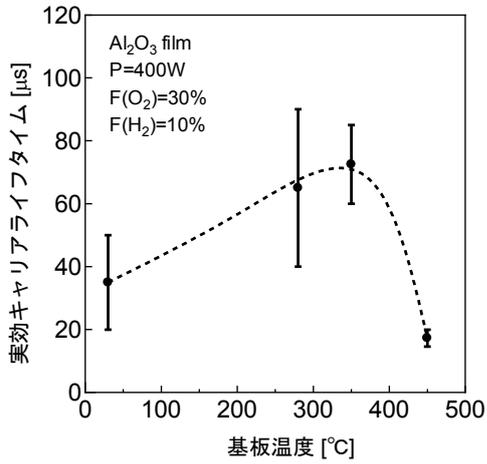


図3 実効キャリアライフタイムの基板温度依存性

る原因は、酸化膜中に形成される固定電荷であることが分かっている<sup>[7]</sup>。このことから、本実験の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜も同様に、膜中に固定電荷が形成され、しかも成膜条件によって固定電荷の極性が異なるものと考察できる。成膜温度 RT 及び 100°C では、負バイアス側にシフトしていることから、固定電荷の極性は正であり、200°C 及び 250°C の試料では負であることが分かる。

また、図5に示すアニール後の C-V 特性では、成膜条件に依存せず、すべての変化領域が 0 バイアス付近にシフトしている。この結果から、アニール処理によって、酸化膜中の固定電荷が消滅したものと考えられる。以上の結果より、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜の成膜条件によって、正又は負の固定電荷が酸化膜中に形成されるが、400°C、10 分間のアニール処理によって固定電荷が消滅し、C-V 特性は成膜条件によらず同様な特性となることが分かった。

図6に図4,5から求めたフラットバンド電圧  $V_{FB}$  のアニール時間依存性を示す。基板温度 RT, 100°C の試料では、フラットバンド電圧は正の値を示すが、アニール処理が1分で急激に減少し、負の値となるが、その後 0V 付近で飽和傾向を示している。また、基板温度 200°C, 250°C では、負の値となっており、アニール処理によって緩やかな増加と飽和傾向を示している。これらの結果から成膜条件によって初期のフラットバンド電圧の値は異なるものの、アニール処理により、若干の増加と飽和する特性を示すことが分かった。こ

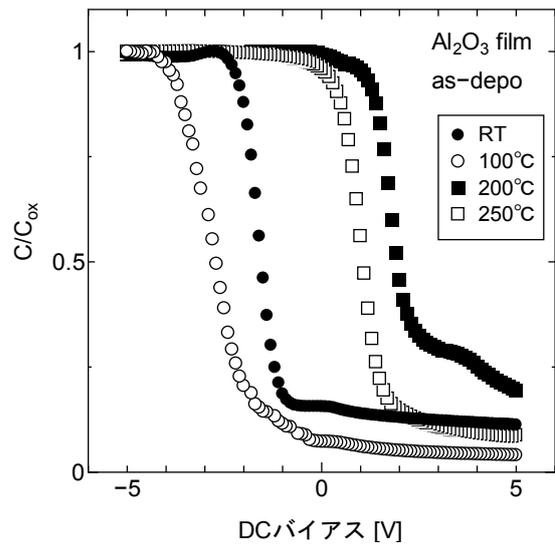


図4 AIO 膜の C-V 測定結果 (アニール処理前)

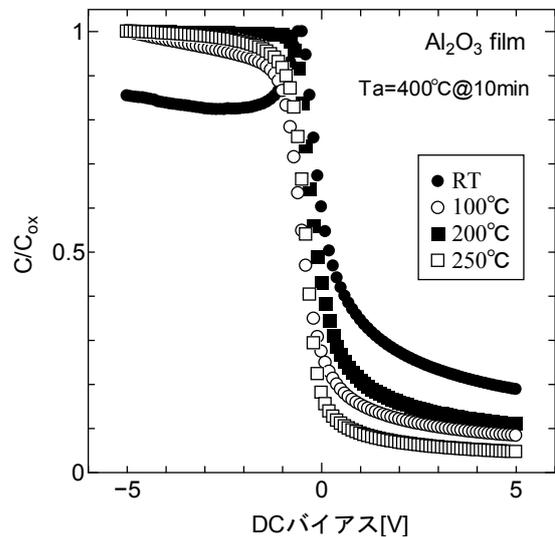


図5 AIO 膜の C-V 測定結果 アニール処理後

のことから、固定電荷については成膜時に加熱するのと成膜後に加熱するのと同じ固定電荷となることを示している。つまり、400°C 程度の熱エネルギーで、酸化膜中のイオンの脱離や結合状態が変化することが考えられる。特に本実験では水素添加スパッタで作製しており、水素の脱離が 400°C で生ずることから、膜中の水素の挙動と関係したものと推察している。

図7に、C-V 特性から求めた界面準位密度のアニール温度依存性を示す。界面準位は比較のために RT 試料を基準に割った値を示す。

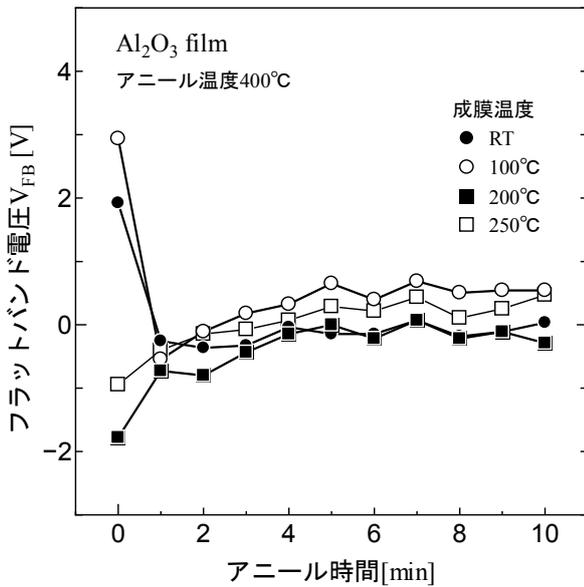


図 6 フラットバンド電圧  $V_{FB}$  のアニール時間依存性

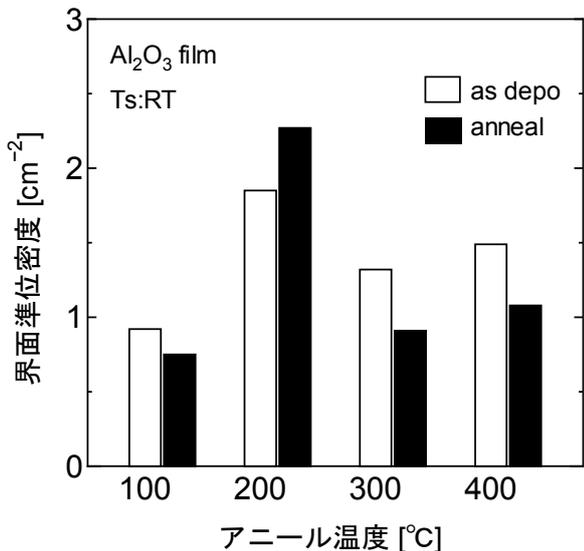


図 7 界面準位密度のアニール温度依存性

界面準位は Si 表面のダングリングボンドに起因して発生するもので、本実験のスパッタ成膜では非平衡状態の膜形成であるため、界面準位密度は高くなる。しかし、水素添加した水素によりダングリングボンドをキャップし、発生を抑制していることが期待できる。図 7 の結果から、基板温度 200°C 以外の試料ではほぼ同等の値であり、成膜条件に依存しないことが分かった。また、アニール処理によって界面準位密度は減少することが分かった。これは水素添加スパッタによって膜中に混入した水素が、アニール処理により界面へ

拡散し、界面のダングリングボンドを水素キャップにより消滅させたものと推察している。このことより、添加した水素は膜中にトラップされ、膜中に混入した状態で存在し、界面への影響はほぼないと考えている。

以上のアニール処理による影響を考察すると、水素添加スパッタにより、膜中に水素が取り込まれるが、その取り込まれ方によって、酸化膜中に正の固定電荷又は負の固定電荷が形成される。しかし、成膜後の 400°C アニール処理によって、水素が膜中を移動拡散し、固定電荷は消滅し、界面に拡散した水素は Si のダングリングボンドと結合し、界面準位を減少させると考えられる。このことから、水素添加スパッタとアニール処理により、固定電荷が無く、界面準位密度が少ない、太陽電池用パッシベーション膜に有効な膜が作成できることが分かった。

#### 4. 結論

本研究では、水素添加反応性スパッタリング法を用いた太陽電池用パッシベーション膜  $Al_2O_3$  のプロセス手法を開発するために、光学的特性、キャリアライフタイム測定、C-V 測定から  $Al_2O_3$  薄膜を評価した。この結果から、酸素分圧 30%、水素添加量 10% の反応性スパッタで作製した  $Al_2O_3$  は、バルクと同等の屈折率を示すことが分かった。また、基板温度が 300°C 付近で、キャリアライフタイムが最大の値を示し、パッシベーション膜に最適な条件であることが分かった。さらに、C-V 特性から、界面固定電荷は膜形成時には形成されるが、後アニール処理により消滅する。また、膜中に取り込まれた水素がアニール処理により界面に拡散移動し、ダングリングボンドを H キャップすることによって界面準位密度が減少すると考え、400°C のアニール処理が本実験では有効であると考えられる。

以上の結果から、水素添加スパッタによる成膜手法が有効であることを示し、今後はさらに添加する水素の挙動を詳細に調べることで、より最適な成膜条件が見いだせるものと考えている。

参考文献

- [1] J. Zhao, A. Wang and M. A. Green, "24.5% Efficiency silicon PERT cells on MCZ substrates and 24.7% efficiency PERL cells on FZ substrates", Progress in Photovoltaics, 7, p. 471, 1999.
- [2] 日本セラミックス協会編「太陽電池材料」、日刊工業新聞社、p.12、2006.
- [3] Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Shuhei Kida, Tatsuro Watahiki, and Makoto Konagai, "Effects of Annealing and Atomic Hydrogen Treatment on Aluminum Oxide Passivation Layers for Crystalline Silicon Solar Cells", Japanese Journal of Applied Physics 50, p. 12301, 2011.
- [4] M. D. Groner, et al., "Gas diffusion barriers on polymers using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atomic layer deposition", Applied Physics Letters 88, p. 51907, 2006.
- [5] 伊藤 浩、川又由雄、大山昌憲、“反応性スパッタ SiN<sub>x</sub>:H 薄膜の作製と評価”、第59回応用物理学会学術講演会、2012.
- [6] 伊藤 浩、川又由雄、大山昌憲、“反応性スパッタリング法による太陽電池パッシベーション膜の作製と評価”、東京工業高等専門学校研究報告書、Vol. 45(1), pp. 71-76, 2013.
- [7] 垂井康夫「半導体デバイス」(電気学会)、オーム社、p. 126、1978.

(平成26年9月1日受理)

# XPS分析による陽極酸化と熱酸化の比較

柚賀正光\*

## Comparison of anodic oxidation and thermal oxidation by XPS

Masamitsu YUGA

The preparation of oxidized films is indispensable in the process of LSI. Usually, though thermal oxidation was used, it came to pay attention to anodic oxidation recently. The reason is because anodic oxidation can grow at a low temperature. Therefore, anodic oxidized films are applied to the liquid crystal and so on. So far, though anodic oxidized films were thought inferior to thermal oxidized films, it was found out that anodic oxidation could get a film which was equal to thermal oxidation in growth temperature.

Then, thermal oxidation was compared with anodic oxidation, and a characteristic difference was decided to be examined.

In the case of thermal oxidized films based on the sample that oxidized for 3 hours in 1100°C. On the other hand, anodic oxidized films are the sample that it oxidized for about one hour at 30 °C. In this case, electric current density is 30 and 100 mAcm<sup>-1</sup>. As for each films were made to deposit on the n-type Si. Characteristic evaluation was done by the XPS analysis, and it made a profile in the depth direction. The Si<sup>4+</sup> peak of a SiO<sub>2</sub> film was compared with the peak of the inside single crystalline silicon Si<sup>0+</sup>, and it was measured about the content of the hydroxide and oxygen. In addition, C-V characteristic and the influence of the various annealing were examined, too.

(Keywords; anodic oxidized films, thermal oxidized films, XPS analysis)

### 1. はじめに

LSI製作において、シリコン表面に酸化膜を成長させる技術は、不純物をドーピングする上で、不可欠な工程である。従来、こうした酸化膜は、1000°C以上の高温で製作されている<sup>(1)</sup>。この場合、高温を保つための電気炉は、精密に制御され、外気中の不要物が浸入しないように、クリーンルームを必要とする<sup>(2)</sup>。

このため、装置は大掛かりになり、製造コストは上がる。また、不純物の拡散も、イオン注入などの技術により、高温を必要としなくなったので、LSI設計において、酸化膜成長だけが、高温工程となっている。スパッタリングや気相成長法を使えば、低温でも酸化膜ができるが、この方法は、シリコン

表面に外部から膜を付着させるので、表面保護の立場から適切ではない。したがって、LSI設計では、材料のシリコン表面から、直接成長させる方法が望ましい。

熱酸化法は、高温を必要とするが、膜厚が均一で絶縁性の高い良質の膜が得られる優れた技術である。しかし、一方で、高温に曝すことのできない材料には不向きである。たとえば、アモルファスシリコンは、350°C以上になると、電子トラップを発生させないように導入した水素が剥がれてしまい、特性が劣化するので<sup>(3)</sup>、熱酸化膜は成長できない。また、液晶パネル中に存在する薄膜トランジスタにおいても、不都合である。

\*電子工学科

表面から、低温で酸化膜を成長させる方法に、陽極酸化法がある。この方法は電解を利用するもので、昔から知られていた。しかし、電解液を用いるため、特性が悪く、絶縁性も熱酸化に比較して劣るとされていた。もし、陽極酸化法によって良質な酸化膜が作製できれば、高温に適さない素材にも応用でき、さらには、製造装置も簡単で、コストダウンにつながる。

本研究室では、陽極酸化において、定電流電解と定電圧電界の併用によって、均一な膜厚の酸化膜を成長させる技術を開発した。さらに、成長温度を  $20^{\circ}\text{C}$ ~ $70^{\circ}\text{C}$  の範囲で調整して、絶縁性の高い膜質が得られることも判明してきた<sup>(4)</sup>。

本報告では、 $30^{\circ}\text{C}$ 程度で成長させた陽極酸化膜と  $1100^{\circ}\text{C}$ で成長させた熱酸化膜の特性の違いがどこにあるのか、XPS 分析により解析してみた。 $30^{\circ}\text{C}$ の場合は、必ずしも膜質は良くないが、その違いを比較することによって、両者の構造が理解できる。その場合、基板の単結晶シリコンと、酸化膜界面の状態や、内部の酸素分布、さらには、水分の状態も明確になったので報告したい。なお、成長した酸化膜に、アルミ電極を蒸着させて、ここに電圧を加え、容量を測定してみた。いわゆる C-V 特性であり、この結果からも、興味深いことが確認されたので、併せて報告する。

## 2. 試料の作製方法

Fig.1 に、試料の作製方法を示す。左側が陽極酸化法であり、右側が熱酸化法である。陽極酸化法では、温度一定の電解液中に電極を浸して、陽極の Si 表面に  $\text{SiO}_2$  膜を成長させる方法である。本報告では、陰極に Pt を用いた。電解液の構成は、エチレングリコールに少量の硝酸を含んでいる。定電流電解で多量の酸化膜を成長させ、電圧が  $200\text{V}$  程度に達したら、定電圧電解に切り替え、膜の厚みを均一にする方法である。

一方、熱酸化膜は、温度制御された電気炉中に酸素を導入し、クリーンな環境で、長時間酸化する方法である。一般には、図のように  $1200^{\circ}\text{C}$ 程度が必要であるが、本実験では、膜の厚みを陽極酸化膜と同程度にして比較したいため、 $1100^{\circ}\text{C}$ に抑えた。電解時間は、陽極酸化法がおおよそ1時間であり、熱酸化法が3時間である。

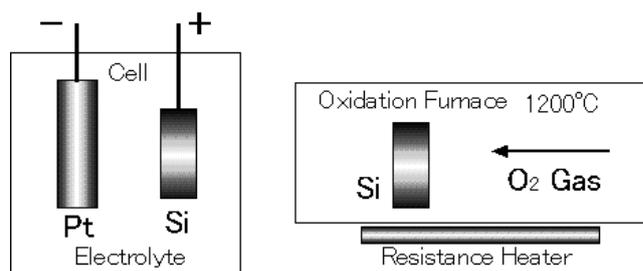


Fig.1 Comparison of anodic oxidation and thermal oxidation

## 3. XPS 分析による界面の比較

本報告で、分析に用いた XPS 装置は、本校所有の ULVAC-PHI 社製の 5600CI タイプである。XPS は、水素以外の元素の微量分析に適しているが、分子数個程度の領域にどのように元素が分布しているかがわかり、精密な深さ方向分析が可能な装置である。また、結合の状態も解析可能なので、本報告のように、Si と  $\text{SiO}_2$  の違いも明確に分離することができる<sup>(5)</sup>。

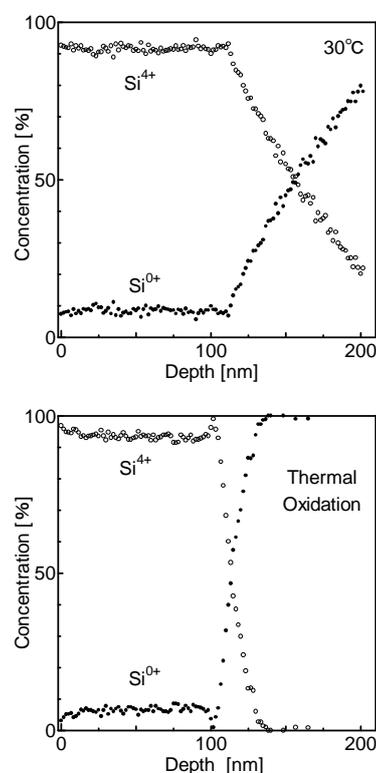


Fig.2 Depth profiles of  $\text{Si}^{0+}$  and  $\text{Si}^{4+}$  concentration determined by XPS analysis

Fig.2 は、30°Cで成長させた陽極酸化膜と 1100°Cで成長させた熱酸化膜の分析結果である。横軸は表面からの深さを表わし、ゼロが表面になる。また、縦軸は、濃度の比であり%で表している。上図が、陽極酸化膜であり、下図が熱酸化膜になる。図中、 $\text{Si}^{4+}$ が  $\text{SiO}_2$  の値であり、 $\text{Si}^{0+}$ は単結晶シリコンを示している。膜厚は、どちらも、およそ、100nmである。表面から 100nm までは、 $\text{SiO}_2$  膜が存在し、100nm より深くなると、基板の単結晶 Si の領域になるのがわかる。

このとき、膜質の良し悪しは、Si-SiO<sub>2</sub> 界面がシャープであるほど良質といえる。下図の熱酸化膜の場合、狭い範囲で、二つの濃度が逆転しているのがわかり、界面がはっきりしている。しかし、上図の陽極酸化膜では、それが、5 倍程度の厚みの中で反転し、界面が明瞭でないのがわかる。したがって、膜質が劣っているのが見て取れる。

しかし、陽極酸化膜の場合は、成長温度を少し変えれば、界面が明瞭になる。

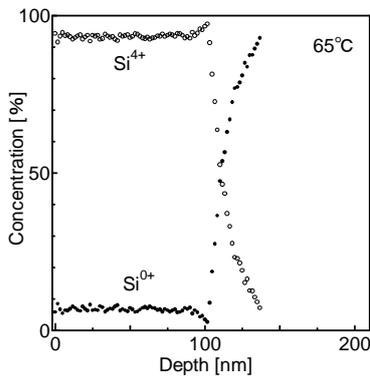


Fig.3 Depth profiles of anodic oxidation at 65°C

Fig.3 は、65°Cで成長させた場合の陽極酸化膜の XPS 分析の結果である。他の条件は同一であるが、Fig.3 のように、電解液の温度を変化させると、熱酸化膜に匹敵する結果を得た。このように、陽極酸化の場合、成長温度の影響が大きいことが判明した。

#### 4. 酸化膜内部の酸素と水分の状態

Fig.4 は、Fig.2 の状態に、酸素 O<sub>1s</sub> の%を付加したものである。基板のシリコン内部に、酸素が入り込まない方が膜質が良好と考えられるが、

Fig.4 上図の陽極酸化膜の場合、100nm より深い部分にも酸素が入り込んでいるのがわかる。一方、下図の熱酸化膜では、それが少ない。

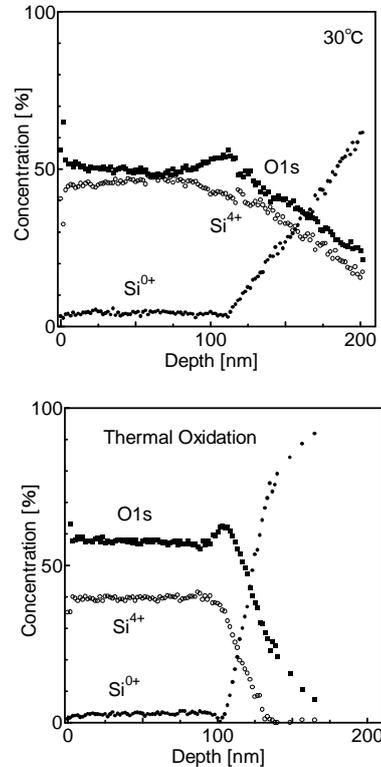


Fig.4 Depth profiles of O<sub>1s</sub> concentration determined by XPS analysis

Fig.4 で示すように、陽極酸化の場合、酸素濃度が低く、基板内部にも酸素が確認された。しかし、温度依存性についての考察によれば、60°C~70°Cあたりの成長温度の場合には、熱酸化膜と同等の特性が得られている。

しかし、成長温度が室温付近から 50°Cの範囲では、膜質が劣っているのが確認されている。特に 40°C~45°Cでは、それが著しい。

Fig.5 は、酸化膜内の水分の分布である。この場合、酸素の値も併せて記載した。ただし、縦軸は、光電子のカウントになっている。上図の 30°Cで成長させた陽極酸化膜では、膜の中に水分が存在している。成長温度の違いによって、水分の深さ方向の存在は多少変化するが、膜質が良くなる温度では、水分が少ない。陽極酸化膜の場合、電解液を用いるため、ある程度やむをえないが、水分の存在は、膜質に大きく影響を及ぼすのは確かである。

る。

一方、Fig.5 の下図に示した熱酸化膜の場合は、水分の存在は認められなかった。

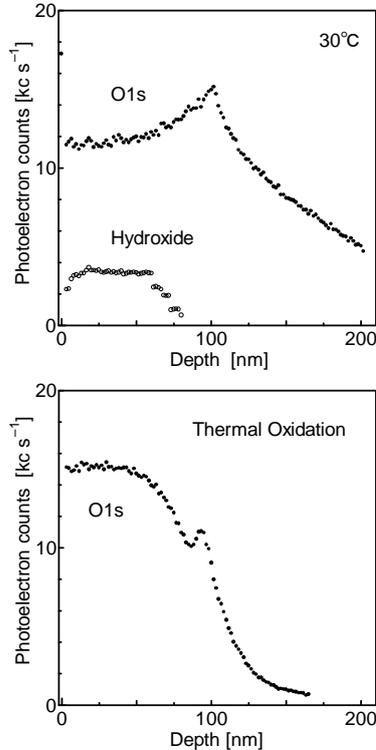


Fig.5 Depth profiles of hydroxide and O<sub>1s</sub> photoelectron counts

以上の分析結果から、膜質の善し悪しを判断する材料として、基板のシリコンと酸化膜界面の明確さと、膜中の水分の状態が影響することが分かった。そこで、成長させた酸化膜にアルミ電極を蒸着し MOS 構造を作製し、基板と電極間に電圧をかけることによってどうなるかを考察した。

Fig.6 は、熱酸化膜の C-V 特性である。

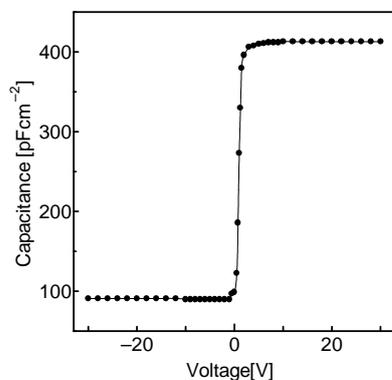


Fig.6 C-V characteristic of thermally oxidized films

基板のシリコンは n 型であるので、電極に正の電圧を加えると、酸化膜だけの静電容量が観測されるが、負の電圧を加えた場合は、基板中の電子が遠ざけられて空乏層が広がり、静電容量は酸化膜と空乏層の直列になる。そのため、縦軸に示す容量の値は 0V 付近から次第に減少していく。

Fig.6 のように、この過程がスムーズに移行する場合、膜の表面の状態が良好と判断できる。

Fig.7 は、陽極酸化膜の C-V 特性である。この図において、三通り描いているのは、熱処理の影響を示している。

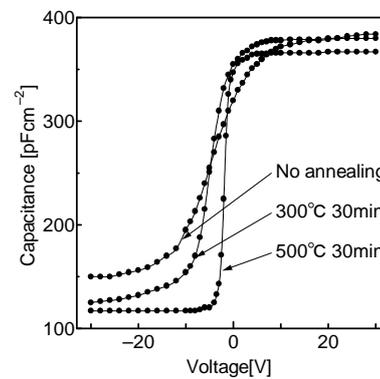


Fig.7 C-V characteristic of anodically oxidized films for various annealing conditions

熱処理をせず、そのまま特性を測定した場合には、Fig.6 の熱酸化膜に比較して、C-V カーブが緩やかであり、特性が良くないが、300°C で 30 分の熱処理で、次第に熱酸化膜に近づくことがわかる。特に、500°C で 30 分熱処理すると、ほぼ、Fig.6 と一致する結果を得た。

500°C の場合、低温とは言えないが、熱処理によって、陽極酸化膜中の水分が除去されて、理想的な C-V カーブになるものと推測される。

## 5. 結論

LSI 作製工程において、シリコン表面に酸化膜を成長させる場合、1000°C 以上の高温に曝して熱酸化膜を成長させる。このことにより、膜質の安定した酸化膜を得ることができるが、反面、非常に高温な作業のため、精密な温度制御とクリーンな環境が要求される。陽極酸化膜は、電解により成長させる技術のため、室温でも成長が可能で、

高温に不適な素材にも適用できるが、従来、熱酸化膜に比較して、膜質が劣り、集積技術には不適切であると考えられてきた。

そこで、本報告で、どのように劣るのかをXPS分析で検証してみた。膜質の評価は、酸化膜-単結晶Si界面の明確さが挙げられるが、両者の比較により、膜内部の水分の存在がクローズアップされた。陽極酸化膜の場合、電解液を使用するので、膜中に水分が入り込むのは、ある程度やむを得ない。水分の存在は、膜質に深く影響する。しかし、陽極酸化の場合でも、成長温度を少し変化させることによって、熱酸化膜と同程度の膜質が得られることが分かってきた。

また、C-V特性でも示す通り、膜の熱処理によって、膜内部の水分を除去すれば、膜質がかなり向上することも判明した。

もし、安定した酸化膜を、低温で成長できれば、LSI工程のほとんどが低温作業となり、コストも抑えることが可能である。その場合、アモルファスシリコンや液晶内部の薄膜トランジスタなど、高温に不向きな素材にも適用できることになる。

本報告では、熱酸化膜と陽極酸化膜の違いを分析してみたが、最近、陽極酸化膜は、簡単で安価に作製できることから、いろいろな場所に使用されるようになってきたことをつけ加えておくことにする。

## 参考文献

- (1) J. Electrochem. Soc. **133**, 2361-2362 (1986)
- (2) LSIプロセス工学, オーム社, 60-66 (1982)
- (3) アモルファス電子材料利用技術集成, サイエンスフォーラム, 391-394 (1981)
- (4) 柚賀正光 電気化学, **68**, 575-581 (2000)
- (5) Practical Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy (上巻), アグネ承風社, 148 (1991)

(平成26年9月18日受理)

# 平成 25 年度教員教育研究業績

## 1. 研究論文・著作物・(著書・翻訳書等)

### 一般教育科

国際比較による科学技術政策史の考察—協調型科学技術政策と軍民両用技術という2つの視点から—

(『立命館経営学』52(2・3), 2013, 11, pp. 111-134) . . . . . 河村豊

東京高専体育科の20年間の活動を振り返る— セレンディピティ的体験を求めて(その2) —

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第45(1)号, pp. 1-7 (2013)) . . . . . 古屋正俊, 鈴木智之, 黒田一寿

確率統計(教科書)

(大日本図書) . . . . . 市川裕子

確率統計(問題集)

(大日本図書) . . . . . 市川裕子

東日本大震災報道にみる対日イメージとその評価に関する研究

(『Media, English, and Communication』第3号, 2013年8月, pp. 13-30, 日本メディア英語学会) . . . . . 関根紳太郎

高専テキストシリーズ 基礎物理(上・下巻)

(森北出版) . . . . . 監修: 潮秀樹 共著: 大野秀樹, 小島洋一郎, 竹内彰継, 中岡鑑一郎, 原嘉昭

高専テキストシリーズ 基礎物理問題集

(森北出版) . . . . . 監修: 潮秀樹 共著: 大野秀樹, 小島洋一郎, 竹内彰継, 中岡鑑一郎, 原嘉昭

ビジュアルアプローチ 基礎物理(上・下巻)

(森北出版) . . . . . 監修: 潮秀樹 共著: 大野秀樹, 小島洋一郎, 竹内彰継, 中岡鑑一郎, 原嘉昭

ビジュアルアプローチ 基礎物理問題集

(森北出版) . . . . . 監修: 潮秀樹 共著: 大野秀樹, 小島洋一郎, 竹内彰継, 中岡鑑一郎, 原嘉昭

Correlation between blue luminescence intensity and resistivity in  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystals

(『Applied Physics Letters』103, 2013, pp. 041910 1-3)  
. . . . . Takeyoshi ONUMA, Shuhei FUJIOKA, Tomohiro YAMAGUCHI, Masataka HIGASHIWAKI, Kohei SASAKI, Tatekazu MASUI, Tohru HONDA

Polarized Raman spectra in  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystals

(『Journal of Crystal Growth』2013, 印刷中)  
. . . . . Takeyoshi ONUMA, Shuhei FUJIOKA, Tomohiro YAMAGUCHI, Yuzo ITOH, Masataka HIGASHIWAKI, Kohei SASAKI, Tatekazu MASUI, Tohru HONDA

Cathodoluminescence spectra of Ga-In-O Polycrystalline films fabricated by molecular precursor method

(『Japanese Journal of Applied Physics』53, 2014, pp. 05FF02 1-4)  
. . . . . Takeyoshi ONUMA, Taihei YASUNO, Soichiro TAKANO, Ryouyuke GOTO, Shuhei FUJIOKA, Takumi HATAKEYAMA, Takuto ODA, Hiroki HARA, Chihiro MOCHIZUKI, Hiroki NAGAI, Tomohiro YAMAGUCHI, Mitsunobu SATO, Tohru HONDA

Mathematica を活用した数学の授業について

(『東京工業高等専門学校研究報告書』45(2)号, pp. 1-8 (2013)) . . . . . 清藤晃

長期休暇における数学の学力維持と学力不振学生の学力向上への取り組み

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第45(2) pp9-14) . . . . . 安富義泰, 市川裕子, 小中澤聖二, 中里肇

数学における定期的演習による効果と学生のニーズ

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第45(2) pp15-20) . . . . . 安富義泰

### 機械工学科

炭素繊維強化プラスチックによる自転車用チェーンプロケットのシリコンゴム型成形と実走評価

(『東京工業高等専門学校研究報告書』, 45(1)号, 2013, 9 pp. 29-34) . . . . . 木村南, 若生朋宏, 堀之内翔馬

Chemiluminescent Visualization for Evaluation of Gaseous Ethanol Distribution During ‘La France’ Pear Maturation

(『IEEE SENSORS JOURNAL』13(8), 2013, pp. 2842-2848)  
. . . . . Takahiro Arakawa, Eri Ando, Xin Wang, Kumiko Miyajima, Shuhei Takeuchi, Hiroyuki Kudo, Hirokazu Saito, Mitsuo Takahashi, Tomoyo Mitani, Kohji Mitsubayashi

**Fiber-Optic Fluoroimmunoassay System with a Flow-Through Cell for Rapid On-Site Determination of Escherichia coli O157:H7 by Monitoring Fluorescence Dynamics**

(『Biosensors』 3, 2013, pp.120-31)

..... Kumiko Miyajima, Tomoyuki Koshida, Takahiro Arakawa, Hiroyuki Kudo, **Hirokazu Saito**, Kazuyoshi Yano, Kohji Mitsubayashi

**STUDY OF VISUALIZING OF INTERNAL DEFECTS IN CERAMIC PRODUCTS USING UT PROBE ARRAY**

(『Mechanical Properties and Performance of Engineering Ceramics and Composite』 Vol. ISSUE. pp35-45) (2013)

..... Nishimura Yoshihiro, Suzuki Takayuki, **Fukuda Katsumi**, Saito Naoya

**波動逆解析による内部欠陥の可視化システムの構築**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第 45 (2) 号, 2014. 1, PP. 47-51) ・ ・ ・ ・ ・ **福田勝己**, 西村良弘, 鈴木隆之, 福田昌了

**超音波による微生物の操作を利用した微生物燃料電池の高性能化技術**

(『微生物燃料による発電・省エネ型廃棄物・廃水処理技術最前線』 株式会社エヌ・ティー・エス, 第 2 編第 2 章, 2013)

..... 館野寿丈, **角田陽**

**Growth Direction Control of Dendrites of Cultured Neuronal Cells by using Micro Groove**

(『Proceedings of the 5th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology』, CD-ROM, 2013) ..... H. FURUKAWA, A. **KAKUTA**, H. NAKADATE, S. AOMURA

**波型突き合わせ接着接手の接合部の応力集中抑制と引張強度向上の試み**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第 45(2)号, 2014, 1, pp. 27-30) ・ ・ ・ ・ ・ **志村穰**, 川瀬遥平, 黒崎茂, **林丈晴**

**水撃ポンプの性能および流動状態に及ぼす寸法効果**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第 45(2)号, 2014, 1, pp. 31-37) ・ 齊藤純夫, 越智啓文, 佐藤敬侍, 塚原望, **志村穰**

**表計算ソフトによる鉛フリーはんだの Anand パラメータ決定**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第 45(2)号, 2014, 1, pp. 39-45) ・ ・ ・ ・ ・ **林丈晴**, 高部真彰, 海老原理徳, **志村穰**

**Analysis of In-Plane Problems for an Isotropic Elastic Medium with Many Circular Holes or Rigid Inclusions**

(『Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering』 Vol.7, No.6, 11, 2013, pp.540-552)

..... Mutsumi MIYAGAWA, **Jyo SHIMURA**, Takuo SUZUKI and Takanobu TAMIYA

**Analysis of In-Plane Problems for an Isotropic Elastic Medium with Many Circular Elastic Inclusions**

(『Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering』 Vol.7, No.6, 11, 2013, pp.553-570)

..... Mutsumi MIYAGAWA, Takuo SUZUKI, Takanobu TAMIYA and **Jyo SHIMURA**

**波型突き合わせ接着接手の接合部形状の最適化と引張強度向上の試み**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第 45(1)号, 2013, 9, pp. 35-38) ・ ・ ・ ・ ・ **志村穰**, 加賀見拓磨, 黒崎茂

**風向急変時の翼周りの流れの挙動と流体力学的特性**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第 45(1)号, 2013, 9, pp. 39-46)

..... 齊藤純夫, 岩村拓哉, 児玉和也, 三原純一, 高橋正旭, **志村穰**

**翼周りの渦構造の違いが翼面上の境界層はく離と失速特性に及ぼす影響**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第 45(1)号, 2013, 9, pp. 47-56)

..... 齊藤純夫, 岩村拓哉, 土方我久, 高橋正旭, **志村穰**

**面外せん断荷重下における円形介在物内に別種の多層偏心円形介在物が存在する弾性体の解析**

(『日本機械学会論文集 A 編』 第 79 巻, 804 号, 2013, 8, pp. 1252-1265) ・ ・ ・ ・ ・ 宮川睦巳, 鈴木拓雄, 田宮高信, **志村穰**

**Motion Simulator for Coarse and Fine Motion of Combination of a Magnetically Levitated Micro Robot and an Industrial Macro Robot**

(『Proc. 2013 IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation (ICMA2013)』 2013, pp. 146-151)

..... **Susumu TARAO**, Moein Mehtash, Naoaki TSUDA and Mir Behrad Khamesee

**Prototyping of a White Line Recognition System and a Kinect Control System for Autonomous Mobile Robot**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第 45(1)号, 2013, 9, pp. 65-70) ..... Koskimaa NIKO and **Susumu TARAO**

**灯油及びエタノールを代替燃料とした内燃機関の性能特性**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第 45(1)号, 2013, 9, pp. 61-64) ..... 青柳雄大, **筒井健太郎**

**作動流体の可視化を目的とした教材用スターリングエンジンの製作**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第 45(1)号, 2013, 9, pp. 57-59) ..... 福田昌, **筒井健太郎**

**表計算ソフトによる鉛フリーはんだの Anand パラメータ決定**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』, 45(2)号, 2014. 1, pp. 39-45) ..... **林丈晴**, 高部真彰, 海老原理徳, **志村穰**

**電気工学科**

**きちんとわかる 電験三種 理論 1 問 1 問くわしく解説**

(リックテレコム, 2013 年 6 月) ..... 佐藤勝雄, 土井淳, 伊庭健二

## 有効電力損失低減効果に基づく無効電力の価値評価手法

(『東京工業高等専門学校研究報告書』, 第 45(2)号, 2014 年 1 月, pp. 63-71) . . . . . 土井淳, 橋本拓郎

## 閉ループ過渡応答データを用いた不安定系のための PID 調整

(『電気学会論文誌 C』133 巻, 10 号, 2013 年 10 月, pp. 1936-1942) . . . . . 松井義弘, 赤松駿一, 木村知彦, 中野和司

## 対地コンデンサの位置による漏えい電流の変化とその要因

(『電気学会論文誌 D』133 巻, 11 号, 2013, 11, pp. 1048-1056) . . . . . 綾野秀樹, 佐藤優貴, 松井義弘

## モータの駆動領域におけるインバータノイズ低減法のシミュレーション評価

(『東京工業高等専門学校研究報告書』, 45 号(2), 2014, 1, pp. 57-62) . . . . . 綾野秀樹, 村上昂平, 松井義弘

## フォトリソグラフィを用いた MOEMS 技術の教材開発 -第 3 報、マイクロ光電子デバイスの設計及び基礎特性の評価-

(『東京工業高等専門学校研究報告書』, Vol. 45(2), pp. 73-80, 2014.) . . . . . 新國広幸, 伊藤浩

## 反応性スパッタリング法による太陽電池パッシベーション膜の作製と評価

(『東京工業高等専門学校研究報告書』, Vol. 45(1), pp. 71-76, 2013.) . . . . . 伊藤浩, 川又由雄, 大山昌憲

## ポリイミドフィルムの大気雰囲気下での熱分解挙動

(『炭素』No. 262, p. 63-66, 2014) . . . . . 玉田耕治, 小林崇, 松本明彦, 竹市力, 横田力男, 林正添

## ポリイミドフィルムの炭素化によるミクロ孔の生成に及ぼす熱処理条件の影響

(『炭素』No. 261, p. 14-18, 2014) . . . . . 玉田耕治, 有松和人, 松本明彦, 竹市力

## フォトリソグラフィを用いた MOEMS 技術の教材開発-第 3 報、マイクロ光電子デバイスの設計及び基礎特性の評価-

(『東京工業高等専門学校研究報告書』, 第 45(2)号, 2014 年 3 月, pp. 73-80) . . . . . 新國広幸, 伊藤浩

## 光ファイバを用いた偏光干渉型光マイクロホンの感度向上に関する研究

(『東京工業高等専門学校研究報告書』, 第 45(2)号, 2014 年 3 月, pp. 81-83) . . . . . 新國広幸

## 半導体部品の信頼性

(『丸善プラネット』2013. 8. 15, pp. 299-306) . . . . . 新井英輔, 塩野登, 久慈憲夫

## 電子工学科

### 生活習慣に応じた独居高齢者見守りシステムの開発と評価-社会実装プロジェクトの一つの試み-

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 45(1)号, pp77- 80, 2013. 9) . . . . . 山口祐太, 小林哲也, 青木宏之

### キネクトセンサーを活用した自律走行ロボットの制御

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 45(1)号, pp81-88, 2013. 9) . . . 石塚裕澄, ビレ シランパー, 中里優理, 青木宏之

### 魚眼カメラを用いた移動ロボット向け全方位障害物検知システムの基礎実験

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 45(2)号, pp97- 103, 2014. 1) . . . . . 山内素, 青木宏之

### 特集: 業務用デジタル無線機で主流の変復調方式がわかる! 手作りで学ぶ $\pi/4$ シフト QPSK

(トランジスタ技術増刊『無線と高周波の技術解説マガジン RF ワールド』No. 23, CQ 出版社, ISBN978-4-7898-4878-7, 2013. 8, pp. 1, 4, 7~103.) . . . . . 小池清之

### One step formation of Nanostructures on Silicon Surfaces Using Pure Hydrogen Radical Initiated Reactions

(『Phys. Status Solidi A 211』 No. 1, (2014)231-238)

. . . . . Hiroshi Nagayoshi, Spyros Diplas, John ChariesWalmsley, Niels Andersen, Arne Karlsson, Joachim Seland Graff, Vladimir Chirvony, Juan M. Pastor5 and Alexander Ulyashin

### Power Conditioner with Variable Switching Control for Thermoelectric Generator Systems

(『Journal of Electronic Materials』 Volume 42, Issue 7 (2013), 2282-2286)

. . . . . Hiroshi. Nagayoshi, Hiroshi Maiwa, and Takenobu Kajikawa

### 霧島地区の温泉資源を活用するエネルギー, 環境, ヘルスケアを統合した開発プロジェクトの可能性について

(『鹿児島工業高等専門学校研究報告』第 48 号, pp. 35~38)

. . . . . 須田隆夫, 岡松道雄, 塚本公秀, 玉利陽三, 鎌田清孝, 今村成明, 永井翠, 奥高洋

## 情報工学科

### はじめての応用数学: ラプラス変換・フーリエ変換編

(近代科学社, 2013. 4) . . . . . 小坂敏文, 吉本定伸

### 3 次の統計量を用いたパタン類別法に関する検討

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 45(2)号, 2014, 3, pp. 105-108) . . . . . 鈴木雅人, 北越大輔

### ヘテロジニアスマルチホップ通信と探索接続ロボット制御への応用

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第 45(2)号, 2014. 3, pp. 113-117) . . . . . 田中晶

**A Policy-Improving System for Adaptability to Dynamic Environments Using Mixture Probability and Clustering Distribution**  
(『Journal of Computer and Communications』 2, 2013, March, pp. 210-219)

..... Uthai Phommasak, **Daisuke Kitakoshi**, Jun Mao, Hiroyuki Shioya

**ベイジアンネットにおける構造簡略化を用いた精度保証型確率推論アルゴリズム**

(『電子情報通信学会論文誌』 J96-D(11)号, 2013, 11, pp. 2716-2727) ..... **北越大輔**, 和歌崎修平, 鈴木雅人

**電子透かしコンテストの紹介**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第45(2)号, 2014, 1, pp. 119-124) ..... **小嶋徹也**

**物質工学科**

**ベーシック量子論**

(裳華房、2013年9月) ..... **土屋賢一**

**A Self-Consistent Iterative Calculation for the Two Species of Charged Bosons Related to the Nuclear Reactions in Solids**

(『Journal of Condensed Matter Nuclear Science』 Vol.13, 2014, pp.594-602) ..... **Ken-ichi TSUCHIYA**

**Study on Synergistic Interligand Interactions of Thermally Stable Gold Nanoparticles**

(『Bulletin of the Chemical Society of Japan』 86(7), July 2013, pp. 891-895.)

..... **Atsushi OKUMURA**, **Kou YAMADA**, **Kenji TODORI**, **Shigeru MACHIDA**

**東京高専低学年学生を対象とした「観る」生物学実習の構築**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第45(2)号, 2014, 03, pp. 125-130)

..... **伊藤篤子**, **城石英伸**, **衣笠巧**, **雑賀章浩**, **石井宏幸**, **庄司良**, **三谷知世**

**溶液培地中の微量必須元素としての銅がダイコン、キャベツ、トウモロコシの幼苗に与える毒性とそれに伴う収量の低下について**

(『植物工場生産システムと流通技術の最前線』 第7章・第3節, 2013, 4, pp. 403-410) ..... **庄司良**, **田中優也**

**土壌粒子に対する銅イオン、カルシウムイオン並びに水素イオンの競争吸着のモデリング及び熱力学的解析**

(『東京工業高等専門学校研究報告書』 第45(1)号, 2013, 9, pp. 85-90) ..... **庄司良**, **倉澤裕己**

**Oxygen Reduction Catalytic Activity of Hollandite-type Manganese Oxides**

(『Key Engineering and Material』 Vol. 566, 2013, pp. 253-257)

..... **Takuya Kenko**, **Morihiro Saito**, **Tatsuya Takakuwa**, **Hideo Daimon**, **Akimasa Tasaka**, **Minoru Inaba**, **Yoshihiro Kadoma**,

**Naoyuki Kumagai**, **Hidenobu Shiroishi**, **Takeo Hatai**, **Jun Kuwano**

**課題を解決する高い能力を有する若い学生の育成を目指して(2) -高学年科目における「学びあい」を通じて-**

(『Journal of Technology and Education』 Vol. 20(1) 2013, pp.45-51) ..... **城石英伸**, **庄司良**, **波止元仁**, **志村穰**, **加藤格**

**Effect of decelerated fermentation on morphology and mechanical properties of natural rubber latex**

(『Rubber Chemistry and Technology』 86(4), 2013, 615-625)

..... **Oraphin Chaikumpollert**, **Osamu Wakisaka**, **Akio Mase**, **Yoshimasa Yamamoto**, **Krisda Suchiva**, **Seiichi Kawahara**

**Degradation profiles in aged EPDM water seals using focused ion beam-scanning electron microscopy**

(『Polymer Degradation and Stability』 98(12), 2013, 2489-2496)

..... **Yoshito Ohtake**, **Yoshimasa Yamamoto**, **Mio Gonokami**, **Tsutomu Nakamura**, **Hiroyuki Ishii**, **Seiichi Kawahara**

**A microscopic model for the Tian-Calvet microcalorimeter, cell design for a faster response, and measurement by a continuous procedure**

(『Review of Scientific Instruments』85, 2014, pp. 034101) ..... **Yasukazu Kobayashi**, **Fei Wang**, **Qingxun Li**, **Dezheng Wang**

**Species surface concentrations on a SAPO-34 catalyst exposed to a gas mixture**

(『Chinese Journal of Catalysis』35, 2014, pp. 430-436) ..... **Yasukazu Kobayashi**, **Yuxing Li**, **Yao Wang**, **Dezheng Wang**

**Adsorption isotherms of methanol and dimethyl ether on SAPO-34 measured together with differential adsorption heat measurement**

(『Chinese Journal of Catalysis』34, 2013, pp. 2192-2199) ..... **Yasukazu Kobayashi**, **Yuxing Li**, **Yao Wang**, **Dezheng Wang**

## 2. 学会における口頭発表

**一般教育科**

**社会実装ロボット教育～高専からの提案と実践～**

(2013 国際ロボット展シンポジウム「コミュニティ共創ロボティクス, 2013. 22, 東京ビックサイト」) ..... **浅野敬一**

**留学生と日本人学生が共に学ぶ All English サマースクールの取り組み(Techie Hub プロジェクト)「集え、若きエンジニア: KOSEN All English サマースクール」**

(平成 25 年度全国高専教育フォーラム, 於豊橋科学技術大学, 2013. 8. 23, 教育研究活動発表概要集 pp. 379-380) ..... **竹田恒美**

日本人英語学習者による絵描写発話タスクにおける繰り返し効果：ポーズに注目して

(外国語教育メディア学会 (LET) 関西支部 2013 年度秋季研究大会, 近畿大学, 2013, 10)

..... 杉浦香織, 泉恵美子, 斉藤倫子, 堀智子, 森庸子

Acoustic Characteristics of English Oral Presentation Speech: Recorded vs. Synthesized Sounds

(The International Symposium on Innovative Teaching & Research in ESP, 於電気通信大学 2014, 2 pp.16-17)

.....Tomoko HORI, Judy NOGUCHI, Tetsuya KOJIMA, Sadanobu YOSHIMOTO

数学教育における e-learning とその活用に関する国際調査から

(研究集会「数学・統計教育における教材開発とその評価」 2014 年 1 月 11 日 (土) 下関市立大学).....市川裕子

Temperature Dependent Cathodoluminescence Spectra of  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Crystals

(Conference on LED and Its Industrial Application '13 (LEDIA '13), 2013.4)

.....Takeyoshi Onuma, S. Fujioka, T. Yamaguchi, M. Higashiwaki, K. Sasaki, T. Masui, T. Honda

Polarized Raman Spectra in  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Crystals

(The 17th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-17), 2013.8)

.....Takeyoshi Onuma, S. Fujioka, T. Yamaguchi, M. Higashiwaki, K. Sasaki, T. Masui, T. Honda

Temperature dependent cathodoluminescence spectra of Ga-In-O films fabricated by molecular precursor method

(The 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, 2013.9)

.....Takeyoshi Onuma, T. Yasuno, S. Fujioka, S. Takano, T. Oda, H. Nagai, H. Hara, C. Mochizuki, M. Sato, T. Honda

光・電子線を用いたワイドギャップ窒化物・酸化物半導体の評価

(第 5 回半導体材料・デバイスフォーラム, 2013. 11).....尾沼猛儀

$\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 結晶における青色発光強度と抵抗率の相関

(秋季応用物理学学会、2013. 9).....尾沼猛儀, 藤岡秀平, 山口智広, 東脇正高, 佐々木公平, 増井建和, 本田徹

分子プリカーサー法で製作した Ga-In-O 多結晶薄膜の発光特性

(春季応用物理学学会、2014. 3).....尾沼猛儀, 安野泰平, 高野宗一郎, 後藤良介, 藤岡秀平, 畠山匠, 原広樹, 望月千尋,

永井裕己, 山口智広, 佐藤光史, 本田徹

Q-U 等を用いた 1 年生クラス集団の分析

(平成 25 年度全国高専教育フォーラム, 2013. 8, PP. 217-218).....黒田一寿

自然災害報道にみる言語文化的同化と認知移行に関する研究

(日本メディア英語学会第 3 回年次大会, 2013 年 11 月, 於・関西大学).....関根紳太郎

機械工学科

自動車用炭素繊維強化プラスチック成形品の事例調査

(平成 25 年度塑性加工春季講演会講演論文集 (2013) pp293-294).....木村南

炭素繊維強化プラスチック成形用ブランクの実験的作製法

(平成 25 年度塑性加工春季講演会講演論文集 (2013) pp. 449-450).....木村南, 亀山耕平

Prototyping of a Blood Sampling Simulator using Haptic Technology

(International Conference on BioSensors, BioElectronics, BioMedical Devices, BioMEMS/NEMS and Applications 2013 & 5th Sensing Biology Symposium, 2013.10, 60).....Sho HOSOKAWA, Hirokazu SAITO

ハプティクスを用いた採血訓練シミュレータの開発

(日本機械学会第 20 期総会・講演会講演会, 2014, #10212).....細川聖, 角田寛英, 齊藤浩一

採血支援システムにおける操作インターフェイスの改良

(日本機械学会関東学生会第 53 回学生員卒業研究発表講演会, 2014. 3, #1306).....角田寛英, 細川聖, 齊藤浩一

採血支援における静脈検出及び穿刺制御インターフェイスの統合化

(ライフサポート学会 第 23 回フロンティア講演会, 2014. 2, p. 96).....角田寛英, 細川聖, 齊藤浩一

ハプティクスを用いた採血訓練シミュレータに関する研究

(ライフサポート学会 第 23 回フロンティア講演会, 2014. 2, p. 101).....細川聖, 角田寛英, 齊藤浩一

採血支援における針の自動位置決めに関する研究

(第 5 回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2013. 12, pp. 22-23).....角田寛英, 齊藤浩一

要介護者用ベッド離床予測システムに関する基礎的研究

(第 5 回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2013. 12, pp. 24-25).....細川聖, 齊藤浩一

Relation between Sampling Frequency, Number of Elements and Truncation Index in Truncated Singular Value Decomposition of Probe Array UT for Inspecting Silicon Nitride

(2013 IEEE International Ultrasonics Symposium, 2013 Joint UFFC, EFTF and PFM Symposium, Prague, Czech

Republic)(2013.7).....Nishimura Yoshihiro, Fukuda Katsumi, Suzuki Takayuki, Fukuta Masatoshi

**微小領域における摩擦特性（第5報）**

（第57回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集, 2013. 11, pp. 224-225）・**福田勝己**, 小林光男, 鈴木健司, 三原純一  
**波動逆解析による内部欠陥の可視化システムに関する研究**

（第57回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集, 2013. 11, pp. 230-231）・**福田勝己**, 西村良弘, 鈴木隆之, 福田昌了  
**フラーレンポリマー薄膜の機械的特性**

（日本機械学会関東支部第20回総会・講演会講演論文集, 2014. 3, 20103）

.....**福田勝己**, 小林光男, 尾上順, 増田秀樹, 宮崎寛隆

**波動逆解析による内部欠陥の可視化システムの構築（第4報）**

（日本機械学会関東支部第20回総会・講演会講演論文集, 2014. 3, 20111）.....**福田勝己**, 西村良弘, 鈴木隆之, 福田昌了

**小ねじの締付け特性**

（日本機械学会関東支部第20回総会・講演会講演論文集, 2014. 3, 20409）.....**福田勝己**, 小林光男, 池田泳樹

**ミシンにおける糸と金属との摩擦**

（日本機械学会関東支部第20回総会・講演会講演論文集, 2014. 3, 20410）.....**福田勝己**, 真船潤, 加藤誉貴

**微小領域におけるトライボロジー特性（第3報）**

（日本機械学会関東支部第20回総会・講演会講演論文集, 2014. 3, 20411）.....**福田勝己**, 小林光男, 鈴木健司, 三原純一

**355nm ピコ秒パルスレーザによる微細3次元形状創成**

（『精密工学会春季大会学術講演論文集』, 2014, CD-ROM）.....加納京恭, **角田陽**

**神経活動電位計測と情報伝達評価のための細胞引張装置の設計と開発**

（『精密工学会春季大会学術講演論文集』, 2014, CD-ROM）.....菊田和紘, 金子由磨, 中楯浩康, 青村茂, **角田陽**

**衝撃ひずみを負荷した脳神経細胞の軸索損傷評価**

（『日本機械学会第26回バイオエンジニアリング講演会』, 2014, CD-ROM）金子由磨, 菊田和紘, 中楯浩康, 青村茂, **角田陽**

**培養神経細胞の活動電位計測のためのひずみ負荷装置の開発**

（『日本機械学会第24回バイオフロンティア講演会』, 2013, CD-ROM）.....菊田和紘, 中楯浩康, **角田陽**, 青村茂

**「UD-CFRP/Metal 単純重ね合わせ接着接手の曲げ強度特性」**

（日本機械学会関東支部第20期総会講演会, 東京農工大学小金井キャンパス, 2014. 3, 20401）

.....**豊川澄斗**, **志村穰**, 黒崎茂, 宮川睦巳

**異種材料の被着体を有する波型重ね合わせ接着接手の曲げ強度特性評価**

（日本機械学会関東支部第20期総会講演会, 東京農工大学小金井キャンパス, 2014. 3, 20402）

.....**レバン コア**, **志村穰**, **林文晴**, 黒崎茂

**被着体円孔の接着剤充填による投錨効果を利用した接手強度向上の試み**

（日本機械学会関東支部第20期総会講演会, 東京農工大学小金井キャンパス, 2014. 3, 20403）

.....**志村穰**, 大田浩之, 黒崎茂, 田宮高信

**応力聴診器を用いた欠陥検出の試み**

（日本機械学会関東支部第20期総会講演会, 東京農工大学小金井キャンパス, 2014. 3, 21002）

.....高松歩未, **志村穰**, 黒崎茂, 鈴木拓雄

**要介護者用ベッド離床予測システムにおけるセンサ部の改良**

（日本機械学会関東学生会第53回学生員卒業研究発表講演会, 東京農工大学小金井キャンパス, 2014. 3, #119）

.....遠藤嘉陽, 細川聖, **志村穰**, **福田勝己**, 齊藤浩一

**異種材料の被着体を有する波型重ね合わせ接着接手の曲げ強度特性評価**

（第5回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 八王子市学園都市センター, 2013. 12, pp. 134-135）

.....**レバン コア**, **志村穰**

**被着体円孔の接着剤充填による投錨効果を利用した継手強度向上の試み**

（第5回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 八王子市学園都市センター, 2013. 12, pp. 136-137）.....大田浩之, **志村穰**

**UD-CFRP/Metal 単純重ね合わせ接着接手の曲げ強度特性に関する研究**

（第5回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 八王子市学園都市センター, 2013. 12, pp. 138-139）.....**豊川澄斗**, **志村穰**

**ピエゾフィルムを用いた欠陥検出の試み**

（山梨講演会 2013, 山梨大学工学部, 2013. 10, pp. 130-131）.....高松歩未, **志村穰**, 黒崎茂

**各種重ね合わせ接着接手の曲げ強度特性**

（日本機械学会 M&M2013 材料力学カンファレンス, 岐阜大学柳戸キャンパス, 2013. 10, OS1702）

.....**志村穰**, 佐藤直季, 黒崎茂, 宮川睦巳

**曲げモーメントを受ける各種重ね合わせ接着接手の三次元有限要素応力解析と強度評価**

（日本設計工学会 2013 年度春季大会研究発表講演会, 国土館大学世田谷キャンパス梅ヶ丘校舎, 2013. 5, pp. 69-70）

.....**志村穰**, 佐藤直季, 黒崎茂, 宮川睦巳

**自走型6自由度モーションベースのキャリブレーション実験**

（日本機械学会関東支部第20期総会講演会講演論文集, 2014年3月, 資料番号 20703）.....清野大樹, **多羅尾進**

- 家庭用掃除ロボットを応用したユーザと触れ合う動作を基本とする見守りシステムに関する研究**  
 (日本機械学会関東学生会第 53 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2014 年 3 月, 資料番号 602)  
 ..... 佐々木智也, 多羅尾進
- 屋外自立走行ロボット高尾 3 号の開発とつくばチャレンジ 2013 への参加**  
 (つくばチャレンジ 2013 シンポジウム参加レポート集, 2014 年 1 月, pp. 108-109)  
 ..... 多羅尾進, 佐々木理, 石塚裕澄, 山川史, 多田昂介, ゴバックズン, 上木瞭太郎, 青木宏之
- 人の探索機能を備えた自律移動ロボット高尾 3 号の開発**  
 (第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 2013 年 12 月, pp. 64-69)  
 ..... 多羅尾進, 佐々木理, 石塚裕澄, 山川史, 多田昂介, ゴバックズン, 上木瞭太郎, 青木宏之
- 家庭用掃除ロボットを応用したユーザと触れ合う動作を基本とする見守りシステムの試作**  
 (第 5 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2013 年 12 月, pp. 112-113) ..... 佐々木智也, 多羅尾進
- 自走型 6 自由度モーションベースの静力学解析とキャリブレーション**  
 (2013 年度マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集, 2013 年 9 月, pp. 1-2) ..... 多羅尾進, 清野大樹
- ロボットを社会に実装していくイノベーションに取り組むエンジニア育成を目指す社会実装プロジェクト**  
 (日本ロボット学会第 31 回学術講演会予稿集, 2013 年 9 月, 資料番号 RSJ2013AC1G3-01)  
 ..... 多羅尾進, 浅野敬一, 北越大輔, 佐藤知正
- 2D マップと 3D マップを併用した自己位置推定の試み**  
 (日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'13 講演論文集, 2013 年 5 月, 資料番号 1P1-I05)  
 ..... 山川史, 青木彬, 佐々木理, 多羅尾進
- 自走型モーションベースを応用した全 6 自由度ハプティックインタフェースの試作**  
 (日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'13 講演論文集, 2013 年 5 月, 資料番号 1A2-E09)  
 ..... 清野大樹, 多羅尾進
- 異種材料の被着体を有する波型重ね合わせ接着継手の曲げ強度特性評価**  
 (日本機械学会関東支部第 20 期総会講演会, 於東京農工大学, 2014. 3, 20402) ..... LE VAN KHOA, 志村穰, 林文晴, 黒崎茂
- 微小せん断試験片を用いた鉛フリーはんだの引張・応力緩和試験**  
 (日本機械学会関東支部第 20 期総会講演会, 於東京農工大学, 2014. 3, 10109)  
 ..... 松宮遼, 高部真彰, 林文晴, 渡邊裕彦, 志村穰, 海老原理徳, 齋藤俊介
- 粘塑性・クリープ分離モデルを用いた鉛フリーはんだ接合部の有限要素解析**  
 (第 20 回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム, 於パシフィコ横浜, 2014. 2, pp. 209-212)  
 ..... 林文晴, 海老原理徳, 渡邊裕彦, 浅井竜彦, 楊振華
- 「てこの原理」学習用補助教材としての段付歯車装置の開発と小学生への適用**  
 (日本産業技術教育学会技術教育分科会第 19 回研究会, 於カネジュービル (名古屋), 2013. 12, pp. 9-10)  
 ..... 林文晴, 大塚友彦, 田中晶, 中村源一郎
- 技術・工業教員養成課程における二足歩行ロボットの製作・制御を通じた制御教育の教材開発**  
 (第 25 回日本産業技術教育学会関東支部大会, 於東京学芸大学, 2013. 12, pp. 93-94)  
 ..... 海老原理徳, 松井秀人, 水沼俊, 林文晴
- 人が搭乗可能な電池を電源とした小型電動式三輪車の駆動部の開発**  
 (第 25 回日本産業技術教育学会関東支部大会, 於東京学芸大学, 2013. 12, pp. 83-84)  
 ..... 西野永一, 林文晴, 高橋良彦, 佐々井博岳
- 粘塑性モデルおよび弾塑性クリープモデルによる引張負荷を受ける鉛フリーはんだの有限要素解析**  
 (第 25 回日本産業技術教育学会関東支部大会, 於東京学芸大学, 2013. 12, pp. 81-82) ..... 高部真彰, 林文晴, 海老原理徳
- 技術的課題解決力を育むギアボックスの設計製図の授業実践**  
 (第 25 回日本産業技術教育学会関東支部大会, 於東京学芸大学, 2013. 12, pp. 79-80.)  
 ..... 林文晴, 多羅尾進, 中村源一郎, 志村穰
- 鉛フリーはんだの微小せん断試験片の製作方法および試験方法の確立**  
 (第 25 回日本産業技術教育学会関東支部大会, 於東京学芸大学, 2013. 12, pp. 77-78)  
 ..... 松宮遼, 林文晴, 渡邊裕彦, 海老原理徳, 齋藤俊介, 高部真彰
- pico-EV・エコチャレンジ大会用車両の設計**  
 (ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 於つくば国際会議場, 2013. 5, 2A1-P24)  
 ..... 林文晴, 高橋和輝, 高橋良彦, 佐々井博岳
- 超小型電気自動車競技会 pico-EV・エコチャレンジ 2013 開催報告**  
 (ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 於つくば国際会議場, 2013. 5, 2A1-P17)  
 ..... 高橋良彦, 宇田和史, 西村一郎, 寺阪澄孝, 林文晴, 藤澤徹

## 電気工学科

### 我が国の電力系統における連系線の利用と風力発電連系可能量の増大

(第32回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, 2013年6月, pp.237-240) . . . . . 土井淳, 安部清貴

### 電気鉄道における再生電力量の推定と利用に関する検討

(産学連携環境エネルギーシンポジウム2014講演論文集, 2014年1月, P10) . . . . . 底押裕幸, 土井淳

### 電力系統の周波数変動解析と負荷側での周波数制御分担の検討

(産学連携環境エネルギーシンポジウム2014講演論文集, 2014年1月, P11) . . . . . 寺崎真志, 土井淳

### Model Based Controller Design and Its Fine Tuning for Mechanical Resonant System Using One-Shot Experimental Data

(CTI-CON 2013, Krabi, Thailand, 2013.5, No.1594) . . . . . Yoshihiro MATSUI, Hideki AYANO, Kazushi NAKANO

### A Controller Tuning for 2-Mass System Using Closed-Loop Transient Data

(IFAC ALCOSP 2013, Caen, France, 2013.7, pp.564-569) . . . . . Yoshihiro MATSUI, Hideki AYANO, Kazushi NAKANO

### A Direct PID Gain Tuning Based on FRIT Method Using Optimal Filter in the Frequency Domain

(IFAC ALCOSP 2013, Caen, France, 2013.7, pp.349-354) . . . . . Yuki GOHDA, Shiro MASUDA, Yoshihiro MATSUI

### A Controller Design for Three-Mass Systems Using One-Shot Experimental Data

(SICE 2013, Nagoya, 2013.9, pp.1449-1450) . . . . . Yoshihiro Matsui, Hideki Ayano, Kazushi Nakano

### 閉ループ過渡応答データを用いた二慣性系のための二自由度制御器設計

(電気学会制御研究会資料 CT-13-033, 2013年4月, pp.39-43) . . . . . Yoshihiro MATSUI, Hideki AYANO, Kazushi NAKANO

### FRIT 法における観測ノイズの影響

(電気学会制御研究会資料 CT-13-046, 2013年7月, pp.59-64) . . . . . 松井義弘, 綾野秀樹, 中野和司

### 周波数領域における直接的制御器調整法について

(電気学会制御研究会資料 CT-13-045, 2013年7月, pp.53-58) . . . . . 増田士朗, 合田雄樹, 松井義弘

### データ駆動型制御器調整のための参照モデル

(学会制御研究会資料 CT-13-063, 2013年12月, pp.31-36) . . . . . 松井義弘, 綾野秀樹, 中野和司

### 閉ループステップ応答データを用いたPID調整のためのシステム同定

(計測自動制御学会 第1回 制御部門マルチシンポジウム, 2014年3月, 5A3-2) . . . . . 松井義弘, 綾野秀樹, 中野和司

### 単相7レベルインバータの実験検証

(電気学会, 半導体電力変換・モータドライブ合同研究会, SPC-14-28, 2014, 1, pp.13-18)

. . . . . 大隅竜太, 綾野秀樹, 坂本祥太郎, 松井義弘

### パワーエレクトロニクスに関する学生実験の取り組み

(平成25年度高等専門学校・長岡技術科学大学(電気系)教員交流研究集会, 2013, 8) . . . . . 綾野秀樹

### Medical information sensing by using sensor network devices

(The International Symposium on Interdisciplinary Research and Education on Medical Device Developments (IREMD)

September 12-13, 2013) . . . . . Yuta Tosen1, Yoshihiro Yasuda, Norio Kuji, Koichi Sagawa1, Toshiro Ono

### センサネットワークデバイスによる医用情報計測

(2013年度精密工学会東北支部学術講演会(秋田), 2013.12) . . . . . 定東泉雄大, 小野俊郎, 佐川貢一, 久慈憲夫

## 電子工学科

### Using International Work-Pair in Engineering Education

(Proceedings of the 9th International CDIO Conference, Cambridge, MA, USA, 2013.6)

. . . . . Antti K. Piironen, Hiroyuki Aoki

### Reliable Iris Detection by Boundary Search using Haar-like Features

(Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE2013), July,

2013, pp. 95-98, Tokyo) . . . . . K. Ohnuki, T. Ohtsuka, H. Aoki

### Characteristics of metal/oxide multilayer films fabricated by reactive magnetron sputter-deposition

(2013 JSAP-MRS Joint Symposia held in Kyoto (2013 Sept. 19))

. . . . . Takahisa Ichinohe, Susumu Masaki, Takuya Kawasaki and Mitsugu Obinata

### バイアス印加プラズマ支援蒸着法によるモリブデン酸化物薄膜の形成

(第54回真空に関する連合講演会 26P062, p.79 (2013年11月26日-28日 つくば国際会議場))

. . . . . 一戸隆久, 多田昂介, 斉藤由希恵

### Strong Visible Light Emission from Zinc-Blende InGaN/GaN Pn Junction on Silicon Substrate

(223rd ECS Meeting) . . . . . Suzuka Nishimura, Muneyuki Hirai, Hiroshi Nagayoshi, and Kazutaka Terashima

**Silicon Nanowire Arrays Fabricated by Metal-Assisted Chemical Etching for Solar Cell Applications**

(3rd International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies)

..... Yumito Aoyagi and **Hiroshi Nagayoshi**

**Development of High Efficiency MPPT Control Circuit for Low Power TEG Systems**

(32nd International Conference on Thermoelectrics) ..... **H. Nagayoshi**, H. Maiwa, and T. Kajikawa

**Interface Property of Low Cost SiO<sub>2</sub> Passivation Using Perhydropolysilazane**

(Proceedings on 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition 1939-1942)

..... **Hiroshi Nagayoshi**, and Hiroaki Sakakibara

**Interface Property of Liquid Source SiO<sub>2</sub> Passivation using PHPS**

(13 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices Science and Technology)

..... **Hiroshi Nagayoshi**, and Hiroaki Sakakibara

**液体原料 SiO<sub>2</sub> を用いたシリコン表面パッシベーション処理の評価**

(第 6 1 回応用物理学会春季学術講演会) ..... 萩原千祐, 榊原裕章, **永吉浩**

**金属ナノ粒子を導入した色素増感太陽電池のプラズモン増感特性評価**

(第 6 1 回応用物理学会春季学術講演会) ..... 室岡拓也, 住村あさひ, **永吉浩**

**光合成微細藻類を利用した微生物太陽電池**

(第 6 1 回応用物理学会春季学術講演会) ..... 吉田遥, **永吉浩**

**ポリシラザンを原料とした SiO<sub>2</sub> コーティングによるシリコン表面のパッシベーション処理**

(電気化学会第 81 回大会) ..... 萩原千祐, 榊原裕章, **永吉浩**

**色素増感太陽電池メソポーラス TiO<sub>2</sub> 層への金属ナノ粒子導入効果**

(電気化学会第 81 回大会) ..... 室岡拓也, 住村あさひ, **永吉浩**

**光合成微生物太陽電池セルの改良と Euglena 導入の試み**

(電気化学会第 81 回大会) ..... 吉田遥, **永吉浩**

**液体原料 SiO<sub>2</sub> を用いたシリコン表面パッシベーション処理に関する研究**

(八王子コンソーシウム学生発表会) ..... 萩原千祐, 榊原裕章, **永吉浩**

**色素増感太陽電池における表面プラズモン効果の応用と変換効率の向上に関する研究**

(八王子コンソーシウム学生発表会) ..... 室岡拓也, 住村あさひ, **永吉浩**

**光合成微細藻類を使用した実用生物太陽電池に関する研究**

(八王子コンソーシウム学生発表会) ..... 吉田遥, **永吉浩**

**微生物の光合成を利用した太陽電池の開発**

(高専女子フォーラム研究発表会) ..... 吉田遥, **永吉浩**

**平行平板による赤血球粘弾性推定システムの開発**

(第 23 回ライフサポート学会フロンティア講演会, 73, 2014) ..... 山田優紀, **安田利貴**, 橋本成広

**液状食品のレオロジー特性に関する研究—理論的手法による解析と測定手法に関する検討—**

(職業大フォーラム, 第 21 回 職業能力開発研究発表講演会 講演論文集, 76/77, 2013) ..... 下笠賢二, 水沼博, **安田利貴**

**Observation of Biological Cells in Rhombus Parallelepiped Flow Channel**

(17th World Multi-Conference on Systemics Cybernetics and Informatics ,July, 2013.)

..... F. Saito, S. Hashimoto, **T. Yasuda**, H. Fujie

**Micro Trap for Flowing Cell,**

(17th World Multi-Conference on Systemics Cybernetics and Informatics , July ,2013)

..... S. Hashimoto, R.Nomoto, S. Shimegi, F. Saito, **T. Yasuda**, H. Fujie

**情報工学科**

**見通しの悪い交差点で交通事故の危険を回避するシステムの開発**

(大学コンソーシウム八王子学生発表会, 2013. 12, pp. 56-57) ..... 上妻健人, **小坂敏文**, **吉本定伸**, **松林勝志**

**Locally exploitable heterogeneous multihop communications applied to cooperative-robots**

(Proceedings of 5th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2013), 2013.7, pp. 321-326)

..... **Akira TANAKA**

**小学生に向けた体験学習によるインターネット講座**

(第 5 回大学コンソーシウム八王子学生発表会要旨集, 2013. 12, pp. 44-45)

..... 伊藤総一郎, 岡野慎史, 青柳智子, **田中晶**, **大塚友彦**, **林文晴**

**Bluetooth 通信を用いた距離推定応用システムの開発—受信信号強度による距離推定と出席確認システム—**

(第 5 回大学コンソーシウム八王子学生発表会要旨集, 2013. 12, pp. 42-43) ..... 西村友樹, **土居信教**, **小嶋徹也**, **田中晶**

**完全相補系列を用いたステガノグラフィ方式の音声信号への応用**

(第5回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2013. 12, pp. 140-141)

..... 立川 徹, 篠原恵理耶, 山口良昌, 小嶋徹也, 土居信教, 田中晶

**スマートフォンのBluetoothを用いたマルチホップ通信による掲示板**

(平成25年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 2014. 3, p. 94).....伊藤総一郎, 田中晶

**Bluetooth マルチホップ通信における自走中継機による通信距離の拡大**

(平成25年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, 2014. 3, p. 92).....岡野慎史, 田中晶

**スペクトル拡散を応用した長距離無線通信**

(『電子情報通信学会総合大会論文集』基礎・境界, 2014, 3, p. 104).....荒川智洋, 長浜佑介, 土居信教

**広域センサーネットワークに適した多元接続方式の検討**

(『電子情報通信学会総合大会論文集』基礎・境界, 平成26年3月電子情報通信学会, 2014, 3, p. 138)

..... 浦瀬裕基, 土居信教

**Experiments of Long-range Wireless Communication on Spread Spectrum**

(IEEE sixth IWSDA, October 2014, Tokyo), 平成25年10月 Proc. IEEE sixth IWSDA, pp. 1~4, Tokyo)

..... Tomohiro Arakawa, Yusuke Nagahama, and Nobukazu Doi

**電子母子健康手帳「縁(ゆかり)」の開発**

(『第5回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集』, pp156-157, 2013. 12)

..... 木暮健悟, 大林直樹, 五味京介, 松尾祐佳, 松林圭, 松林勝志

**ロボットとの対戦型ゲームを通じた介護予防システムに関する研究**

(2014年電子情報通信学会総合大会, 2014年3月).....岡野卓矢, 北越大輔, 鈴木雅人

**研究ノウハウの提示に基づく研究活動支援システムに関する研究**

(2014年電子情報通信学会総合大会, 2014年3月).....木下裕磨, 北越大輔, 鈴木雅人

**タブレット端末を用いた認知症予防システムの基本的特性評価**

(2014年電子情報通信学会総合大会, 2014年3月).....花田涼, 北越大輔, 鈴木雅人

**強化学習ロボットとの対戦型ゲームにもとづく介護予防システム**

(情報処理学会 第175回知能システム研究発表会, 2014年3月).....岡野卓矢, 北越大輔, 鈴木雅人

**HAI の概念にもとづく認知症予防システムの基本的特性評価**

(電子情報通信学会 第72回福祉情報工学研究会, 2014年3月).....北越大輔, 花田涼, 鈴木雅人

**A Preliminary Study on Preventive Care System based on Game Playing with Communication Robots**

(2013 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence, December 6-8, 2013, pp. 84-89)

..... Takuya Okano, Daisuke Kiakoshi, Masato Suzuki

**ベジアンネットの段階的構造学習法への確率的枝刈りの導入**

(日本感性工学会 生命ソフトウェアシンポジウム2013, 2013年10月).....北越大輔, 相良光志, 鈴木雅人

**タブレット端末を用いた認知症予防システムの効果的適用に関する一考察**

(電子情報通信学会 第70回福祉情報工学研究会, 2013年10月).....花田涼, 北越大輔, 鈴木雅人

**On a Data-Hiding Technique Based on Complete Complementary Codes**

(平成25年度第2回マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2013年7月18-19日, 北海道札幌市)

..... Ryusuke MAYUZUMI, Tetsuya KOJIMA

**相関型データハイディングにおける誤り訂正符号の導入**

(誤り訂正符号のワークショップ, 2013年9月25-27日, 沖縄県宜野湾市).....小嶋徹也, 黛龍輔

**An Audio Data Hiding Based on Complete Complementary Codes and Its Application to an Evacuation Guiding System**

(The Sixth International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications, October, 25-November

1, 2013, Tokyo, Japan).....Tetsuya KOJIMA, Akihiro OIZUMI, Kohei OKAYASU, Udaya PARAMPALLI

**音声信号処理技術に基づく英語プレゼンテーション音声の解析**

(第5回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2013年12月7-8日, 東京都八王子市)

..... 今井美和花, 松永竜太郎, 小嶋徹也, 堀智子, 吉本定伸

**完全相補系列を用いたデータハイディング方式に基づく防災無線システムの開発**

(第5回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2013年12月7-8日, 東京都八王子市)

..... 立川徹, 篠原恵理耶, 山口良昌, 小嶋徹也, 土居信教, 田中晶

**音声信号処理に基づく英語プレゼンテーション音声の特徴分析**

(平成25年度第5回マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2014年1月27-28日, 宮城県仙台市)

..... 今井美和花, 松永竜太郎, 小嶋徹也, 吉本定伸, 堀智子, 野ロジュディー・津多江

**完全相補系列を用いた音声データハイディングの防災放送への応用**

(平成25年度第5回マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2014年1月27-28日, 宮城県仙台市)

..... 立川徹, 大泉明弘, 小嶋徹也

**音声データハイディングを用いた防災無線システムのための携帯端末用アプリケーションの試作**

(平成 25 年度第 6 回マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2014 年 3 月 7-8 日, 石川県能美市・金沢市) . . . . . 山口良昌, 大泉明弘, 立川徹, 小嶋徹也

**A Disaster Prevention Broadcasting Based on Information Hiding Techniques**

(Workshop on Coding and Communications, March, 28, 2014, Melbourne, Australia) . . . . . Tetsuya KOJIMA

**英語プレゼンテーションのための音声学習支援ソフトウェアの開発**

(教育システム情報学会研究報告, vol. 28, no. 6, pp. 85-92, March. 2014.)

. . . . . 松永竜太郎, 今井美和花, 吉本定伸, 小嶋徹也, 堀智子, 野ロジューディー・津多江

**Kinect を用いた肢体不自由者向け腕トレーニングシステムの開発**

(教育システム情報学会研究報告, vol. 28, no. 6, pp. 27-32, March. 2014.) 野島幸大, 吉本定伸, 野口健太郎, 谷本式慶

**小学校安全マップ活動支援 Android アプリケーションの開発と活動報告**

(教育システム情報学会研究報告, vol. 28, no. 6, pp. 19-26, March. 2014.) . . . 大林直樹, 虻川みのり, 吉本定伸, 福本徹

**肢体不自由者のためのタブレット端末の操作訓練アプリケーションの開発**

(教育システム情報学会研究報告, vol. 28, no. 6, pp. 5-10, March. 2014.)

. . . . . 大宮直人, 吉本定伸, 野口健太郎, 谷本式慶, 佐野将大

**タブレット端末を用いた小学校安全マップ作成支援システムの開発**

(情報処理学会第 76 回全国大会 (5ZE-7), March. 2014.) . . . . . 虻川みのり, 大林直樹, 吉本定伸, 福本徹

**イベント情報推薦へ向けたスコアリング手法の比較と評価**

(情報処理学会研究報告, ICS, 2014-ICS-174, ニセコ, 2014) . . . . . 小野良太, 山下晃弘, 川村秀憲, 鈴木恵二

**イベント情報推薦における異なるスコアリング手法の併用に関する検討**

(第 46 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会, A23, 札幌, 2014) . . . 小野良太, 山下晃弘, 平田圭, 川村秀憲, 鈴木恵二

**物質工学科**

**天然ゴム精製装置向けアンモニア吸収塔の設計**

(『ESCANBER Symposium 2014』, P-9, 於長岡技術科学大学, 2014. 3)

. . . . . 内野沢人, 山本祥正, 山口隆司, 河原成元, 石井宏幸

**The Quantum States of the System Including Two Species of Charged Bosons in Ion Trap III**

(JCF14, 12.8.2013) . . . . . Ken-ichi Tsuchiya, Aska Okuzumi, Aiko Watanabe

**トルエン中  $\tau$ -C4H9MgBr によるアルコキシアルキルメタクリレートのアニオン重合**

(第 62 回 (2013 年) 高分子討論会 (金沢大学) [ポスター発表] 高分子学会予稿集, 62 巻, p2257 (2013))

. . . . . 齋藤仁志, 小倉大, 廣川千寿花, 中川修

**かさ高いアルコキシ基を有するアルコキシエチルメタクリレートおよびフェノキシエチルメタクリレートのアニオン重合**

(第 62 回 (2013 年) 高分子討論会 (金沢大学) [ポスター発表] 高分子学会予稿集, 62 巻, p2258 (2013))

. . . . . 天野恵美, 小林瑠美, 中川修

**ビニルオキシエチルメタクリレートおよびアリルオキシエチルメタクリレートのアニオン重合**

(第 62 回 (2013 年) 高分子討論会 (金沢大学) [ポスター発表] 高分子学会予稿集, 62 巻, p2259 (2013).)

. . . . . 遠藤実, 廣川千寿花, Oky Rusmaningsih, 寺岬仁志, 中川修

**Comparison of ecotoxicity of heavy metals against three organisms in different stages in ecosystem**

(SETAC Europe 23rd Annual Meeting, May 12-16, 2013, Gragrow, UK) . . . . . M. Shimabukuro, R. Shoji

**Comparison of ecotoxicity of heavy metals against three organisms in different stages in ecosystem**

(SETAC Europe 23rd Annual Meeting, May 12-16, 2013, Gragrow, UK) . . . . . M. Shimabukuro, R. Shoji

**廃石膏ボードの埋め立てによる硫化水素発生抑制技術の開発**

(2013NEW 環境展, 東京国際展示場, 2013. 5) . . . . . 庄司良, 田中一光, 若杉玲子

**低電圧ソリューションプラズマ法による金属ナノ粒子の合成**

(2013 年電気化学会秋季大会 (1G23), 2013. 9) . . . . . 加藤拓海, 城石英伸, 中島達朗, 松田直樹

**鉄コバルト担持多層カーボンナノチューブの酸素還元能に対する有効な窒素化学種の電位依存性**

(2013 年電気化学会秋季大会 (1G24), 2013. 09) . . . . . 高橋勝國, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実

**中温作動型燃料電池用 ZrO<sub>2</sub>-1. 6P2O<sub>5</sub> 電解質を複合化した ZnO-2P2O<sub>5</sub> ガラスのプロトン導電性**

(2013 年電気化学会秋季大会 (1G25), 2013. 09) . . . . . 安藤慶介, 城石英伸, 齋藤守弘

**中和法により合成した Pb<sub>2</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub>- $\delta$  の光化学的水の酸化・プロトン還元能の研究 (3)**

(2013 年電気化学会秋季大会 (1G25), 2013. 09) . . . . . 羽生真也, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実, 亀田直弘

**鉄コバルト担持多層カーボンナノチューブの酸素還元能に対する有効な窒素化学種の解析**

(第 6 回新電極触媒シンポジウム&宿泊セミナー, 2013. 11) . . . . . 高橋勝國, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実

**多層シェルコア型貴金属微粒子担持カーボンナノチューブ触媒による アンモニアの電気化学的酸化**

(第 6 回新電極触媒シンポジウム&宿泊セミナー, 2013. 11) . . . . . 工藤瑛士, 城石英伸, 蒲生西谷美香, 太田拓

**ピリジル系鉄コバルト錯体を前駆体とした酸素還元触媒の有効窒素化学種の解析**

(有機エレクトロニクス研究会 (OME), 2013. 12) . . . . . 高橋勝国, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実

**ZrO<sub>2</sub>-1. 6P2O<sub>5</sub> 電解質を複合化した ZnO-2P2O<sub>5</sub> ガラスの中温作動型燃料電池用電解質としての特性**

(有機エレクトロニクス研究会 (OME), 2013. 12) . . . . . 安藤慶介, 城石英伸, 齋藤守弘

**低電圧ソリューションプラズマ法を用いた白金ナノ粒子の調製**

(有機エレクトロニクス研究会 (OME), 2013. 12) . . . . . 加藤拓海, 西川太二, 城石英伸, 中島達朗, 松田直樹

**アルミニウム-空気電池の高性能化 ~家庭用非常電源への応用を目指して~**

(化学工学会学生発表会 (東京大会, A05), 2014. 03) . . . . . 高橋優, 金子将大, 松下悠貴, 小笠原気八, 城石英伸

**空気電池用非貴金属触媒の開発**

(化学工学会学生発表会 (東京大会, A05), 2014. 03) . . . . . 松下悠貴, 小笠原気八, 金子将大, 高橋優, 城石英伸

**回転リングディスク電極測定のための迅速中温乾燥法による均一な触媒修飾ディスク電極の作製**

(電気化学会第 81 回大会 (1G21), 2014. 03) . . . . . 高橋勝国, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実

**Cr2O3 シェル-Pb2Ru2O7- $\delta$  コア/GaN:ZnO 触媒の酸素還元能**

(電気化学会第 81 回大会 (1G22), 2014. 03) . . . . . 羽生真也, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実

**低電圧ソリューションプラズマ法による金属ナノ粒子の合成 (2)**

(電気化学会第 81 回大会 (1G29), 2014. 03) . . . . . 堀口元規, 西川太二, 加藤拓海, 城石英伸, 中島達朗, 松田直樹

**ZrO<sub>2</sub>-1. 6P2O<sub>5</sub> コンポジット ZnO-2P2O<sub>5</sub> ガラスの発電特性**

(電気化学会第 81 回大会 (1G30), 2014. 03) . . . . . 大屋彼野人, 安藤慶介, 城石英伸, 齋藤守弘

**多層シェルコア型貴金属微粒子担持カーボンナノチューブ触媒による アンモニアの電気化学的酸化 (2)**

(電気化学会第 81 回大会 (1G31), 2014. 03) . . . . . 小林昌広, 工藤瑛士, 城石英伸, 太田拓, 蒲生西谷美香

**鉄コバルト担持多層カーボンナノチューブの酸素還元触媒能に対する金属担持量の影響**

(電気化学会第 81 回大会 (1G32), 2014. 03) . . . . . 青柳朔水, 高橋勝国, 城石英伸, 齋藤守弘, 田中優実

**低電圧ソリューションプラズマ法によるフローセルを用いた貴金属ナノ粒子の合成**

(電気化学会第 81 回大会 (PFC21), 2014. 03) . . . . . 西川太二, 加藤拓海, 堀口元規, 城石英伸, 中島達朗, 松田直樹

**Polymer Electrolyte Membrane with Nanomatrix Channel Prepared by Sulfonation of Natural Rubber Grafted with Polystyrene**

(ACS Rubber Division, 185th Technical Meeting, 平成 26 年 3 月)

. . . . . Noriyuki Kado, Mitsuki Tokuta, Patjaree Suksawad, Yoshimasa Yamamoto, Seiichi Kawahara

**Extractable Protein Content and Total Nitrogen Content of Natural Rubber Products**

(RubberCon 2013, 平成 25 年 12 月) . . . . . Yoshimasa Yamamoto, Kai Miyano, Hiroyuki Ishii, Seiichi Kawahara

**Nitrogen Content of Natural Rubber Products**

(2nd TCVN Meeting, 平成 25 年 8 月)

. . . . . Yoshimasa Yamamoto, Kai Miyano, Hiroyuki Ishii, Phan Trung Nghia, Seiichi Kawahara

**Polymer Electrolyte Membrane with Nanomatrix Channel Prepared by Sulfonation of Natural Rubber Grafted with Polystyrene**

(ESCANBER シンポジウム, 平成 26 年 3 月)

. . . . . Noriyuki Kado, Mitsuki Tokuda, Patjaree Suksawad, Yoshimasa Yamamoto, Hiroyuki Ishii and Seiichi Kawahara

**天然ゴム製品の溶出タンパク質量と窒素含有率**

(日本ゴム協会エラストマー討論会, 平成 25 年 12 月) . . . . . 山本祥正, 宮野快, 石井宏幸, 河原成元

**天然ゴムのモルフォロジー**

(高分子討論会, 平成 25 年 9 月) . . . . . 山本祥正, Oraphin Chaikumpollert, 石井宏幸, 河原成元

**水プロセスにおける陽極酸化反応による天然ゴムの臭素化**

(高分子学会年次大会, 平成 25 年 5 月) . . . . . 山本祥正, 河原成元

**カーボンブラック配合加硫天然ゴム、イソプレンゴムおよび脱タンパク質化天然ゴムのモルフォロジーと物性**

(成形加工学会年次大会, 平成 25 年 5 月)

. . . . . 山本祥正, 河原成元, 浅野敦志, 岩井智昭, 上杉明里, 宇川仁太, 北居寿章, 北川直之, 倉本直明, 齋藤武徳, 竹中克彦, 富永洋一, 西谷要介, 平原英俊, 渡辺訓江

**可視光応答型光触媒表面におけるキャリアダイナミクス - 可視光ポンプ-赤外光プローブ法による追跡**

(第 33 回表面科学学術講演会, 於つくば国際会議場, 2013. 11)

. . . . . 伊藤未希雄, 野口秀典, 潘成思, 高田剛, 堂免一成, 魚崎浩平

**Component Surface Concentrations of Gas Mixtures By Langmuir Theory and Ideal Adsorbed Solution Theory (IAST)**

(The 2013 AIChE Annual Meeting, November, 2013, USA) . . . . . Yasukazu Kobayashi, Dezheng Wang

- Individual surface concentrations on SAPO-34 of the components in gas mixtures from heat of adsorption measurements**  
(The 2nd International Congress on Catalysis for Biorefineries, September, 2013, China)  
..... Yasukazu Kobayashi, Dezheng Wang
- A microscopic model for the Tian-Calvet microcalorimeter**  
(The 9th World Congress of Chemical Engineering, August, 2013, Korea) ..... Yasukazu Kobayashi, Dezheng Wang
- Loading prediction in methanol/DME/C3H6/C3H8 mixtures by the Extended Langmuir and Ideal adsorbed solution theories**  
(The 17th International Zeolite Conference, July, 2013, Russia)  
..... Yasukazu Kobayashi, Yuxing Li, Yao Wang, Dezheng Wang
- High resolution measurement of the differential heat of adsorption on porous catalytic powders**  
(The 8th International Mesoporous Materials Symposium, May, 2013, Japan)..... Yasukazu Kobayashi, Dezheng Wang

### 3. その他

#### (1) 学位取得・学会賞・論文賞

**依頼講演：学生相談室から見た QU の活用例と要支援学生**

(平成 25 年度高等専門学校教員研修 (クラス経営・生活指導研修会) 2013. 9) ..... 黒田一寿

**技術士 (情報工学部門) 登録番号 第 8 1 2 6 5 号**

(平成 26 年 3 月 14 日) ..... 館泉雄治

**博士論文：ポリイミドフィルムの加熱制御による多孔性炭素の調製と電気的特性に関する研究**

(豊橋技術科学大学、博士(工学)) ..... 玉田耕治

**学会賞：電子情報通信学会基礎・協会ソサイエティ貢献賞 (ソサイエティ運営) 受賞** ..... 小嶋徹也

**博士論文：Developments in the Calorimetric Technique for the Study of Solid Catalyzed Reactions**

(清華大学化学工学専攻、博士(工学)) ..... 小林靖和

#### (2) 科学研究費補助金 (研究実績報告書, 研究成果報告書) 等

**音声信号処理技術に基づく英語プレゼンテーションのための音声学習支援ソフトの開発**

基盤研究 (C) 課題番号 25370680 (2013 年度～2016 年度) ..... 堀智子、小嶋徹也、吉本定伸、野口ジュディー

**技術者育成のためのレベルを意識した数学および専門分野の融合問題の集積と教育実践**

基盤研究 (C) 課題番号 25350313 ..... 市川裕子

**窒化物半導体表面・界面における再結合過程の解明と素子性能向上に向けた基礎研究**

基盤研究 (C) 課題番号 25390071 (2013 年度～2015 年度) ..... 尾沼猛儀

**ワイドギャップ III 族酸化物/窒化物半導体ヘテロ構造作製のための基盤技術開拓**

基盤研究 (B) 課題番号 25289093 (2013 年度～2015 年度)

..... 東脇正高、本田徹、尾沼猛儀 (研究分担者)、山口智広、ダイバクリシュナ

**思考力にかんする研究**

研究活動スタート支援 課題番号 25884092 (2013 年度～2014 年度) ..... 村瀬智之

**応力聴診器及びピエゾフィルムを用いた危険予測のための欠陥・き裂検出技術の基礎研究**

若手研究 (B) 課題番号 25871030 (2013 年度～2015 年度) ..... 志村隼

**零相電圧を有効利用した電力変換器のノイズ低減技術の研究**

基盤研究 (C) 課題番号 25420275 (2013 年度～2015 年度) ..... 綾野秀樹

**データマイニングを用いた日本語構文自己再編モデルによる手書き文章自動認識の研究**

基盤研究 (C), 課題番号 22500170, (2010 年度～2012 年度) ..... 鈴木雅人, 北越大輔, 松本章代

**可視光通信により自立・協調した調光を行い省電力を実現する LED 照明システム**

(科学研究費補助金研究実施状況報告書, 挑戦的萌芽研究) ..... 松林勝志

**ヒューマン・ロボット・インタラクションを用いた対戦型ゲームによる介護予防システム**

研究実績報告書, 研究成果報告書 若手研究 (B) 課題番号 24700603 (2012 年度～2013 年度) ..... 北越大輔

**高性能なスペクトル拡散型電子透かしを防災サイレンに応用した防災無線システムの開発**

基盤研究 (C) 課題番号 24510240 (2012 年度～2014 年度) ..... 小嶋徹也, 松元隆博, 吉本定伸, 土居信数, 田中晶

**複数の SNS 利活用におけるプラットフォーム横断的なリスク管理基盤の研究開発**

研究成果報告書, 平成 25 年度総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 若手 ICT 研究者等育成型研究開発 (フェーズ

I) 受付番号 132101001 (2014 年 3 月) ..... 山下晃弘, 上村卓史

(3) 特許等

- エレベータ乗りかごの電力制御装置 登録番号 5433050 (2013. 12)  
..... 吉川敏文, 藤野篤哉, 中塚康弘, 荒川淳, 綾野秀樹, 森和久, 稲葉博美, 村岡一史, 松原正裕, 岸川孝生
- 電力変換装置及びエレベータの制御装置 登録番号 5380262 (2013. 10)  
..... 吉川敏文, 藤野篤哉, 中塚康弘, 荒川淳, 綾野秀樹, 森和久, 稲葉博美, 村岡一史, 松原正裕, 岸川孝生
- 電力変換装置 登録番号 5354087 (2013. 9)  
..... 綾野秀樹, 石川勝美, 小川和俊, 小南勉, 国広真実
- エレベーター駆動システム 登録番号 5335855 (2013. 8)  
..... 米川輝, 森和久, 綾野秀樹, 吉川敏文, 深田裕紀
- エレベータの速度制御装置および速度制御方法 登録番号 5298003 (2013. 6)  
..... 大沼直人, 蛭田清玄, 迫田友治, 保立尚史, 綾野秀樹, 森和久, 古橋昌也
- エレベーターシステム 登録番号 5244880 (2013. 4)  
..... 村岡一史, 吉川敏文, 綾野秀樹, 大貫朗, 古橋昌也, 深田裕紀, 岸川孝生
- 電力変換装置 登録番号 5241692 (2013. 4)  
..... 綾野秀樹, 大沼直人, 迫田友治, 三田史明, 保立尚史, 石塚正人, 藪内達志
- 細胞用力学負荷装置, 特許第 5400815 号, 登録日: 2013 年 11 月 1 日  
..... 発明者: 安田利貴: 出願人, 高専機構
- Particle and near-field optical waveguide, 米国登録番号 No. 8,475,685(2013.7.2)  
..... 発明者 (Kou Yamada, Kenji TODORI, Shigeru MACHIDA)

(4) 解説・研究ノート・エッセイ等

- 分担執筆『たまの力』  
(関満博監修, けやき出版, 2013 年 12 月, 事例調査 5 件を担当) ..... 浅野敬一
- 社会実装ロボット教育の提案と実践—社会とのつながりを中心に—  
(『産学官連携ジャーナル』第 10 巻第 2 号, pp. 20-21) ..... 浅野敬一
- 「東京高専体育科の 20 年間の活動を振り返る」  
(第 2 回関東信越地区高専体育・スポーツ研究会報告書 (2013) ) ..... 古屋正俊, 鈴木智之, 黒田一寿
- 技術者の卵のための哲学教育  
(『哲楽』, pp. 54-7, MID アカデミックプロモーションズ, 2013. 12) ..... 村瀬智之
- 第 6 章「閉ループ過渡応答データの周波数および時間領域の情報を併用した制御器設計法」  
(データ指向型制御システム調査専門委員会編電気学会技術報告第 1294 号, 2013 年 10 月, p. 24-28) ..... 松井義弘
- 周波数領域の情報を併用した閉ループ過渡応答データからの制御器調整  
(計測と制御, 52 巻, 10 号, 2013 年 10 月, pp. 892-897) ..... 松井義弘, 中野和司
- 釧路新聞社社説「巷論」  
(5, 7, 9, 12 月) ..... 佐川正人
- マイスター・学生教育士制度によるものづくり人材育成教育  
(関東工学教育協会業績賞受賞 2013. 5. 28) ..... 松林勝志
- マイスター・学生教育士制度によるものづくり人材育成教育  
(日本工学教育協会工学教育賞・文部科学大臣賞受賞 2013. 8. 29) ..... 松林勝志
- 第 3 回タイ日本ゴムシンポジウム開催記  
(『日本ゴム協会誌』, 第 86 巻第 5 号, 2013, pp. 154-158) ..... 山本祥正, 石井宏幸
- 研究所紹介  
(東京工業高等専門学校 産業技術センター MRS-J NEWS, Vol. 25 No. 4, pp4-5 (2013)) ..... 伊藤 浩, 佐々木 桂一, 中川 修

東京工業高等専門学校研究報告書

第 46(1)号

平成 26 年度

平成 26 年 12 月 22 日発行

編集者 東京工業高等専門学校図書委員会

発行者 東京工業高等専門学校

東京都八王子市櫛田町 1220-2

TEL (042) 668-5111

The name of this journal has been changed from “*Research Reports of Tokyo National College of Technology*” into “*Research Reports of National Institute of Technology, Tokyo College*” since the 2014 issue.