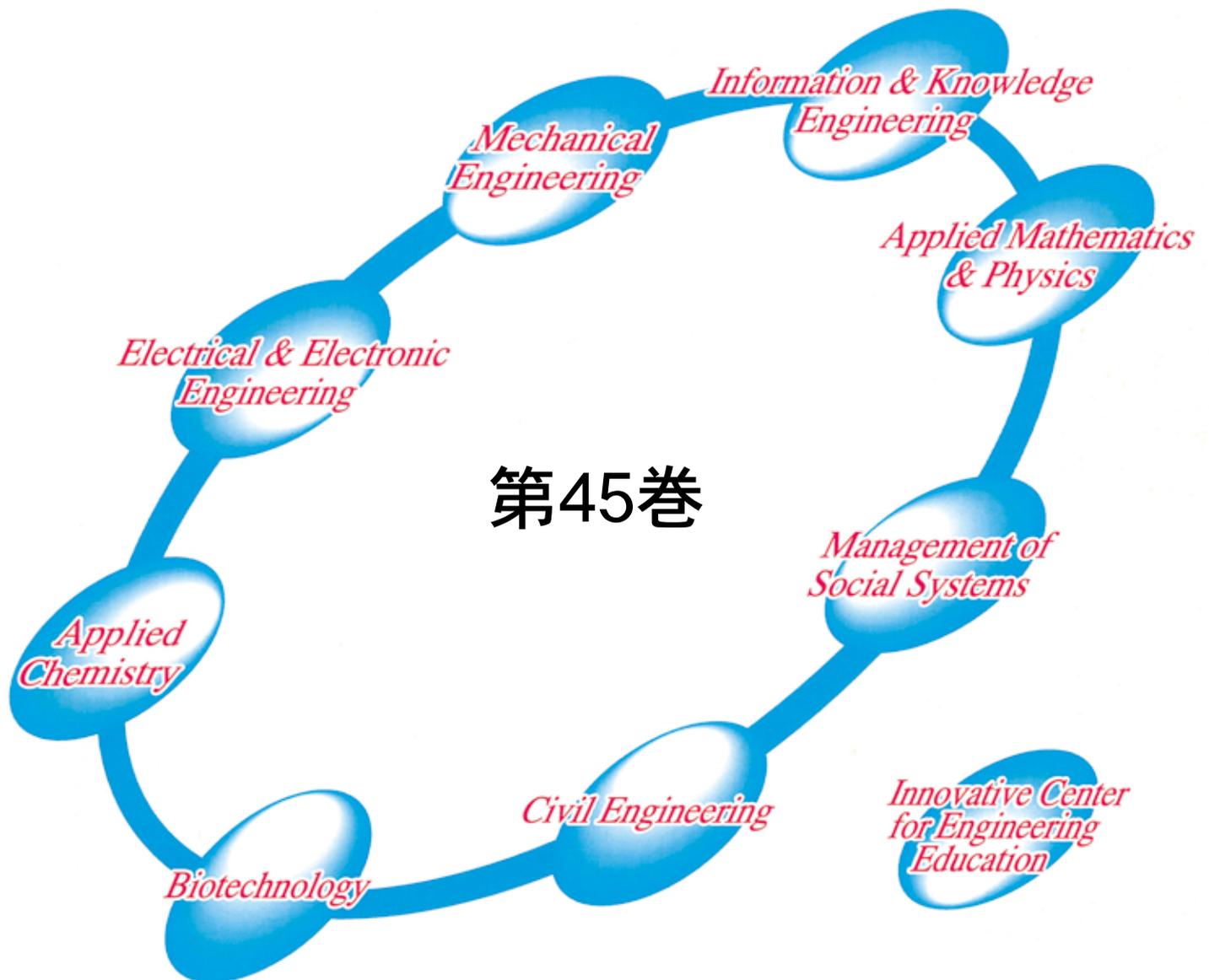


鳥取大学大学院工学研究科/工学部

研 究 報 告

Reports of the Graduate School/ Faculty of Engineering
Tottori University



第45卷

Vol.45 December 2014

平成26年12月

研究報告第45巻 (通巻48号)

総説

1) 磁性と構造に関わり四十年余り	
中井 生央	1
2) 鳥取大学工学部物質工学科におけるセラミックス系研究室のあゆみ － 機能性セラミックス材料の発展 －	
江坂 享男	16
3) 惑星大気突入飛行に伴う極超音速プラズマ流に関する研究	
山田 剛治	32
業績リスト -2014-	39

講座による編集

○応用化学講座

- ・海岸一帯の漂着ごみ量や堆積ごみ量の指標値を得るために必要な調査範囲

岡野 多門・森田 晃	85
------------------	----

- ・漂着ごみ量の測定に必要な海浜ごみの砂浜からの流出による消失半減期

岡野 多門・森田 晃	95
------------------	----

磁性と構造に関わり四十年余り

中井 生央
鳥取大学大学院 工学研究科 電気電子工学講座

Studies on magnetism and structure of materials for more than forty years

Ikuo NAKAI
Department of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School of Engineering
Tottori University, Tottori, 680-8552 Japan
E-mail: nakai@ele.tottori-u.ac.jp

Abstract: I present my research history that I have investigated the magnetism and the structure of electronic materials for more than forty years since entering graduate school. They are the $3d$ transition metals and alloys, especially Invar alloys in crystalline and amorphous phases, $4f$ rare earth alloys and diluted magnetic semiconductor oxides. I have used a lot of techniques such as magnetization, XRD, XAFS, XMCD and mechanical milling. I also tell much of the stories of that time in my life.

Key Words: Magnetism, Invar, Amorphous, Local Structure, XAFS, XMCD, XRD, Milling, Magnetization, Diluted Magnetic Oxides

1. はじめに

これまでの自身の辿ってきた道を振り返る機会は、人生においてそれ程頻繁には訪れない。退職は、そのいい機会であると思う。

生まれは香川県善通寺市で、ここは真言宗を開いた空海の生まれた土地である。父の仕事の関係で、小学1年生の中頃転校することになった。今でも理由は分からないが、転校先ではいわゆる不登校になり、出席日数は半分程度であった。しかし、2年生のときの再度の転校以来、不登校は解消され、中学、高校と過ごしてきた。高校2年で理系と文系クラスに分かれるとき、どちらにも興味があり迷っていた。当時は理系が華やかで、担任の先生も「理系の方が将来性あり」と薦められ、理系クラスに入った。3年生になり大学でどの分野を専攻するかを決めるとき、暗記が苦手だったので理系の科目の中で覚えることが少ないのは何かと考えた。それで化学、生物、地学に比べて物理は覚えることが少ないだろうと思い、物理学を選んだ。

大学1年の6月末、大学紛争のため大学側がロックアウトし9月まで休みになった。その頃から将来のことを考えて、大学院に行こうと思うようになった。大学院の受験では、受験日の異なる3つの大学院を受験した。2つは当時流行の素粒子理論、残りの1つは物性理論であった。素粒子関

係の2つは不合格になり、最後の岡山大を受けた。応募書類には物性理論と書いていたのだが、面接の一人の先生が「君はドイツ語は全く出来ていないが、ところで、理論と実験どちらを専攻するのかね？」と突然聞かれた。私はなぜか「実験でお願いします」と言ってしまった。入学して分かったのだが、そのとき質問したのが私の恩師となる山田宰先生であった。先生はその前年にフランスから帰国し岡山大に着任され、大学院生の募集が間に合わなかったので、理論分野の中で、院生を募集したとのことであった。この面接のときの瞬時の判断が、私の人生の大きな転換点となった。この山田先生との出会いが、私の研究生活の始まりである。それ以来、今日までの42年間について回想したいと思う。

2. 大学院からの研究 (1973-1984)

大学院の物性実験系に入学して、与えられたテーマは、当時の金属磁性における中心的課題であった「Invar問題」すなわち「磁気体積効果」に関するものであった。大学では、卒業研究でHe原子核の散乱断面積の計算をしていただけて、当時私が知っていた磁性に関する言葉としては、学部のように習った強磁性とか常磁性とかで、それ以上の磁性についての知識は無かった。この私の状況をご

存知だった山田先生は、大学院の講義では、磁性に関する初歩的な、今から考えると学部レベルの講義をしてくれた。研究室には学部生もおらず私のみだったので、先生の部屋で一对一での論文の輪講を行った。輪講とは言っても、私が説明し先生が注釈するというゼミであった。今から考えると、先生にとっては退屈で忍耐のいる作業だったろうと、自身が教える立場になってしみじみ思う。しかし、私にとってはこの一对一のゼミが、研究生活を始める上で大きな力になったと感じている。

Invarとは、C. E. Guillaume (1861-1938) が発見したFe-Ni合金 (35 at%Ni-65 at%Fe) のことである [1]. この合金の最大の特徴は、室温での線膨張率が $1.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ と金属 (純Feや純Ni) に比べて約 1/10 小さいことである。このように温度が変化しても長さが変化しない、すなわちinvariableなので、Invarと命名された。熱膨張率の小さい材料は、温度による寸法変化を嫌う精密機械の素材として有用であり、幅広い分野への応用が期待された。Guillaumeは「Invar合金の発見とそれによる精密測定の開発」により、1920年にノーベル物理学賞を受賞した。またこの低熱膨張率は、Invar領域と言われるNi濃度35 at%あたりのfcc構造において現れる。Ni濃度が33at%以下では、低温で結晶構造が原子の拡散を伴わずにbccに変わる。これをmartensite変態というが、Invar合金はこのmartensite変態一歩手前の濃度領域に位置する。更にこの領域の磁化は、3d遷移金属合金が示すSlater-Pauling曲線から大きく外れ急激に減少する。これらInvar合金のもつ特異な性質を総称して、「Invar問題」と呼ばれる [2, 3].

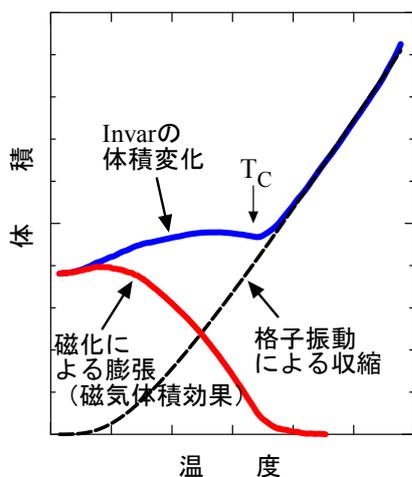


図 1. Invar 合金の熱膨張 (磁気体積効果) の模式図.

Invar合金の低熱膨張は、この合金の強磁性と深く関係している。図1に示すように、Curie温度 (T_c) 以上では、通常の金属と同様、Invar合金の体積は温度の下降につれて格子振動により減少する。しかし、 T_c 以下では体積変化が急激に少なくなる。これは、 T_c 以下で磁化することによる体積の膨張 (赤線) と通常の格子振動による体積の収縮 (黒破線) が打ち消しあって、全体としての体積変化 (青線) が少なくなるためであると現象論的には説明される。言い換えると、低熱膨張の本質は、磁化することによる体積膨張にあると言える。この磁化と体積の関係、すなわち磁気体積効果は、遍歴電子系の3d遷移金属合金の電子状態に関係した磁性における本質の問題を提起している。

私に与えられたテーマは、Fe-Ni Invar合金の磁化を精密に測定し、その特徴、特に磁気励起に関する特徴を明らかにすることであった。そのためには、磁化を高精度で測定する必要があったので、電磁石 (最大磁場1.69 T) に設置する引き抜き型の磁束計を作製することにした。この電磁石は、助教授の山寄比登志先生がESRに使用するため、磁場均一度 10^{-4} を有するものであった。磁束計の電子回路系は助手として来られた小野文久先生が担当し、検出コイル系は私の担当であった。図2に示すように、電磁石のポールピースの間隔は50 mmであった。そ

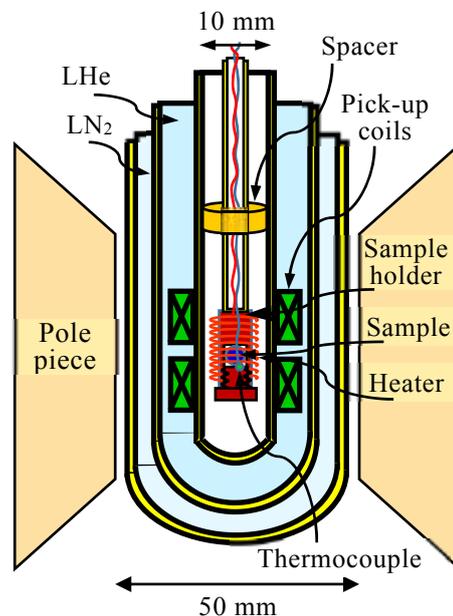


図 2. 電磁石のポールピースの間に設置したデューワー (液体ヘリウム, 液体窒素) 内の検出コイルと試料の位置関係.

ここに試料を冷やすため、液体窒素用と液体ヘリウム用のデュワーを挿入する。引き抜き型磁束計は、試料を動かし電磁誘導で発生する電圧を検出する。その出力電圧を大きくするため、検出コイルは試料に近い位置に配置する必要がある。そこで内径25mmの液体ヘリウムデュワーと試料ホルダーを入れる外径12mmのパイレックスガラス管の間の狭い空間に検出コイルを置くことにした。もう一つ出力電圧を大きくするには、コイルの巻き数をできるだけ多くする必要がある。そのため、線材は確か0.07mmφのエナメル被覆銅線を使い、外径約10mm、厚さ約5mmの大きさに約5000巻きのコイルを、手動の巻線機で作製した。それを4個直列に接続し検出コイル系とした。この磁束計は、当時では最高の相対精度 5×10^{-5} (=1/20000) であった。

試料は、アルミナ製のタンマン管内で誘導コイルにより溶解し、その誘導コイルを上に移動することでタンマン管の底から結晶成長させる、いわゆるBridgman法で単結晶のFe-Ni合金 (Ni濃度34.2 at% - 100 at%) を作製した。これから約7mm角を切り出し、直径約5mm (誤差 2-3 μm) の球に成形した。球形にするのは、試料内に加わる内部磁場を均一にするためと、反磁場係数 (球の場合、cgs単位系で $4\pi/3$) を用いて印加磁場の絶対値から磁化の絶対値を正確に評価するためである。磁場の測定

には、NMRで較正したホール素子を用いた。

このようにして測定した磁化の温度変化のデータを、図3に示す [4]。小さい一点一点が測定点である。当時はまだPCはなく、測定系が完成した当初は、デジボルに表示した検出コイルの電圧 (磁化に比例) と熱電対の電圧 (温度に対応) を一点一点実験ノートに書き写していた。その後、研究室にきた4年生が中古のレジスターから取ったプリンターを改造し、デジボルの値を印字できるようになった。試料の温度は、ヒーターの出力で調整し、試料を下側の検出コイルの中心から上側の検出コイルの中心までの約10mmの間をステップモータにより移動させ、出力電圧を測定した。データの温度間隔が揃っていないのは、うっかりして測定のタイミングを逸したためである。測定は午前中から準備し、昼食後から始めて、4.2Kから300Kまでの測定が終了するのは、約20時間後の翌日の午前であった。論文に投稿する図を作る場合も、まずグラフ用紙にデータを描き、その上に半透明紙を重ね、ロットリングという製図用ペンと定規を使い、一文字一文字、一点一点書いた。少しの間違いであれば修正ペンでの修正ができたが、大きな間違いでは再度書き直す必要があった。半透明紙に図3を描くのに、30分以上は掛かったと記憶している。

強磁性体の磁場 B 、温度 T での磁化 $M(B, T)$ は、スピン波理論によると、低温では、

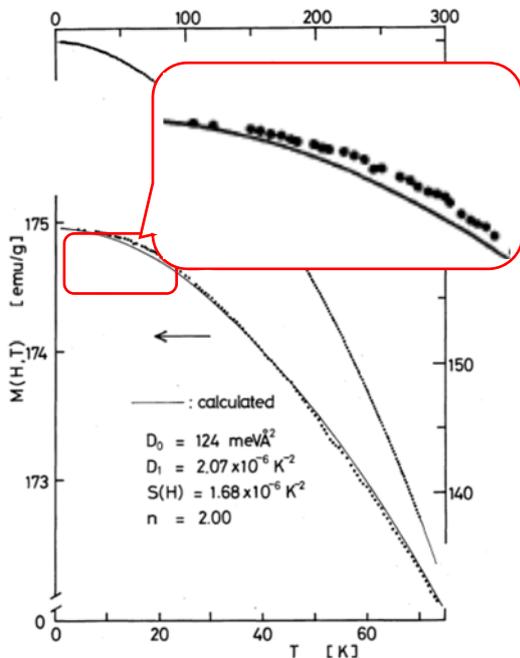


図3. 単結晶 35.4at%Ni-Fe Invar 合金の <100>方向の磁化の温度変化と拡大図。

$$M(B, T) = M(B, 0)$$

$$-\frac{g\mu_B}{\rho} \left\{ F(3/2, B_T) \left(\frac{k_B T}{4\pi D} \right)^{3/2} + 15\pi\beta F(5/2, B_T) \left(\frac{k_B T}{4\pi D} \right)^{5/2} + \dots \right\} \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{cases} F(i, B_T) = \sum_{j=1}^{\infty} j^{-i} \exp(-jB_T) \\ B_T = g\mu_B B / k_B T \\ E_q = Dq^2(1 - \beta q^2) + g\mu_B B \\ D = D_0(1 - D_1 T^2 - D_2 T^{5/2}) \end{cases}$$

と表される [5]。ここで、 μ_B はBohr磁子数、 k_B は Boltzmann定数、 g は g 因子、 ρ は試料の密度、 E_q はスピン波のエネルギー、 D はスピン波スティフネス定数、 β はスピン波分散関係の4次の項の係数、 $F(i, B_T)$ はBose-Einstein積分関数である。 D は、遍歴電子の寄与による T^2 項とスピン波間の相互作用による $T^{5/2}$ 項からなる。

当時、Invar合金の磁化の温度変化をスピン波理論 ($T^{3/2}$ 項と高次の $T^{5/2}$ 項) に基づいて解析すると、磁化から導出したスピン波スティフニス係数 (D_M) が中性散乱から求めたスピン波スティフニス係数 (D_N) の約半分程度で一致しないことが指摘され、これも「Invarの特異な性質では」と議論になっていた。どこで、Fe-Ni Invar合金の磁化の温度変化が高次の項まで含んだスピン波理論で説明できないのであれば、1) スピン波以外の磁気励起が存在するのか、2) その磁気励起の温度依存性はどうか、を解明することを研究目的とした。

磁気励起を示す本質的物理量は、磁化そのものではなく、磁化の絶対零度からの減少分である。そこで、(1)式に代わって次の(2)式の表現を採用した。

$$\Delta m = \Delta m_{\perp} + \Delta m_{\parallel} \quad (2)$$

ただし、

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta m = -\{M(B, T) - M(B, 0)\} / M(B, 0) \\ \Delta m_{\perp} = \frac{g\mu_B}{\rho M(B, 0)} \left\{ \begin{array}{l} F(3/2, B_T) \left(\frac{k_B T}{4\pi D} \right)^{3/2} \\ + 15\pi\beta F(5/2, B_T) \left(\frac{k_B T}{4\pi D} \right)^{5/2} \end{array} \right\} \\ \Delta m_{\parallel} = S(B)T^n \end{array} \right.$$

ここで Δm_{\perp} がスピン波励起による寄与、 Δm_{\parallel} はスピン波励起以外の寄与である。その温度依存性を表すため、新しいパラメータ S, n を導入する。この新しい項が上記2)に対応する。

磁化の温度変化のデータを(2)式で表し、各パラメータを求めなければならない。そこで大型計算機を使って解析を行った。当時の計算機は、プログラム (Fortran) 1行毎に1枚のパンチカードに打ち込み、そのカードをカードリーダーで計算機に読み込ませるものであった。解析手順は、1) 各パラメータをある数値に設定し(2)式から磁化を計算する、2) 各温度に対して、この磁化の計算値と実測値から「重み付き2乗和」を求める、3) 各パラメータの数値を変えて、「重み付き2乗和の最小」を与えるパラメータの組を探すというものである。この手順は、単純なのでプログラムは簡単だが、計算量は多くなり、パラメータの設定値を誤ると「重み付き2乗和の最小」を探すのに、更に計算量が増える。またBose-Einstein積分関数も磁化の精度 5×10^{-5} に影響しない収束値まで級数を計算した。このプログラムを書くとき、計算機に特化した差分や収束の加速法などを学ぶ計算機数学という大学での授

業が非常に役立った。

(2)式に従ってInvar領域を含めたfcc Fe-Ni合金系の磁化の温度変化を解析すると、1) これまで言われていた磁化から求めた D_M と中性散乱からの D_N がほぼ一致 ($D_M \approx D_N$) すること、2) スピン波励起以外の Δm_{\parallel} が存在し、 $n=2.00 \pm 0.05$ となること、すなわち T^2 項の存在を見出した [4, 6-8]。3d遷移金属強磁性については、遍歴電子モデルと局在電子モデルのいずれで説明できるかの長い間の論争があった。遍歴電子モデルを代表するのが、Stonerモデル [9]であった。金属強磁性でも T_C 以上では磁化率の逆数が温度に比例するというCurie-Weiss則が成り立つ。しかし、Stonerモデルでは、Niなどの T_C より倍以上高い温度領域でないとCurie-Weiss則を説明できないという矛盾があった。またStonerモデルでは、スピン波励起を無視している点も問題であった。この遍歴電子モデルを発展させたのが spin fluctuation theory [10] で、当時の学会でも理論、実験面からの多くの議論があった。この理論によると、低温での磁化の温度変化は $T^{3/2}$ 項以外に T^2 項が存在するというので、Fe-Ni合金での T^2 項の理論的根拠が与えられた。ここで求めたFe-Ni合金の磁化のパラメータはデータブックに引用されている [11]。

3. イギリス留学 (1984-1985)

学位を取った後、山田先生から留学を薦められた。先生は長らくヨーロッパで研究生活をされていたので、ドイツやフランスに知り合いが多かった。しかし「英語圏の方が将来のためには良い」ということで、何か所かの大学に、先生の紹介状に私の手紙、履歴書と論文を添えて送った。2ヶ月程して、イギリス サザンプトン大の Lee 先生から「今のところ経済的援助はできないが、歓迎する」との返事を頂いた。それで「兎に角自費でも行く」と先生に話したところ、「100万円くらいなら、ポケットマネーで援助する」との有難い申し出があったが、それはお断りした。

成田を発ったのは1984年の4月であった。出発の1週間程前、Lee先生から「大学がもうすぐイースターの休みに入るので、イースターが明けてから来るように」との電報が届いた。しかし航空券を既に購入していたので、当初の予定通りに出発した。当時はヨーロッパへの北回り便は、アラスカのアンカレッジ空港に一旦降りて、給油するのが常であった。この間1時間程、手足を伸

ばし休憩をとった。早朝ロンドン ヒースロー空港に着いた。イギリス領事館で発行したビザと Lee 先生からの紹介状を入国審査官に提示し1年間の滞在許可を貰った。ヒースロー空港からバスでロンドン ウォーターloo 駅に向かう途中、車窓から遠くに点在する赤茶けたレンガ造りの家を眺めていると、イギリスに来たのだという実感が沸いてきた。列車でサザンプトンに着き、予約していた駅近くの B&B (Bed and Breakfast) に入ったのは、昼過ぎであった。それからの1週間程は、外国人登録の手続きで警察署に行ったり、市内を見学して回ったりした。サザンプトンは、イギリス南部の港町である。ここは、タイタニック号 (1912年4月14日深夜、ニューヨークに向けての処女航海中、氷山に衝突して沈没した) が出航した港でもある。当時の事故の様子を展示した記念館がある。市内中心部には、昔の城壁の一部が残っている。古い建物も多く、チューダー様式の500年前の建物で営業しているパブもあった。

イースターの休みが明けて、Lee 先生の初めてお会いしたが、多分そのときの私の話しぶりがたどたどしいと思われたのだろうが、数日後、Lee 先生から大学の語学センター (留学生に英語を教える施設) を紹介された。それ以後、週1回程度通っていたが、研究が忙しくなり半年後くらいからは通わなくなった。もっと熱心に通ってればと今になって思う。

Lee 研究室では、希土類金属合金系の研究を行っており、単結晶の金属間化合物や希土類-遷移金属アモルファス合金を取り扱っていた。イギリスに来る少し前にアモルファス Fe-B Invar 合金の磁化も測っていたので、アモルファス Gd-TM 系を研究の対象とした。5Tの超伝導マグネットと磁気天秤からなる PC 制御の磁化測定装置をオーストラリア出身の研究者 Chris が開発していた。Chris に取り扱い方を一から教わった。原材料を溶かすアーク炉、アモルファスリボン作製の単ロール装置の使い方は、イラクからきていた大学院生に教わった。PC 制御の自動測定なので試料のセットと測定条件の入力だけで、日本での測定に比べれば雲泥の差であった。1984年9月頃には研究室に新しい研究員の Sue が着任した。Sue はその前年にリバプール大で学位を取り、今はハッダースフィールド大の教授になっている。

イギリスの大学は、学部3年、大学院博士課程3年で、最短24歳で学位が取れる。当時の物理学科の規模は、学部生1学年80名、博士課程の学生は30-40名、講師以上の教員30名程度、私のよう

な研究員が20-30名で、その内教授は5名であった。その他に技術スタッフ5名と事務スタッフ (通常は教授の秘書) が5-6名であった。午前10-11時と午後3-4時の間は、建物4階のホールでのティータイムがあり、費用は二ヶ月に5ポンド (1984年は1ポンド \approx 315円程度) であった。この時間にはお茶のおばさんが来て、カウンターでカップを渡すと紅茶のサービスがある。紅茶と言っても、日本のように高級なものではなく、かなり濃いので私はカップに紅茶半分お湯半分を入れ、ミルクを注いで飲んでた。一度 Chris に「日本には紅茶にレモンを入れて飲むが」と聞くと、「それは高級な紅茶で、イギリスで普通飲まれているものは、ミルクをたっぷり入れないと飲めない」と言っていた。お昼は大学のスタッフクラブ (ここには学部生は入れない)、学生食堂、実験で昼の時間が過ぎたときは、近くのパブで食べていた。スタッフクラブではラガービールやサイダー (発泡性のリンゴ酒) も飲めた。私はアルコールに弱いので、Chris や Sue と飲むときは、シャンディ (ビールをジンジャーエールで割った飲み物) を頼んでいた。宿舎は大学の紹介所で選んだ、大学から歩いて20分程にあるキリスト教会の組織が運営する B&B であった。ここには女主人の Lavinia (女主人と言っても、若い未婚の女性で、その年の暮れには、彼女の結婚式があり、招待してくれた。そして次にきた女主人も、金髪の未婚の女性であった) がいて、食事の世話などをしてくれた。金曜日の夕食は、決まって Fish & Chips に豆を添えたもので、ピネガーかトマトケチャップをかけて食べた。これはキリストを偲んでの風習とのことであった。日曜日は、お昼に豪華なディナーで、夕食はサンドイッチと紅茶のいわゆるサパーであった。デザートには、Lavinia が焼いたぎっしり詰まったボリュームのあるケーキが出た。イギリスの食事は不味いと言われる。しかし、ローストビーフ、羊、ウサギ、カモなどの肉料理、キドニーパイ、フィッシュパイやソーセージパイなどのパイ料理、ヨークシャーピング、オニオンリング (玉ねぎの輪切りに衣を付けて炒めたもの、玉ねぎのてんぷら)、ベイクドビーンズ (大豆をトマトソースで煮たもので、必ずといっていいほど添えられる缶詰もの) など、どれも私の口にはよく合った。ただひとつライスピング (米をミルクと砂糖で煮た、どろりとした食感のデザート) だけは、最初は甘ったるくてあまり口に合わなかったが、食べるうちにおいしく感じるようになった。舌がイギリス料理に騙されたのかもしれない。

クリスマス近くになり, Chris や Sue とスタッフクラブのレストランで食べたクリスマスディナーは, 特においしかった. クリスマス休暇には B&B の Lavinia も実家へ帰るので, B&B は閉じられた. その間は, 大学の寮に滞在することにした. 数ヶ所に点在する大学の寮群のひとつ, 4 階建ての建物が数棟ある内の 4 階の一室を割り当てられた. 1 週間程の滞在に必要な衣類などとテレビ, フライパンなどを持って行った. その階に 50 室くらいあるが, イギリスの学生も郷里に帰るので, 留学生が数名いるのみで, がらんと静かであった. また Lavinia がクリスマス休暇中一人で過ごすのを心配して知り合いの家族を紹介し, クリスマスの日にその家庭を訪問するよう手筈を整えてくれた. ところが, クリスマス前日から風邪を引き, 当日朝断りの電話を入れた. イギリスの家庭のクリスマスディナーの機会を逸してしまい, 残念に思う.

このとき測定したアモルファス $Gd_{68}Cu_{32}$ の磁化を(2)式に従って解析すると, Invar では存在したスピン波以外の寄与 T^2 項が無く, 更にスピン波の高次の項も存在せず, かつ D の温度依存性も無い, 最も簡単なスピン波の第 1 項のみで表されることが分かった [12]. これは, アモルファス $Gd_{68}Cu_{32}$ の磁化が Gd に局在した $4f$ 電子のみに起因することを意味する. その磁化の温度依存性を示すために, スピン波の第 1 項の $T^{3/2}$ に対して図 4 のようにプロットすると, 直線で示す傾き ($D^{3/2}$ に比例) が磁場の増加に従って減少している. これは, 磁場によって D が増加することを表しているように見える. 当時, アモルファス遷移金属合金の磁化から求めた D_M が磁場とともに増加するという実験 [13-15] とそれを説明する理論 [16] が発表され, この現象は「アモルファス特有の性質ではないか」と言われていた. しかしこれは, Bose-Einstein 積分関数 (この関数は, 特に低温で磁場の寄与が大きくなる) の磁場依存性を無視した結果である. 図 5 のようにこの関数を考慮し $T^{3/2}$ との積に対して描くと, 1 T から 7 T までの磁場での磁化の温度変化が平行な直線上に並ぶ. これは, アモルファス合金においても, D は磁場により変化しないことを示し, これまでの解釈が間違いであったということになる.

イギリスに入国したときは 1 年間の滞在を予定していたが, Lee 先生の計らいで, 翌年 10 月までの 1 年半研究員としての大学からの許可が下りた. 翌年に入ってからビザ延長のため, サザンプトン港の税関に行くと, 「パスポートと書類を内務省に

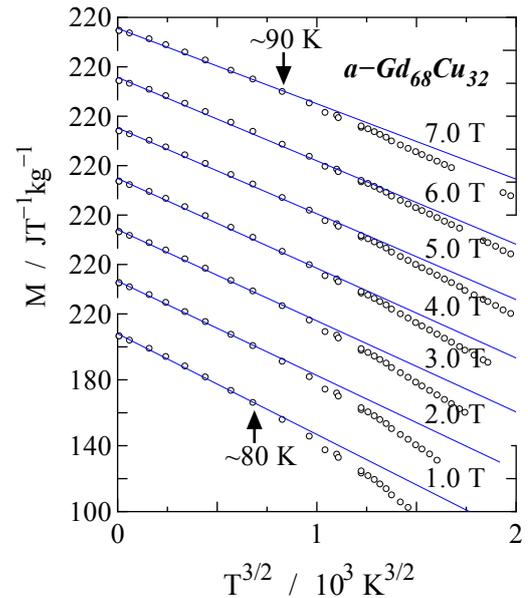


図 4. アモルファス $Gd_{68}Cu_{32}$ 合金の磁化の $T^{3/2}$ 依存性.

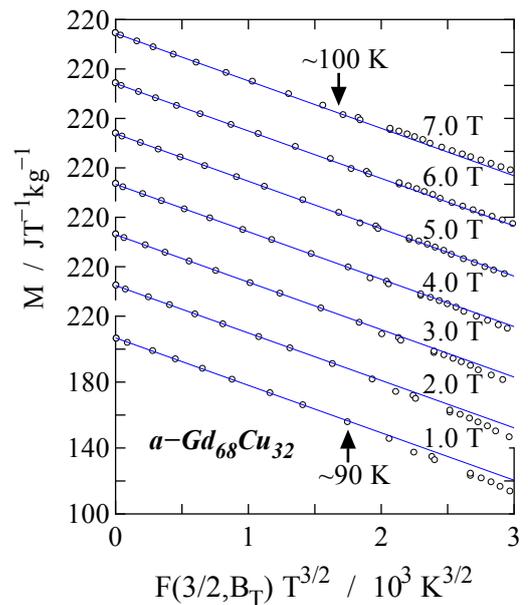


図 5. アモルファス $Gd_{68}Cu_{32}$ 合金の磁化の $F(3/2, B_T)T^{3/2}$ 依存性.

送るので, 2 ヶ月程度係る」とのことであった. 4 月のある日 B&B へ帰ると Lavinia から「明日警察に行くように, ビザのことだから安心して」と告げられた. 警察では, 外国人登録の延長ためと, パスポートの提示を求められた. 「パスポートは内

務省に送ったままでまだ手元にない」と伝えると、内務省に問い合わせた後「警察と内務省の連絡が不備で面倒を掛けた」との説明を受け、手続きは無事終了した。担当の方は、親切で丁寧な対応であった。しかしその後1ヶ月しても、パスポートは戻ってこなかった。そこで、夏休みにフランスへ行くかもしれないのでパスポートを送り返すよう内務省に手紙を書いた。すると1週間程で、半年間の延長許可のパスポートが送り返されてきた。当時イギリスでは北アイルランドのイギリスからの分離独立を目指すIRAによる爆弾テロがイギリス本土でも頻発していた。そのこととも関係するのかもしれないが、ビザ延長に4ヶ月間も係ったのは不思議であった。

1985年4月1日、4階ホールの掲示板に「Lee先生退職」と張り出された。誰もがエイプリルフールの悪戯と思っていたが事実で、「後進に席を譲る」ということで皆驚いた。その後研究室の2人のReader(准教授, イギリスの大学のポストは, Professor, Reader, Senior Lecturer, Lecturerの順)の教授職の審査があり, Brianが教授に昇進した。もう一人の候補者は, 直後にPolytechnic(現在は, 大学として再編されている)に移って行ったが, この出来事では何か厳しい世界を見せつけられたように感じた。その後も, Lee先生はパートタイムで大学に来られていた。

イギリスは紳士と泥棒の国と言われるが, 1年半の間には, 大学の駐輪場にチェーンキーを掛けて置いていた自転車が盗まれるという嫌な事もあった。しかし, B&BでLaviniaが開いてくれた私の誕生日パーティ, Lee先生や研究室の人達と行ったバーミンガムでの会議, 毎年夏休み研究室を訪れるスペインサラゴサ大教授のAugustin家族との夕食, 研究室にアメリカウエストバージニア大からサバティカルで来ていたArtとBarbara夫婦と行ったウインチェスター教会のクリスマスミサなど, 多くの友人に出会えた楽しいものであった。1985年10月ヨーロッパ便でロンドンからアムステルダムへ, アムステルダムからはイギリス行きのときのようにアラスカ経由ではなく, 成田への直行便で帰国した。

4. 教養部 (1988-1995)

イギリスから帰国し, 岡山大の研究室に行くと山田先生が入院していることを聞かされた。病室にお見舞いに行くと, 留学の感想を尋ねられた。

「行って大変よかった」と伝えると, うれしそうにしておられた。そのときは直ぐに退院されたのだが, その2年後お亡くなりになられた。

その数か月後の公募に応募し, 鳥取大教養部物理学教室から内定の電話があったのは, 1987年の暮れであった。年末の休みに鳥取大に打ち合わせのため訪れ, 逢坂豪先生と初めてお会いした。そのときは, 教養部物理学教室の状況, 予算や教育関係全般の説明を受けた。1988年3月末に鳥取に引越してきたとき, 大学の白浜宿舎を予約してくれていた。その部屋はしばらく誰も居住していなかったようで, 蜘蛛の巣が張り畳も傷んでいた。これではと思いすぐに民間のアパートを借り入居した。宿舎は1ヶ月借りたことになるので, その支払いに会計係に行くと, 1ヶ月で出た人は初めてだと驚かれた。前期が終了した頃, 石井晃先生がロンドン大から着任した。その後大内伊助先生が帝人から着任し, 物理学教室は4人体制となった。鳥取大に着任して暫くした頃, 逢坂先生に教育学部の橋本隆先生, 山岸正明先生, 安藤由和先生を紹介された。安藤先生は希土類化合物の磁性を研究されており, 私の研究とも近く, それ以後, X線回折装置やアーク炉などをお借りするなど主に私の方がお世話になるのだが, 懇意にしている。教養部では教育として, 半期に物理学の講義2コマと週3日午後にある物理学実験を担当した。

着任した当初は, イギリスで作製していた希土類アモルファス合金 $Gd_{65}Co_{35}$, $Gd_{67}Ni_{33}$ などの磁化の研究を始めた [17-19]。その磁化の解析から, これらの物質には磁気体積効果(低温での熱膨張の異常や強制体積磁歪)があるのではと思ひ, 学会でお会いした愛媛大の丹下初夫先生に, 熱膨張と強制体積磁歪の測定をお願いした。その結果, $Gd_{65}Co_{35}$, $Gd_{67}Ni_{33}$ とも, かなり大きな磁気体積効果が観測された。これはCoやNiの3d遍歴電子による磁気モーメントに起因することが判明した [20, 21]。これらの希土類アモルファス合金とこれまで研究してきた結晶質Fe-Ni Invar合金を含めた磁化について, 現象論的な局所磁化モデルを提唱した [19]。図6に模式図を示す。絶対零度0 K, 磁場 B 中での局所磁化 $M_L(B, 0)$ は, +スピンバンドと-スピンバンドの電子の差から決まる。有限温度 T での局所磁化 $M_L(B, T)$ は, バンド電子の差による「大きさ」の揺らぎ, すなわち縦揺らぎ $\Delta m_{||}$ (T^2 項) により $M_L(B, 0)$ から減少する。更に, その局所磁化 $M_L(B, T)$ の「向き」の揺らぎ, すなわち横揺らぎ Δm_{\perp} ($T^{3/2}$, $T^{5/2}$ 項) により減少し,

磁化 $M(B,T)$ として観測される。縦揺らぎは、Fermi-Dirac 統計に従う $3d$ 遍歴電子に起因する。他方、横揺らぎは、Bose-Einstein 統計に従う magnon の寄与である。これまで磁気体積効果は、磁気的体積が磁化 $M(B,T)$ の 2 乗に比例するとされていたが、これでは実験事実を説明できていなかった。そこで局所磁化モデルを基に、磁気的体積が $M_L(B,T)$ の 2 乗に依存するというモデルを提唱し、その有効性を議論した [20-23].

イギリスへ行く前の 1982 年に岡山大の前田裕宜先生が、この年完成した放射光施設 PF (Photon Factory, 当時は高エネルギー研究所, 現在の高エネルギー加速器研究機構) の放射光を使った XAFS (X-ray Absorption Fine Structure, X 線吸収微細構造) の勉強会 (関西 XAFS 研究会, 現在は日本 XAFS 研究会に統合) を立ち上げた。それに参加し、少しは XAFS の勉強を始めていた。これまで取り扱ったアモルファス物質の磁性は、構造と深く係っている。そこで鳥取大に着任して新しく何の研究をするかを考えたとき、長距離秩序を持たないアモルファス相の局所構造を知る有効な手段である XAFS を使っての構造研究を本格的に始めることにした。測定は PF での前田先生の実験に同行して一から教わっていたので、一人でどう

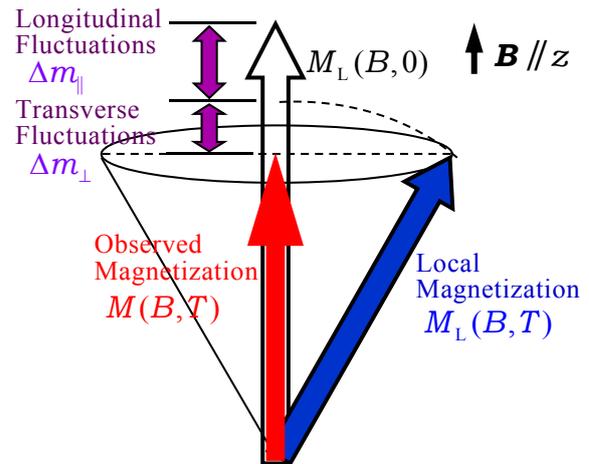


図 6. 局所磁化モデルの模式図。
局所磁化の大きさ (縦揺らぎ) と向き (横揺らぎ) が変化する。

にかできるようになっていたが、解析手法については全くの素人であった。そこで鳥取大に着任した 1988 年の夏休みに前田先生にお願いして 1 週間ほど岡山に滞在し、一から手解きを受けた。夜は岡山大の宿舎に泊まったが、毎晩夕食は先生の

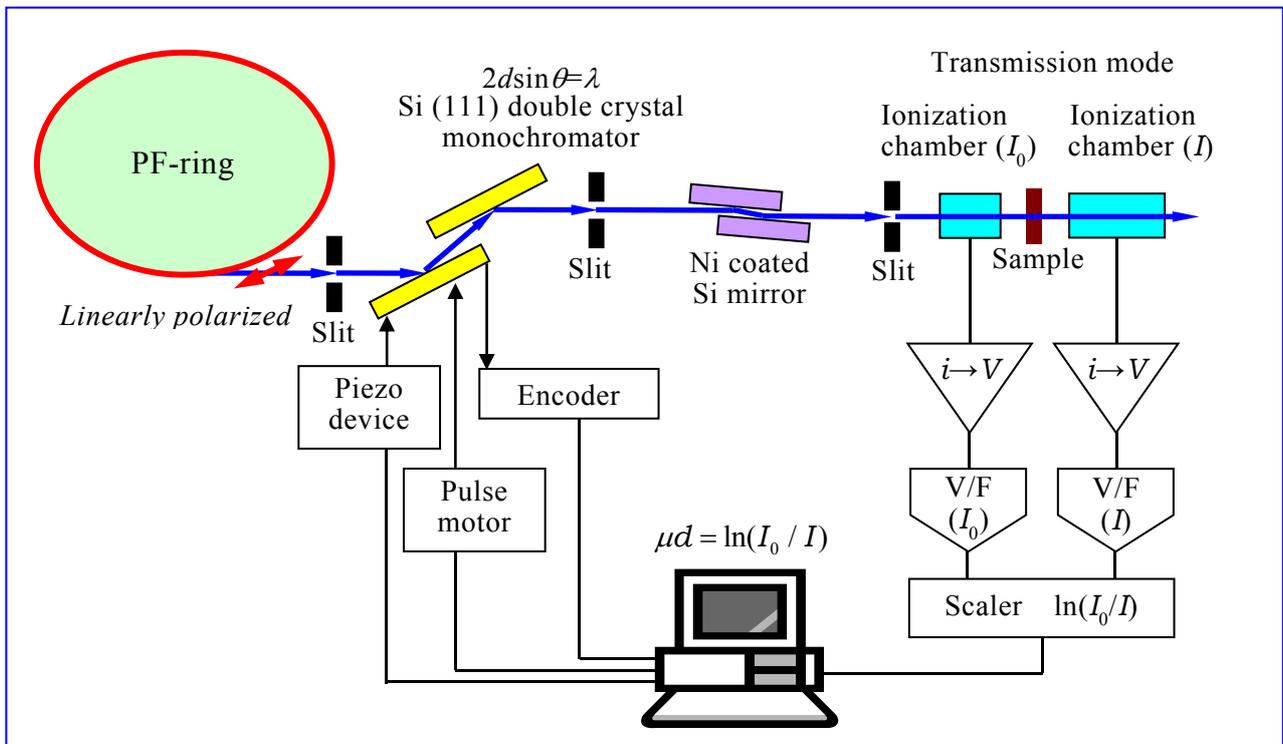


図 7. XAFS 測定系の概略.

お宅で奥様の手料理をご馳走になった。この頃 PF に課題申請をしていたが、当初マシンタイムは配分されなかった。ところが、翌年の1月末に PF の XAFS ビームライン担当の野村昌治先生から電話があり、「6時間ならマシンタイムが空くが実験する意思はあるか」との幸運な申し出があった。即答で実験の希望を伝え、2月初めに私自身の初めての実験が実現した。当時は智頭急行もなく、急行「砂丘」で3時間程かけて岡山へ、新幹線で東京、東京からバスでつくば市と、鳥取を朝出て夕方に PF に着くという行程であった（当時は飛行機という選択肢はあったが、飛行機を利用した場合 PF から旅費が支給されなかった）。今は飛行機を利用して、当時の半分程の5時間弱で行くことができるようになった。

教養部では研究室に学生がいないので、安藤先生達の計らいで教育学部の学生を何回かは PF の実験に連れて行ったが、それ以外は大内先生と二人での実験だった。PF では土曜日の夜から日曜日にかけて食堂が閉まるので、PF 外に食べに行くかなければならなかった。そのため大内先生は横浜の家から車で来てくれた。時間が合うときは、東京駅で拾ってもらい、また帰りも東京まで送って頂いた。大内先生ご夫婦とは、1992年の北京での国際会議にも同行させて頂き、今では懐かしい思い出である。

1991年9月にはスコットランドのエディンバラで3年に1度の磁気国際会議が開催された。その機会を利用して、8-9月の2ヶ月間、再度 サザンプトン大の Brian の研究室に滞在し、Lee 先生とも再会できた。実験室も装置が配置換えされ、新しく 10 T の VSM が導入されていた。会議の間は、磁化測定やアモルファスリボンの作製を行い、慌ただしいが楽しい夏休みであった。

図7は、XAFS測定系の概略である [24]。蓄積リングから出てくる放射光は、周回面内に直線偏光した連続エネルギーをもつ電磁波である。この光を2結晶モノクロメーターで単色化する。ただし、例えば Si (111)反射を使って単色化する場合、Bragg の式 $2d\sin\theta=\lambda$ （ここで、 d は結晶面間隔、 θ は Bragg 角、 λ は反射光の波長）に従うと、 $\lambda/3$ の3次光も(333)反射によって同じ角度でモノクロメーターを通過する。この高次光は、XAFS 信号のノイズの原因になる。この高次光を除去するため、次の2つの方法がある。Si(111)反射に比べて Si(333)反射の全反射幅は1桁小さいので、モノクロメーターの2つの結晶を平行な状態から少しずらす (detune) ことで、1次光に比べ3次光の強度

を低減できる。もう一つは、表面を Ni または Rh で被覆した全反射ミラーを用いる方法である。このミラーには、上下方向にビームを集光する役割もある。光の経路の途中にはスリットを配置し、光を整形する。最終的にサイズ 1x1 mm 程度の単色化された X 線を、試料に照射する。このとき試料前後の X 線の強度 (I_0, I) をイオンチェンバーで計測し、試料の X 線吸収量 $\ln(I_0/I)$ を検出する。

図8のように XAFS は、電子を空軌道に励起することで電子状態を観測する XANES (X-ray Absorption Near Edge Structure) と、原子を飛び出した電子波の干渉を利用し 6 Å 程度までの局所構造を計測する EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure) に分類される。図9は、図8の酸

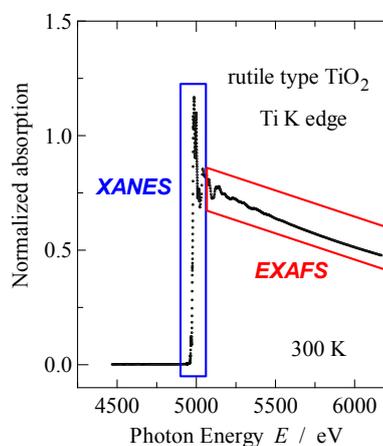


図8. 酸化物 TiO_2 の Ti K 吸収端での XAFS スペクトル。

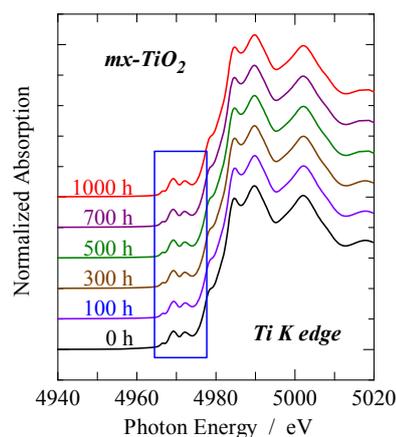


図9. 酸化物 TiO_2 の Ti K 吸収端での XANES スペクトルのミリングによる変化。

化物 TiO_2 をミリングしたときの Ti K 端近傍の XANES スペクトルを示している。この図の四角の部分拡大したのが、図 10 である。これを、次の (3) 式に従って分離した。

$$\mu(E) = \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctan \left(\frac{E - E_c}{\Gamma/2} \right) \right] + \sum_i I_i \exp \left\{ -\frac{2(E - E_i)^2}{W_i^2} \right\} \quad (3)$$

右辺の第 1, 第 2 項は $1s$ から連続帯への遷移 (エネルギー差 E_c) を表す (赤色のベースライン)。ここで、 Γ は内殻にできるホールの寿命、 W は Gauss 関数の半値幅である。図 10 に示すように、4 つの成分 A_1, A_2, A_3 と B に分離できる。 A_1, A_2, A_3 は $1s$ から $3d$ 軌道への遷移を示し、各々 t_{2g} 状態への 4 重極遷移、 $3d-4p$ 混成状態への双極子遷移、 e_g 状態への 4 重極遷移に対応する。B は $4p-4s$ 状態への双極子遷移である [25, 26]。このように、ミリングによる各電子状態の特徴を検出した [27]。この TiO_2 の例は、酸化物でもミリングによって状態が変化することを示している。また Ti-O 原子間距離のミリングによる増加も観測している。

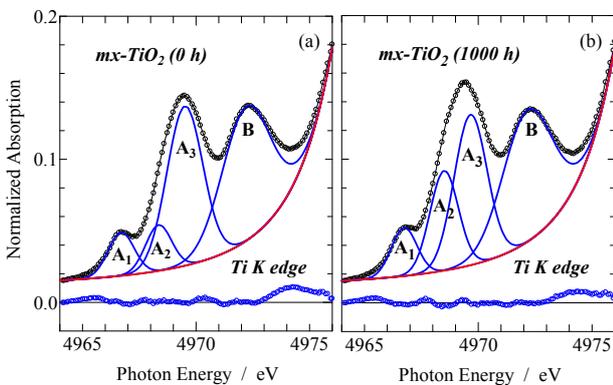


図 10. 酸化物 TiO_2 の Ti K 吸収端の XANES スペクトル。

(a)ミリング前と(b)1000 h のミリング後のピーク A_2 と A_3 の違いが、顕著に表れている。

5. 工学部 (工学研究科) (1995-2015)

1995 年には教養部が改組され、工学部電気電子工学科に大内先生と共に移籍し、量子物性工学研

究室を立ち上げた。逢坂先生と石井先生は新しくできた応用数理工学科に移った。工学部では教養部のときより講義と学生実験に取られる時間は減ったが、その代わり学科での役割や委員会に割く時間が増えた。大内先生は電気電子に移って 2 年後の 1997 年 3 月に退職され、その後徳島文理大に移られた。それから、先生の専門である PET (polyethylene terephthalate) や PEN (polyethylene naphthalate) の真空紫外光実験で岡崎市の分子科学研究所 UVSOR には、お手伝いのため一緒した。UVSOR には 10 数回はお世話になったが、大内先生が徳島文理大を退職されてからは行かなくなった。2003 年からは、市野邦男先生と共に電子材料工学研究室を担当した。

電気電子工学科は、他に先駆けて教育改革を行ってきた。それを実施するため、2000 年に教育改革委員会 (当初の名称は、教育システム検討委員会であった) が組織された。その一環として、2003 年度に JABEE に申請することが決まった。JABEE 認定学科になるためには、自己点検書の作成と実地審査を経なければならなかった。その自己点検書の作成は、委員長の大北先生と作業部会の岸田先生、伊藤先生と私に当てられ、4 月から作業に取り掛かった。これまで学科で行ってきた教育全般の資料集めや自己点検書の作成のために、4 階の教員室 2 つを JABEE 作業専用を使用した。当時はまだ研究室が共通教育棟にあったので、講義以外の時間は、午前午後とも 4 階に詰めて、7 月の完成までの 3 ヶ月間、日中研究は中断して作業を行った。学科の全員が協力して 10 月の実地審査を乗り越え、JABEE 認定学科となった。2 年後の中間審査を経て、2008 年には次の継続審査を受けた。このときは委員長として、自己点検書の作成や実地審査の全般を受け持った。この一連の教育改革の取り組みを通して、私自身も「教えること」への向き合い方や大切さを学んだように思う。

工学部に所属してからは学生の研究指導も兼ねて、教養部のときに特定研究予算で購入していたミリング装置を本格的に使って、構造相変態の研究を始めることにした。対象とする物質としては、酸化物よりもミリングの効果の顕著な金属粉末を用いた。代表的なミリング装置には、「コーヒークップ型」、「餅つき型」と「揺りかご型」がある。購入していたのは、図 11 に示す「揺りかご型」の装置である。この装置の特徴は、雰囲気下でのミリングができ、また水冷することで機械的衝撃による発熱を抑えられるので、連続運転が可能なことである。

この装置を使い、ZrとNiの金属粉末（1:1の原子比）をステンレスボール（直径約10mm）とともにステンレス製の容器に入れ、Ar雰囲気中でミリングを行った [28]。図12は、そのZrNiのX線回折パターンである。ミリングが進むにつれて、各ピークの強度は減少し、半値幅は大きくなる。これは、ミリングにより試料粉末の結晶子サイズが減少していることを示している。50h以上では約40°あたりのブロードなピークのみで、アモルファス相に変態したと考えられる。このときメイン反射であるNi(111)とZr(101)の強度のミリング時間依存性は、図13のようになる。実線のように、時間に対する対数関数で表現できる。これは、

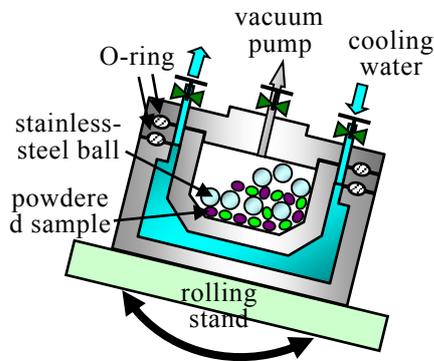


図11. ミリング装置（揺りかご型）の概略。容器内にボールと金属粉末を入れ、容器台を左右に揺らす。

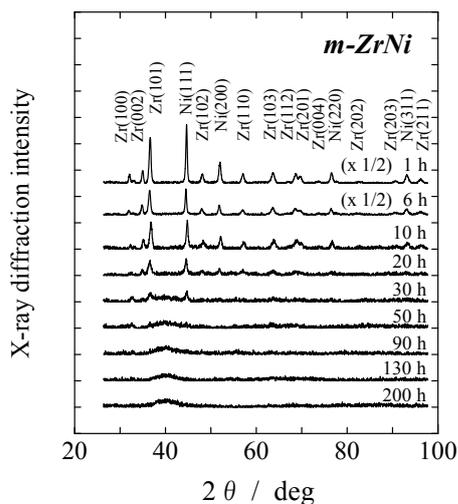


図12. 金属粉末 ZrNi のミリング時間に対する X 線回折パターン。

ミリングにより原子の相互拡散において、ランダムな値のエネルギー障壁を越えてアモルファス相に変態するためであると考えられる。図14には、ミリング時間130hでのZrNi金属粉末の写真を示す。平均粒径約20μmとなっている。この試料の合金化の過程を調べるために、EXAFSを測定した。重み付きのEXAFSシグナル $k^3\chi(k)$ は、次の(4)式で表される。

$$k^3\chi(k) = \sum_j A_j(k) \sin[2kR_j + \delta_j(k)] \quad (4)$$

ただし

$$A_j(k) = \frac{N_j k^2}{R_j^2} |f_j(k, \pi)| \exp[-2\{\sigma_j^2 k^2 + R_j / \lambda(k)\}]$$

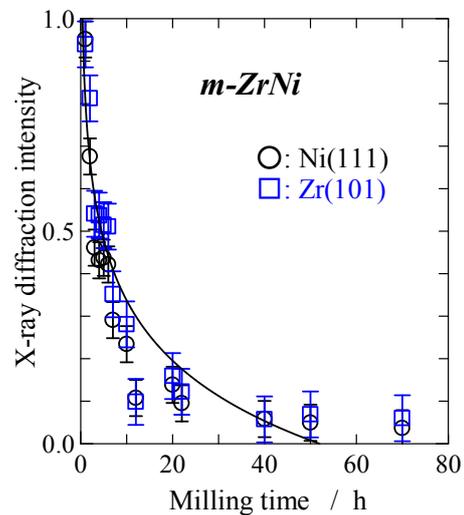


図13. ZrNi のミリング時間に対する Zr と Ni のメイン反射 Ni(111) と Zr(101) の強度。実線は時間の対数関数を表す。

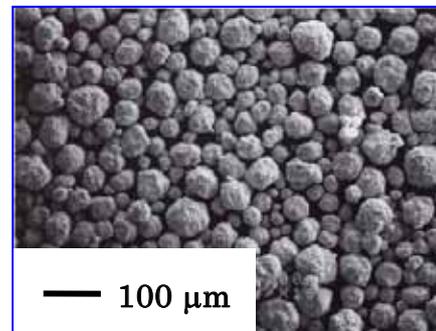


図14. 130 h のミリング後の ZrNi 粉末。平均粒径は約 20 μm となる。

ここで、 k は波数ベクトルを表す。 N_j は j 番目の原子の配位数、 R_j は X 線吸収原子と j 番目の原子間の平均距離、 σ_j は j 番目の原子の Debye-Waller 因子である。これらをパラメータとして求めるとき、 j 番目の原子の後方散乱振幅 $f_j(k, \pi)$ 、光電子の平均自由行程 $\lambda(k)$ 、 j 番目の原子の位相シフト $\delta_j(k)$ は、理論プログラム FEFF 8.4 [29] の計算値を用いる。 N_j は $\pm 10\%$ 程度、 R_j は $\pm(0.005-0.010)$ Å の精度で決定できる。(4)式を Fourier 変換して、次の動径構造関数 $\Phi(R)$ が得られる。

$$\begin{aligned} \Phi(R) &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{k_{\min}}^{k_{\max}} W(k) k^3 \chi(k) \exp[-i2kR] dk \\ &= \text{Re}[\Phi(R)] + i \text{Im}[\Phi(R)] \\ |\Phi(R)| &= \sqrt{\{\text{Re}[\Phi(R)]\}^2 + \{\text{Im}[\Phi(R)]\}^2} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $W(k)$ は Hanning 窓関数で、有限の k の範囲 ($k_{\min} \sim k_{\max}$) で Fourier 変換を打ち切る影響を低減している。図 15 は、メカニカルミリングした ZrNi の Zr K 吸収端での $\Phi(R)$ で、Zr 原子周りの様子を示している。ミリング前には、Zr 原子の周りの 3.2 Å の位置に Zr 原子のみがある(ただし、原子間の位相シフトを考慮していないので、図の横軸は実際の距離とは多少異なる)。ミリング時間 40 h 後は、2.5 Å の位置に新たなピークが現れる。これは Zr-Zr 原子間距離よりも近い位置に Zr-Ni 結合ができたことを示し、Zr と Ni の混合粉末間で原子の拡散により、合金化したことを表してい

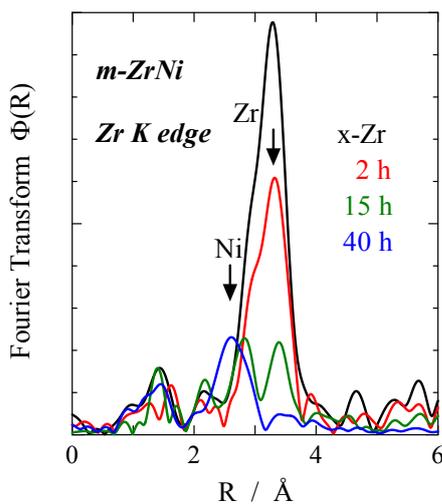


図 15. メカニカルミリングした ZrNi の Zr K 吸収端での動径構造関数。

る。このように、EXAFS は 6 Å 程度までの局所構造を知る有力な測定技術である。

工学部に所属してからの 10 年余りは、一部放射光による XMCD (X-ray Magnetic Circular Dichroism, X 線磁気円二色性) の磁性研究も行っていたが [30], 相変態についての構造的研究が中心であった。暫く遠ざかっていた磁性の研究に再度戻る転機は、最近盛んになったスピントロニクスの一分野としての希薄磁性半導体の研究に出会えたからである [31]。この希薄磁性半導体は、強磁性と半導体の両方の特性をもち、磁気メモリーなどのデバイスへの応用が期待される物質である。その強磁性は、実用上室温以上で実現する必要があるが、遷移金属を添加した酸化物が室温以上の T_c をもつことが発見され、希薄磁性半導体として有力な候補となっている [32]。しかし、この希薄磁性半導体酸化物での室温強磁性の発現機構は、未解決の問題として残されている。この強磁性の発生には、1) 構成原子が磁気モーメントを持つ、2) その磁気モーメントが強磁性的に結合するという 2 つの要素が不可欠である。1) の磁気モーメントは遷移金属を添加することで達成できる。一方、2) の磁気モーメント間の強磁性的結合を保持するためには、n 型半導体の場合、結合を媒介する半導体中のキャリアとしての電子とその電子を適当な範囲に捕捉するための酸素空孔が必要となる [33]。しかし、これまで、その酸素空孔の存在を直接観測した例は無かった。そこで、その酸素空孔を XAFS で観測することを目指して研究を

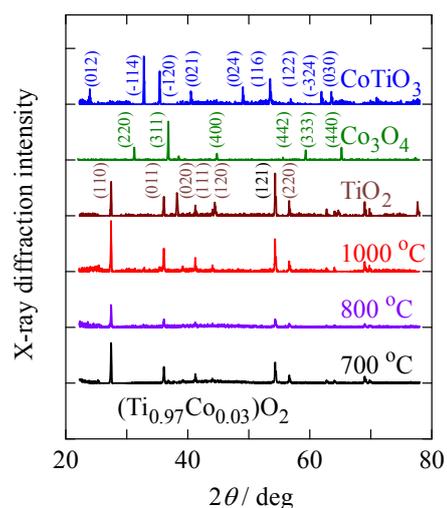


図 16. $(\text{Ti}_{0.97}\text{Co}_{0.03})\text{O}_2$ の各焼成温度での実験室系の X 線回折パターン。

始めた [34]. 母体酸化物としては, 多くの先行研究がある rutile 型の TiO_2 (空間群 $\text{P}42/\text{mnm}$) を用いることにした. 添加遷移金属元素としては Co を採用し, 金属元素クラスターの生成を避けるため, 原材料として酸化物 Co_3O_4 を用いた. これらをミリング混合し, 固相反応法で $(\text{Ti}_{0.97}\text{Co}_{0.03})\text{O}_2$ を作製した. 図 16 には, この試料に回転対陰極 X 線源 (50 kV, 300 mA) からの $\text{Cu K}\alpha$ 線を照射したときの粉末 X 線回折パターンを示す. この図からは, 焼成温度 700 °C, 800 °C と 1000 °C のいずれでも

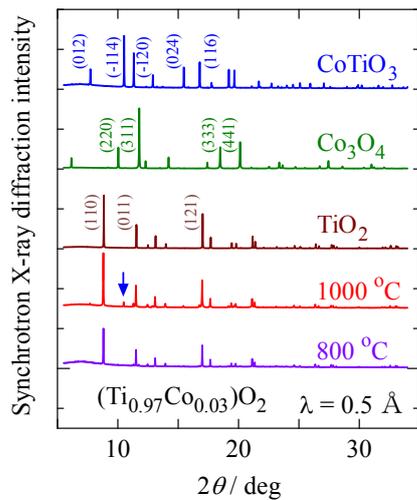


図 17. $(\text{Ti}_{0.97}\text{Co}_{0.03})\text{O}_2$ の各焼成温度での放射光 X 線回折パターン.

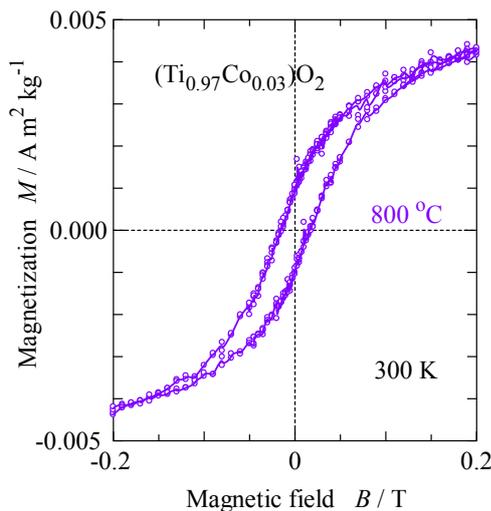


図 18. $(\text{Ti}_{0.97}\text{Co}_{0.03})\text{O}_2$ の室温での磁化曲線. 強磁性の特徴であるヒステリシスが観測される.

rutile 構造単相の試料ができていているように見える. しかし SPring-8 での放射光 (波長 $\lambda=0.5 \text{ \AA}$) を使った粉末 X 線回折で測定すると, 図 17 に示すように, 焼成温度 1000 °C のパターンの矢印の角度に, ilmenite 構造をもつ CoTiO_3 (空間群 $\text{R}-3$) のメインピーク (-114) が現れている. 従って, 一部 ilmenite 相が析出し rutile 単相ではないと判明した. 一方, 焼成温度 800 °C の試料は, rutile 単相と断定できる. 図 18 は, 焼成温度 800 °C の試料の 300 K での磁化曲線である. ヒステリシスが観測されることから, 強磁性と確認できる. 図 19 は, この試料の Ti K 端での動径構造関数である. 第 1, 第 2, 第 3 ピークは, 各々 Ti 原子周りの第 1 近接の O 原子, 第 1, 第 2 近接の Ti 原子を示す. ピー

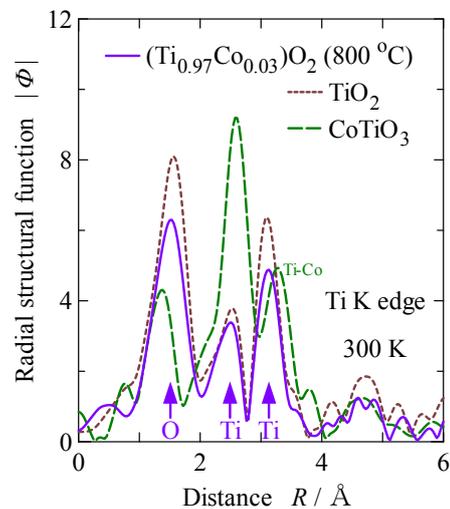


図 19. $(\text{Ti}_{0.97}\text{Co}_{0.03})\text{O}_2$ の Ti K 端の動径構造関数.

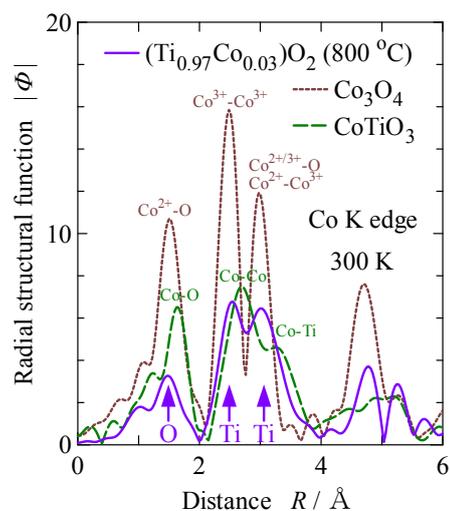


図 20. $(\text{Ti}_{0.97}\text{Co}_{0.03})\text{O}_2$ の Co K 端の動径構造関数.

ク的位置、形状とも rutile 構造の TiO_2 に酷似し、ilmenite 構造の CoTiO_3 とは異なる。一方、図 20 の Co 原子周りの様子を示す Co K 端の動径構造関数では、 $(\text{Ti}_{0.97}\text{Co}_{0.03})\text{O}_2$ は ilmenite 構造の CoTiO_3 とともに spinel 構造の Co_3O_4 と異なり、図 19 の rutile 構造の TiO_2 に似ている。しかし、最近接 O 原子のピークが小さくなっている。rutile 構造の TiO_2 では、Ti の周りには 6 個の O 原子が配位 (6 配位) している。図 20 の $(\text{Ti}_{0.97}\text{Co}_{0.03})\text{O}_2$ を EXAFS の (4) 式に従って解析すると、Co 周りの O 原子数は 3.3 と 6 配位より減少していることが判明した。これは Co 原子周りだけ酸素空孔が 2-3 個存在することを意味している。 Ti^{4+} に $\text{Co}^{3+/2+}$ が置換すると、電気的中性を保持するために、酸素空孔ができると考えられる。このように、EXAFS により $(\text{Ti}_{0.97}\text{Co}_{0.03})\text{O}_2$ の酸素空孔の存在を直接実験的に証明した。

1992 年の北京で国際会議のとき、アモルファス合金の研究をしている忠北大 (韓国清州市) の Yu 教授と知り合った。1996 年には Yu 教授のお弟子さんで XAFS を研究している Yang 博士を、2000 年には Yu 教授を鳥取に招待した。2002 年には、私が Yu 研究室を訪問した。そのとき大学の正門に掲げられた横断幕を見て、鳥取市と清州市とが姉妹都市であることを知った。その後も Yang 博士は、PF や SPring-8 での実験に訪れ、共同研究が続いている [35, 36]。

教育地域学部の安藤先生から、内モンゴ師範大 (中国、呼和浩特 (フフホト) 市) から来ている修士課程の留学生在が博士課程に入りたいという話があった。それで、私が引き受けることにした。2006 年 8 月の入試の日が丁度、京都で開催の磁気国際会議中であつた。それで 1 日だけ会議を抜け出し鳥取で面接に立ち会った後、会議に戻った。その年の暮れには、その学生、李英杰 (リインジェ) さんを PF に同行し、実験方法を覚えてもらった。彼女のテーマとして選んだのは、共同研究をしていた室蘭工業大の村山茂幸先生から借りたアモルファス Ce-Ru 合金の XAFS による構造的な研究である [37]。彼女は 3 年間で学位を取り、その翌年は 1 年間研究員として鳥取大に滞在した。今は内モンゴ師範大の講師になり、Tegus 先生の研究室に所属している。その後も毎年 PF に来て、熱電材料の XAFS 実験を共同で行っている [38]。2012 年には XAFS 国際会議が北京であつた。会議後の機会に Tegus 先生の研究室を訪問した。北京の空は晴れの日でもスモッグでどんよりと澱んでいたが、対照的にフフホトの空はどこまでも続く青空であ

つた。今年の 12 月にも、李さん、Tegus 先生達といっしょに、PF での実験を行うことにしている。

これまでの研究生活では、そのときそのときで多くの方と共同で研究させて頂いた。最も長く今も共同研究しているのは、愛媛大の栗栖牧生先生で、先生が北陸先端大におられた 1990 年代中頃からである。私は学位を広島大の藤原浩先生のところから頂いたが、広島大出身の安藤先生の紹介で同じ出身の栗栖先生と知り合い、これまで親しくお付き合いさせて頂いている。

愛媛大には 5 T の SQUID (Superconducting quantum interference device, 超伝導量子干渉磁束計) があり、最近には主に希薄磁性半導体の磁化測定をお願いしている。当初は酸化物母体を TiO_2 で始めたが、現在はその酸化物母体を 4 価の SnO_2 , ZrO_2 , 2 価の ZnO , NiO , 3 価の In_2O_3 , Y_2O_3 などと変えて、その磁性と構造を調べている。やりたいことが次々と出てきて、この研究をもう少し早く始めていればと今になって思う。

6. 結びに向けて

これまで、1982 年に完成した PF には 50 回以上、1997 年に完成したもうひとつの放射光施設 SPring-8 には 20 回以上通ったことになる。これまで利用させて頂いた PF や SPring-8 などの学外の施設の多くの方々にもお世話になった。1980 年代の PF の実験では測定用の PC が SORD 製で、8 インチフロッピーディスクに保存し持ち帰ったデータを変換する必要があった。その変換のとき、誤って 1 日分のデータをだめにしたこともあった。また PF の変電施設に雷が落ち、いくつかの電磁石が故障して実験が中止になったことや、真夜中に測定系が不具合を起し朝まで復旧に係りマシンタイムが無くなったことなど、色々失敗もあった。そんな失敗を繰り返しながら、どうにかこれまでやってこることができたのは、幸運なことかもしれない。

大学院に入ってからこれまで、40 年余りの研究生活とその時々のある出来事を、思いつくままに綴った。退職をひとつの区切りとして、このように振り返ることは、意義深いと感じる。若いときの留学経験は、それ以後のものを見方、考え方を含めて私の人生に大きな影響を与えたと思う。若い人にもぜひこの経験をしてもらいたい。総じてこれまでの教育と研究で学んだことは、忍耐であつたように思う。その時々によって失敗したことは、

今ではよい思い出である。しかし、やらずに過ごしたことは、後悔として残る。

参考文献

- [1] C. E. Guillaume, *Compt. Rend.* **125** (1897) 235.
- [2] S. Chikazumi, T. Mizoguchi, N. Yamaguchi and P. Beckwith, *J. Appl. Phys.* **39** (1968) 939.
- [3] *Physics and Applications of Invar Alloys* (edited by H. Saito, Maruzen Co. Ltd., Tokyo, 1978).
- [4] I. Nakai, F. Ono and O. Yamada, *J. Phys. Soc. Jpn.* **48** (1980) 1105.
- [5] F. Keffer, *Spin Waves in Handbuch der Physik*, 18/2 (Springer-Verlag, Berlin, 1966).
- [6] I. Nakai, *J. Phys. Soc. Jpn.* **52** (1983) 1781.
- [7] I. Nakai, F. Ono and O. Yamada, *J. Phys. Soc. Jpn.* **52** (1983) 1791.
- [8] I. Nakai, O. Yamada, M. Mimura, S. Ishio and M. Takahashi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **56** (1987) 4056.
- [9] E. C. Stoner, *Rep. Prog. Phys.* **11** (1946) 43.
- [10] T. Moriya and A. Kawabata, *J. Phys. Soc. Jpn.* **34** (1973) 639. *ibid.*, **35** (1973) 669.
- [11] *Magnetic Properties of Metals: d-Elements, Alloys and Compounds* (edited by H.P.J. Wijn) in *Data in Science and Technology* (Springer-Verlag, Berlin, 1991) p. 28.
- [12] I. Nakai, C.A. Cornelius, S.H. Kilcoyne, E.W. Lee and B.D. Rainford, *J. Phys. Soc. Jpn.* **57** (1988) 2506.
- [13] G. Hilscher, R. Haferl, H. Kirchmayr, M. Muller and H.J. Guntherodt, *J. Phys.* **F11** (1981) 2429.
- [14] R. Krishnan, M. Dancygier and M. Tarhouni, *J. Appl. Phys.* **53** (1982) 7768.
- [15] R. Krishnan, K.V. Rao and H.H. Liebermann, *J. Appl. Phys.* **55** (1984) 1823.
- [16] T. Kaneyoshi, *Phys. Status Solidi (b)* **118** (1983) 751.
- [17] I. Nakai and T. Fukagawa, *J. Phys. Soc. Jpn.* **62** (1993) 2456.
- [18] I. Nakai, *J. Phys. Soc. Jpn.* **63** (1994) 4550.
- [19] I. Nakai, *J. Phys. Soc. Jpn.* **64** (1995) 588.
- [20] I. Nakai, H. Tange and T. Ono, *Physica* **B237-238** (1997) 520.
- [21] I. Nakai, H. Tange, K. Konishi, T. Kamimori, A. Chikazawa and Y. Motegi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **72** (2003) 1184.
- [22] O. Yamada and I. Nakai, *J. Phys. Soc. Jpn.* **50** (1981) 823.
- [23] I. Nakai and O. Yamada, *J. Magn. Magn. Mater.* **31-34** (1983) 103.
- [24] M. Nomura and A. Koyama, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* **A467-468** (2001) 733.
- [25] J.C. Parlebas, M.A. Khan, T. Uozumi, K. Okada and A. Kotani, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **71** (1995) 117.
- [26] Y. Joly, D. Cabaret, H. Renevier and C.R. Natoli, *Phys. Rev. Lett.* **82** (1999) 2398.
- [27] I. Nakai, A. Hattori, T. Ishii and Y.J. Li, *J. Phys. Conf. Ser.* **430** (2013) 012084.
- [28] I. Nakai, Y. Shibai and Y. Murakami, *J. Synchrotron Rad.* **8** (2001) 815.
- [29] A.L. Ankudinov, A.I. Nesvizhskii and J.J. Rehr, *Phys. Rev.* **B67** (2003) 115120.
- [30] I. Nakai, H. Tanaka, A. Kitabatake, J. Fukuoka, S. Yamada and N. Ohnishi, *J. Magn. Magn. Mater.* **310** (2007) 1868.
- [31] H. Ohno, H. Munekata, T. Penney, S. von Molnár and L.L. Chang, *Phys. Rev.* **68** (1992) 2664.
- [32] Y. Matsumoto, M. Murakami, T. Shono, T. Hasegawa, T. Fukumura, M. Kawasaki, P. Ahmet, T. Chikyow, S. Koshihara and H. Koimura, *Science* **291** (2001) 854.
- [33] J.M.D. Coey, M. Venkatesan and C.B. Fitzgerald, *Nature Materials* **4** (2005) 173.
- [34] I. Nakai, M. Sasano, K. Inui, T. Korekawa, H. Ishijima, H. Katoh, Y.J. Li and M. Kurisu, *J. Korean Phys. Soc.* **63** (2013) 532.
- [35] D.S. Yang, S.C. Yu, W.T. Kim, I. Nakai and I. Ouchi, *J. Phys. Soc. Jpn.* **66** (1997) 1822.
- [36] D.S. Yang, H.M. Park and I. Nakai, *Physica Scripta* **T115** (2005) 240.
- [37] Y.J. Li, N. Ohnishi, I. Nakai, Y. Amakai and S. Murayama, *J. Phys. Soc. Jpn.* **78** (2009) 094717.
- [38] Y.J. Li, B. Huiyageqi, W. Haschaolu, Z.Q. Song, O. Tegus and I. Nakai, *J. Electr. Spectr. Rel. Phenom.* **196** (2014) 104.

(受理 平成 26 年 11 月 7 日)

鳥取大学工学部物質工学科におけるセラミックス系研究室のあゆみ
－ 機能性セラミックス材料の発展 －

江坂 享男

鳥取大学大学院工学研究科化学・生物応用工学専攻

Prospect and Development of Functional Inorganic Materials

Takao ESAKA

Department of Chemistry and Biotechnology,

Graduate School of Engineering, Tottori University,

Tottori, 680-8552 Japan

E-mail: tko_esaka@chem.tottori-u.ac.jp

Abstract: To develop high performance solid ionic conductors, various kinds of compounds and solid solutions have been prepared and the relations between their crystal structures and conductivities have been studied. Here, the prospect and development of the solid ionic conductors were mentioned especially focusing on the 38 year's results by the present author's laboratory together with the innovative experimental methods.

Keywords: Solid state ionics, Ionic conductor, Solid electrolyte, Solid oxide fuel cell, Neutron radiography

1. はじめに

確か2000年のセラミックス協会記念誌に研究室紹介を兼ねたこれまでのあゆみを投稿し、”部屋の壁には各コーナーに5ミリ幅もある長い亀裂が入り、JRの高架橋ではないが高度成長期にできたコンクリート建造物の経年変化の激しさを物語っている。この部屋の住人も私で2代目となり既に10年以上過ぎた。本当に月日の過ぎるのは速いものである。”と書いた。現在では建物が耐震補強で改修され、冷暖房完備で快適である。すべて思い通りになったわけではないのだが、長年いるといいこともあるのだなと感じている。

さてこの間の研究室のあゆみを紹介しようとするのが本稿の目的である。過去の歴史を学生の名前と顔を思い出しながら個々に振り返って郷愁に浸るのもいいかもしれない。しかしそうすることでは編集委員会の執筆依頼の意向に添うことにならない気がする。したがってここではそれを踏まえつつ、この分野の発展に関する特徴的

な研究内容とともに工学部でセラミックスを扱ってきた当研究室に関するこれまでの研究を紹介することとする。

2. 物質工学科無機材料化学研究室

当該研究室は、現在江坂一人が担当している。2012年までは南条准教授と高井助教、更にそれ以前の2005年までは坂口助教授と高井助手を含めてグループを組んでいた。この研究室は改組前の資源循環化学科資源化学研究室(岩原教授、江坂助教授、内田助手)の流れを汲むものである。長年、省資源・省エネルギーを目指した機能性材料開発とその応用をテーマとして選んで研究と教育活動を行ってきた。この中でのセラミックスに関する研究として第一に挙げることができるものに、電気伝導性セラミックス材料、特にイオン伝導性材料の開発がある。これは、それらの導電性セラミックスが燃料電池、リチウム電池、ガスセンサー、ガス分離などに応用できるこ

とを考えたものである。

3. イオン伝導材料の設計

固体中をある程度自由にイオンが動き回り、これに電場をかけるとそのイオンによる導電性が現れるものはイオン伝導体と言う。このうち特に高いイオン伝導性を示すものは固体電解質と呼ばれる。固体化学者にとって、自分の注目している機能を発揮する固体電解質を自由に設計し合成することは、大きな夢であり願望でもある。もうかなり前になるが日本化学会から”機能性セラミックスの設計”と題する本が刊行されているのも、このことを勘案したものであろう。イオン伝導体に関する論文や研究発表の数は近年も衰えることはなく、一部非常にマニアックなものもあるが、その内容も基礎理論から応用まで多種多様となっており、このものがいかに広い分野において関心を持たれ続けているかを示している。さて高いイオン伝導性をもつ新規な固体のイオン伝導性を合成しようとするとき、どのようなことに注目したらよいのであろうか。これにはこれまでの研究経緯とその成果をたどってみる必要がある。

イオン伝導体の本格的な研究は、1960年代初めの安定化ジルコニア系酸化物イオン伝導体に始まり、これに銀イオン伝導体、ナトリウムイオン伝導体の開発などが続いた。そして今なお将来の機能性材料としての期待から、たくさんの研究者によって研究開発が進められている。しかしながら、注目する化合物中で意図したイオンを自由に動かすことができるかと言うと、そうでない場合が多い。既に述べたようにこのようなイオン伝導体に関する総説類はこれまでも出されているが、以下にはまず、酸化物の導電体合成に関して私自身が注目している話題的事項について概説する。

新しい導電体の設計という意味では、まずβ-アルミナ類には注目しなければならない(図1)。Naβ-アルミナは $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ の一般式で表され、酸素の密充填した層状スピネルブロック(スピネル中のMgの位置はすべてAlで置き換えられている)の間に Na^+ が挟った構造をとり、この層間を Na^+ が移動しうるので Na^+ による高い導電性が現れる。またNaβ'-アルミナは更にそのAlの一部をNi, Mgなどで置換し、その電荷補償のためNaを多くしたもので、結晶構造はβ-アルミナとは少し異なるが導電率はそれより更に高いものとなる。この性質を発展させるべく Na^+ を異種のカチオンで置換してやると、そのイオンによる導電性が現れる。例えばLiCl融液中に浸漬したものは Li^+ 伝導体となり、 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2/\text{BaCl}_2$ 混合融液中に浸漬したものは Ba^{2+} 伝導体となる。最もユニークなものとしては、希土類元素(Ln)の塩化物あるいは硝酸塩融液中に浸漬して得たβ'-アルミナでの Ln^{3+} 伝導性である。しかし電荷数が

大きいために周りからの静電引力の効果を受けて、他の一価イオンおよび二価イオンを含むβ-アルミナ類より桁違いに低い導電率しか示さない(図2)。しかしこのようにイオン交換過程を余分に経るとはいえ、同じ構造の化合物で価数の異なる多種のイオン伝導体が得られることは、現在でもなおイオン伝導体の設計という面から考えると非常に興味深いものである。

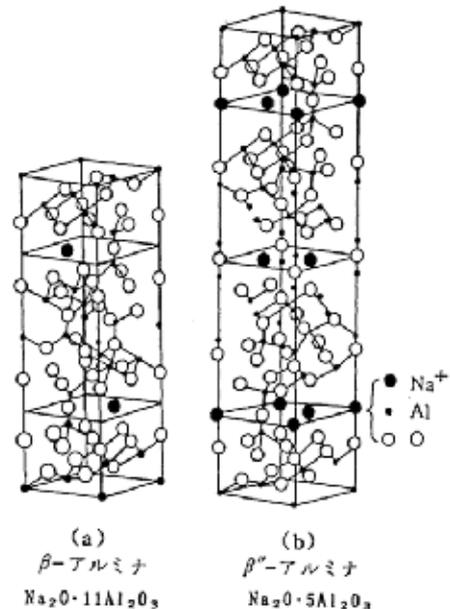


図1 Naβ- および Naβ'-アルミナの結晶構造

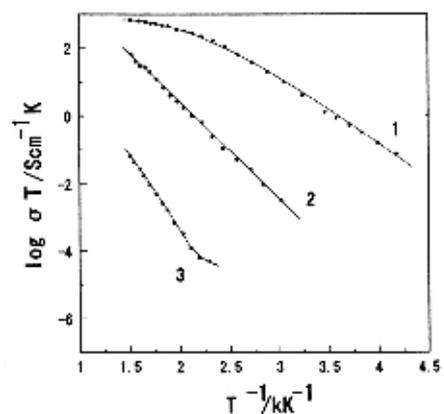


図2 イオン交換されたMβ'-アルミナの導電率 (M = 1) Na, 2) Ba, 3) Gd.

次なる固体化学者の別の望みは、より高いイオン伝導度を示す固体を見いだすことであろう。全く新しいものを新しい手法により合成する場合は別として、通常は以前に明らかとなっている結晶学的あるいは化学的データをもとにして検討してゆくことが多い。そこでAgIのように高温相で高い Ag^+ 伝導性がある場合には、AgやIを他のイオンで置換することにより高温相が安定化され、常温でも高い導電性が得られた。また CeO_2 のように純物質では O^{2-} 伝導性が低い場合には酸素の空格子点を生成するように他成分を固溶させることにより導電率を向上させることができた。これら以外にも注目すべき手法がある。

第一には、 Li^+ 伝導体の LiI に絶縁体である Al_2O_3 の微粉末を混ぜたような混合物導電体で、純物質よりも一桁以上高い導電率を示すことが知られている。この現象は、 LiI と Al_2O_3 の粒界での伝導が関係しており、二相間の空間電荷層の生成がイオン伝導に重要な影響を与えていると考えられている。かつてM.Nagaiらは多孔質アルミナ中で LiOH と $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ を反応させることにより Li_3PO_4 と Al_2O_3 の複合物を調製した^[1]。その導電率は加圧成型物より約1桁高いとしているが、 400°C での導電率は 10^{-5}Scm^{-1} である。調製法的には興味深いので、今後他の高い伝導性の酸化物系固溶体が同じ方法で合成できることを期待するものである。

第二には、ガラス化あるいはアモルファス化することによる導電率の改善である。どのようなイオン伝導体でもガラス化できる訳ではなく、現在知られているものは一部のアルカリ金属イオン伝導体と銀およびフッ化物イオン伝導体である。この種の研究は比較的多く報告されている。その例を挙げれば、Explosion 法と呼ばれる液体窒素中への急冷却法により調製されたガラスがあった^[2]。この場合導電性は 400°C の高温では焼結体より若干高くなるが、室温での導電率は 10^{-5}Scm^{-1} と焼結体には及ばない。しかしこの方法で得られたガラスは、歪みやクラックのない真球に近いものであることは興味深いことである。

これらのことから考え、相界面の状態を制御することはイオン伝導体の導電率を改善するのに重要な役目を果たしていると言え、更には先に述べた CeO_2 に酸素空格子点を生成させ導電率を向上させるのも、空格子という一種の界面の効果をみていると言えるかもしれない。したがってまた各イオン伝導体の導電率は、考え方によっては界面の影響が最も大きいその熔融体の値に近いところまでは高くなるのではないかと考えられる。

筆者らは、これらとは若干異なるが低温でも高い酸化物イオン伝導性を示す材料を得る目的で酸化物溶融塩タイルを検討した^[3,4]。多孔質 MgO をマトリックスとし、この隙間に低融点の酸化物を入れたものである。酸化物材料としては、融点を下げるために Bi_2O_3 に Li_2O 混合したものを利用した。このものは、 600°C で 10^{-1}Scm^{-1} を越える高

い導電性を示し、その導電種には溶融塩であるが故に総てのイオンが考えられたが、酸素ガス濃淡電池の放電結果からはほぼ酸化物イオン伝導体として働くことが確認された。

以上の結果は導電性を改良するために導電体自体の様子をすっかり変えてしまったものである。これに対し導電体を得る調製法を改善することも試みられている。

まず酸化物イオン伝導性を示す安定化ジルコニア系酸化物についてのメカニカルアロイングによる調製である^[5]。金属間化合物や合金、あるいはカルコゲン化物に対するこの調製法はよく知られているが、通常高温での焼成が必要と考えられる酸化物の同法による合成の報告は珍しい。スチール製の容器にやはりスチールのボールとそれぞれの酸化物粉末試薬を入れ、これを毎分数百回転で24時間自公転式ボールミルにかけた。その結果、カルシア、マグネシアおよびイットリア安定化ジルコニアができたというのである。もちろんこれらの場合スチールの容器とボールを使用しているため鉄成分の混入は避けられない(図3)。またこの粉末を焼成してどのような導電性焼結体が得られるのかについては記述がない。

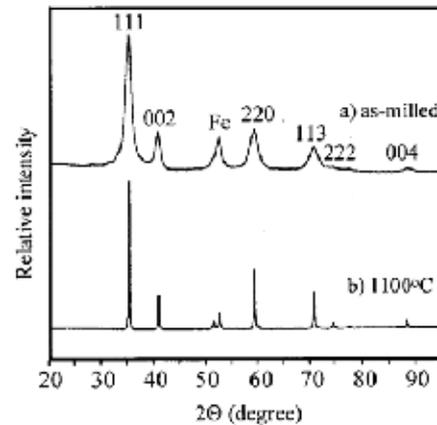


図3 各種安定化ジルコニアのX線回折図 1) 20% CaO 2) 20% MgO 3) 10% Y_2O_3

筆者らは、以下でも述べる Bi_2O_3 を母体とした酸化物イオン伝導体を始め $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{WO}_{4+x/2}$ 系や $\text{La}_{2/3-x}\text{Li}_x\text{TiO}_3$ 系酸化物粉末のメカニカルアロイングによる合成法を検討し、その固溶体生成と欠陥導入の関係について詳しく解析し、焼成法で得た場合とは異なる欠陥生成を明らかにした^[6-9]。これはその材料の吸着現象や発色挙動を生かす場合はいいとしても、以下に述べる高温電池材料に応用されるセラミックスを得ようとする場合はやはり最後に焼結というプロセスを経ねばならず、多少の焼結温度

の低下をもたらすという利点があるとはいえ、問題がないとは言えないと考えられた。

このような酸化物イオン伝導性を示すものには、安定化ジルコニアだけではなく類似の欠損蛍石型構造の酸化物をはじめペロブスカイト型酸化物、パイロクロア型酸化物があるが、最も高い導電率を示すものとしては前で少し述べた Bi_2O_3 を母体としたものもある。しかし第三世代の燃料電池用の固体電解質として有望視されている安定化ジルコニア系電解質が最も多く研究されている。その内容は次章で述べる燃料電池電解質への期待から薄膜化の検討が多い。その例を拾いあげてみると、確かに噴霧熱分解法^[10]、VED^[11]、CVD^[12]、プラズマCVD^[13]あるいはレーザーCVD法^[14]でイットリア安定化ジルコニア(YSZ)薄膜を作製したものはあるが、これを使って構成した燃料電池の特性を検討したものではないようで、主に膜生成機構や生成膜状態を評価するものであった。

またその後、より低温での燃料電池稼働を考えて、 ZrO_2 系のものより高い導電率を示す CeO_2 系の酸化物イオン伝導体について再び検討されるようになってきた。これは熱力学的には安定化ジルコニアほど安定でなく、幾分電子輸率も大きい。従って電池を構成したとき電子伝導性の分だけ電解質内部で短絡電流が流れるため、 $600^\circ\text{C} \sim 700^\circ\text{C}$ では端子電圧が理論値と比較して $0.3 \sim 0.4\text{V}$ も低下してしまう。このような性質は、安定な酸化物を電解質自体の性質を無くさない程度に薄く表面にコーティングすることによって克服される。 CeO_2 系固体電解質にYSZをスパッタリングコーティングすると端子電圧は上昇し、放電特性も CeO_2 系自体の性能を損なわないと言う^[15]。その後もこれを目指した検討がなされている^[16,17]。特にC.C.Chenらはセリウムとサマリウムの硝酸塩とエチレングリコールから合成した高分子前駆体をスピコーティングした後、 320°C で乾燥するだけで緻密で均一な $\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{1.9}$ の薄膜が得られると報告した^[16]。この膜は 1200°C までYSZや $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_{3-\delta}$ とも全く反応しないというが、次節で述べる燃料電池に本当に応用できるかどうかは更に検討が必要であろう。

4. 燃料電池の原理と特徴

近年エコロジーという言葉が盛んに使われるようになってきた。この言葉はそんなに新しいものではない。筆者は、誰の著作かは忘れてしまったが1970年代にEcological Electrochemistryと名付けられた本を研究室の輪講で読んで覚えがある。もちろんその中に燃料電池の説明があった。当時はそうやって電気を造れば環境に優しいのかと思ったものである。

さて、燃料電池である。先に書いたように、このものも新



図4 発電方法とエネルギー利用効率の比較

しい概念ではない。1970年代初頭には既に筆者の恩師である名古屋大学名誉教授の故高橋武彦氏による解説や総説も多くみられた。ジェミニやアポロの宇宙船に載せられ、その電源装置として働いた事からも有名になったが、私の目には一時その研究は下火になってきたようにみえた。しかし、この時期でも当該システムに利用可能な、以下に述べる固体電解質に関する研究は精力的に続けられた。

固体電解質を使う、使わないに拘わらず、燃料電池には負極剤(還元剤)と正極剤(酸化剤)とを分離すると同時にイオンのみを輸送を可能とする隔膜が必要となる。かくして電池構成は、「負極剤、Pt / イオン伝導体 / Pt、正極剤」となる。Ptは白金で電気を取り出すための仮に考えた電極材である。これは安定な材料であればPtに限定されない。正極剤と負極剤の代表例は水素ガスと酸素ガスである。イオン伝導体としては酸やアルカリ水溶液、熔融炭酸塩、更に先に述べた固体電解質がある。例えば「- 水素、Pt / 酸性水溶液 / Pt、酸素 +」で構成される電池では、水素と酸素の反応での自由エネルギー変化分が直接電気エネルギーに変換される。その結果、図4に示すように従来の火力発電より効率が低いとされている。ただし図5に示したように、電池セルやスタックは単純な構成ではなく、室温近くで反応をうまく行わせるために実際に電極においては高価な白金を使用しなければならない。

そこで第三世代の燃料電池と呼ばれ脚光を浴びてきたのが高温型固体電解質燃料電池である。高温で作動することで高価な白金系の電極材(触媒)は要らず、酸化物系のものに置き換える事が可能である。燃料電池の電解質に利用できるものには、よく知られた酸化物イオン(O^{2-})が動くものと次節で述べる水素イオン(H^+ :プロトン)の動くものがある。前者では蛍石型の結晶構造を持つ安定化ジルコニア系やペロブスカイト系の電解質が、後者ではやはり先に述べたペロブスカイト系の電解質が有名である。これらのものを用いた場合の特性の違いを図6に示した。共に「- 水素 / 固体電解質(イオン伝導体) / 酸素 +」で構成される事と、水素が酸素で酸化される反応が生じることに違いない。しかし、生成した水

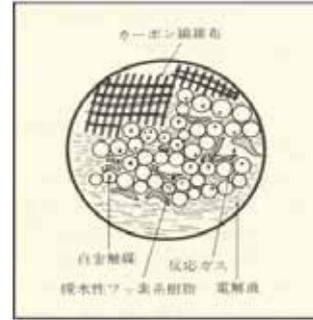
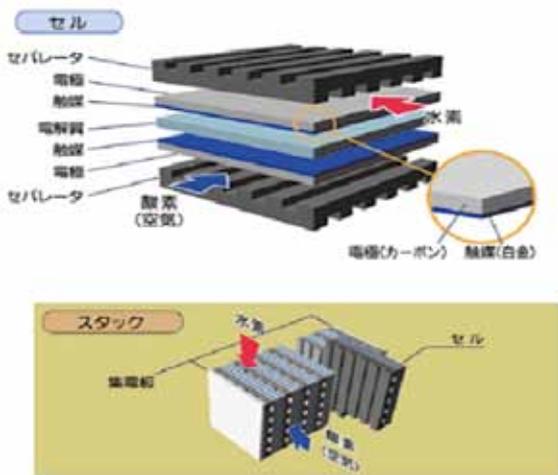


図5 燃料電池セル，スタックおよび電極内部の模式図

蒸気の発生する場所が、水素側か酸素側かの違いが出る。我田引水で言えば筆者らが当初提案したプロトンの動くものが理想的であろう。なぜなら燃料ガス中に生成した水蒸気が出ず、これを分離する必要が無いからである。ただし、水素以外の(水素を含まない)燃料を直接利用できないことは否めない。したがって現在、高温型燃料電池として企業で実用化されようとしているのは安定化ジルコニアを用いたものである。

この場合重要な事項が1つある。図4にも図6にも示したセル1つの出しうる電圧はせいぜい1.2Vなのである。インバーターやコンバーターを使うにしてもこれでは話にならず、これらを直列と並列配列して昇圧すると共に取り出しうる電流を増やす必要がある(図7)。電極材には安価なものが利用できるが、これらの配列には相当な技術を要することになる。

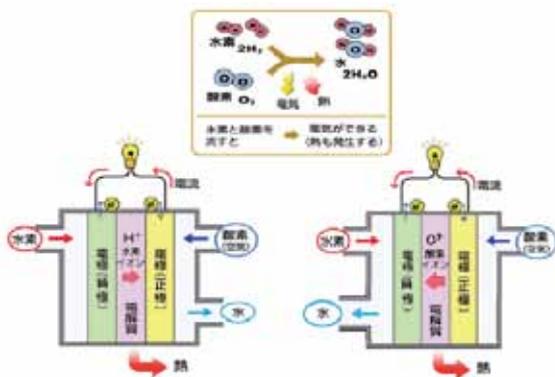


図6 酸化物イオンとプロトン伝導体を使った燃料電池の比較

さて次にこれらの燃料電池の実際の効率について考えてみることにする。本稿は高温型固体燃料電池の事を述べているので、これで説明できればいいのであるが、如何せん市販の装置が無く詳しい計算ができない。そこで

ここでは、家庭用燃料電池として市販されている装置の仕様で検討することとした。表1にその一般的な仕様を示した。これは当該装置のパンフレットから引用したものである。家庭用なので、比較の対象は自宅とした。この場合、月平均エネルギー消費は、電気300kWh, LPG10立方メートルである。

まずガスについて考える。10立方メートルは10000Lである。LPGをC₃H₈(分子量は44)として、この10立方メートルは



なので、

$$3 \times 44 \times 10000 / 22.4 = 58900 \text{ g}$$

つまり58.9 kgの炭酸ガスを出す。次に商用電力では、電力の炭酸ガス係数 0.38(1kWhの電力が0.38 kgの炭酸ガスを出す)とすると

$$300 \times 0.38 = 114 \text{ kg}$$

である。ガスと併せて(これが総てであるが)毎月173kg程度の炭酸ガスを出していることになる。

次に家庭用燃料電池である。表から100%出力で考えると、750W時にLPGを0.10立方メートル/h消費する。上記の300 kWhでは

$$300 / 0.75 \times 0.1 = 40 \text{ 立方メートル}$$

のLPGを使うことになる。このとき、上と同じように考えると

$$3 \times 44 \times 40 \times 1000 / 22.4 = 236000 \text{ g}$$

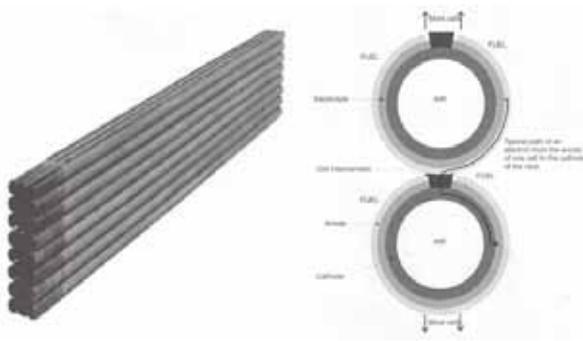


図7 チューブ状単セルの直/並列配列の様子とその断面図

つまり最低限で236 kgの炭酸ガスが出る。これで一般の風呂やシャワーの要求には応えられるとしても、風呂の追い炊き、調理にガスを使えばもっと多くの炭酸ガスを出す。発電した電気ですれを賄えば、使用電力が増え、やはり もっと多くの炭酸ガスを出す。更に加えてこの場合、初期投資に300万円以上掛かる。補助金があるから良いと言うものがあるが、このものを造った時に初期投資に対応した計算もできない莫大な量の炭酸ガスを出したことには何も言わないばかりか、その後の使用時の効率で考えてもこの製造時のエネルギーを回収出来ないことも全く気づいていない事は問題であろう。

さらに図4の中にも問題が隠されている。1つは、火力発電は熱エネルギーが効率的に利用されず、それ自体の効率が低いとされていることである。2つ目は燃料電池ではコジェネレーションと言って廃熱を十分活用しているのに、通常の火力発電ではこの熱エネルギーが効率的に利用されないことである。しかし実際には、東電のガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた最新のコンバインドサイクル発電の実績では50%は遙かに超えた効率を示しているし、イギリスではロンドン市内に造った小型火力発電所で十分廃熱利用した実績が、1900年代初めからある。前者は耐熱材料の発達がそうさせたわけであり、近い将来1600℃で稼働できれば効率は理論上80%を越えてしまう事もありうる。こうなると燃料電池の意義を本当に見極める必要に迫られてくる。廃熱を含めた熱エネルギーを効率的に利用すれば、ただ石油を燃やすだけでほとんど100%近い効率で電気が得られるなんて、こんなすばらしいことはないからである。

ここで間違えてはいけないのは、燃料電池を否定している訳ではないことである。技術の発達や革新から言えば、燃料電池技術は重要であるし、利用される場面を考えれば更にその重要さは増す。しかし、ある人がこれはいいんだと言うとすぐにそれを単純に信じて、いいんだいいんだと迎合する日本人(科学者)の風潮には注意が

表1 市販の家庭用燃料電池の仕様

製品仕様表 (株式会社ENEOSセルテック製)

項目		LPガス仕様		
全体基本性能	発電出力	750W(100%出力時)		
	発電効率(LHV)	35%(100%出力時)		
	排熱回収効率(LHV)	50%(100%出力時)		
	運転方式	全自動学習運転		
	運転範囲温度	-5℃~43℃(標準冷地仕様-10℃~43℃)		
発電ユニット	品名	FCP-075CPG2		
	起動時間	約50分		
	燃料	LPガス		
	燃料使用量	約0.1m ³ /h(100%出力時)		
	サイズ	高さ900mm 幅900mm 奥行350mm		
	電気出力方式	単相3線式100/200V(50Hz/60Hz併用)		
	質量	125kg(乾燥重量)		
貯蔵ユニット	品名	FCG-201-RT (標準タイプ)	FCG-201-DRT (暖房機能あり)	FCG-201-DT (暖房機能あり/標準冷地仕様)
	タンク容量	200ℓ		
	貯蔵温度	65℃(給湯温度は最大60℃)		
	給湯能力	24号		
	電圧能力	- 17.4kW(75℃時)		
	サイズ	高さ1,900mm 幅750mm 奥行440mm		
	質量	95kg(満水時約295kg)	105kg(満水時約305kg)	103kg(満水時約303kg)
	標準機能	全自動風呂(お湯はり、追いだし機能など)		
	付属品	リモコンセット一式(台所用+風呂用)		
		-	暖房用コネクタ(コード)一式	
希望小売価格(消費税込、工事費別)		320万円	330万円	340万円
補助金(平成21年度)		上限140万円/台		

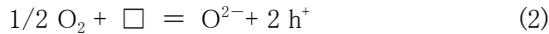
必要であると言える。しかるべきデータに基づき判断を下す必要がある。

5. 岩原研究室当時のイオン伝導体研究

これまでは合成法を念頭におき、イオン伝導体の設計として最近のトピックスを述べてきたが、筆者が上記のことに注目する以前、つまり1978年の岩原教授の赴任当時、新しい研究テーマとして取り上げられたものに、高温型プロトン伝導体の開発があった。これは、燃料電池に使用できるイオン伝導性固体電解質には、酸化物イオンが動くものに限られる訳ではなく、例えばプロトンが動く場合を考えると、燃料の循環が不必要となり、発電の効率の向上が期待されると考えた斬新なアイデアによるものである。この場合でも、高いプロトン伝導性のセラミックスが開発できなければ話にならないのであるが、種々検討の結果SrCeO₃を母体としたペロブスカイト型の固溶体などに、800℃で6~7×10⁻³Scm⁻¹のプロトン導電率を示すものがあることを見いだした^[18]。

ここで、このようにもともと水素を含まないものになぜプロトン伝導性が出るかを考えてみる。当然回りからになにがしかの影響を受けてプロトン伝導が発現するので、先の真性に対して不純物(外因)性のイオン伝導体であると言える。こう考えれば、回りの雰囲気依存して伝導性が変化する酸化物中での電子伝導性を思い浮かべることができる。最初から酸化物イオン空格子点をもつ酸化物において、回りの酸素ガスと次の平衡反応が生じている

と考える.

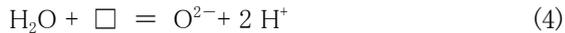


ここで□は酸化物イオンの空格子点を示す. この時, 電子(正孔)伝導性が発現するはずである. ここで電子伝導度 σ_{h} は正孔濃度 $[\text{h}^+]$ に比例するはずであるが,

$$K = ([\text{O}^{2-}] \cdot [\text{h}^+]^2) / (p\text{O}_2^{1/2} \cdot [\square]) \quad (3)$$

の関係により $p\text{O}_2^{1/6}$ (□濃度が上記反応自体により本質的に変わりうる時), あるいは $p\text{O}_2^{1/4}$ (□が別要因で多く存在し, 上記反応により大きく変わらないとき) に依存することになる.

更にここで水蒸気との平衡を考える. 水蒸気は酸素をもっている, この酸素が上記の酸化物の空格子点に入る場合,



の式がかかる. この式自体が外因性のプロトン伝導性の発現を意味するものである. 以前は水蒸気(H_2O)のH-O結合が簡単に切れるはずがないとの批判もあったが, 切れている訳ではなく, どうやらそんなに難しい反応ではないそうである. (1)と(3)式を組み合わせると,



を考慮すれば,



という単純な式も得られる. どれも本質的には同じ意味をもっている. この考え方は, 異種元素の添加により酸化物イオンの空格子を形成しやすいペロブスカイト型酸化物のような化合物にはうまく当てはまる^[19].

現在ペロブスカイト型プロトン伝導体を用いた燃料電池発電は行われていないが, 当時これを用いる発電方式は”鳥取方式”と呼ばれていた. それ以来この研究は名古屋大学あるいは企業にも引き継がれた. 現在TYKで製造販売されている熔融アルミニウム中の溶存水素測

定装置(トープ)は, 固体電解質こそ CaZrO_3 を母体としたものに代わっているが, この研究テーマがもたらした大きな成果の一つと言えるであろう. 近年この研究を模した論文も多数発表されている. これらの中には, 導電性が 800°C で 10^{-5}Scm^{-1} 程度のとても低いものであったり, プロトンの伝導を完全に証明できていないものが多くあることは, 看過できないことである.

しかしながら近年, 上記に加えて明らかなプロトン伝導体として, 伝導性が低いながらリン酸塩系^[20-22]やケイ酸塩系^[23], シーライト化合物系^[24], モンモリロナイト系^[25]などが報告されるようになった. これらのオキソ酸塩系の化合物でのプロトン伝導性の発現はどう考えたらよいであろうか. オキソ酸である以上, ペロブスカイト型化合物で行われるような異種元素添加での直接的な酸化物イオン空格子点の形成は, 一般的には無理のようである. ただしそれによりオルトリン酸塩中でのピロリン酸塩や三リン酸塩の生成固溶を考えると, これは一種の酸化物イオン空格子点形成に他ならないと考えられる. そうなれば後はしめたもので, これを介して上記と同じ現象が起きればプロトンは生成し, その結果プロトン伝導が起きうる. 当該論文中には難しい記述がしてあるが, 簡単に言えば上記のような説明ができる.

これ以外のイオン伝導体として, 当研究室では前述の Bi_2O_3 を母体とした各種の酸化物イオン伝導体^[26]や, オキシフッ化物系のフッ化物イオン伝導体^[27], 更には二三のフッ化物イオン伝導性酸化物及びフッ化物の合成^[28]に成功した. また酸化物イオンと電子が同程度導電に関与する CaTiO_3 系の新しい混合伝導体や, 高い電子伝導性を示す CaMnO_3 系の酸化物セラミックスの合成にも成功した^[19-31]. さらに, 前者の酸化物を隔膜に用いて一方を減圧にすると, 空気中から純酸素が抽出できること^[32]や, 後者の酸化物は高温型燃料電池の空気極材としてだけではなく, 焼結させた多孔質セラミックスをアルカリ電池の正極活物質に使用することも実験により示すことができた^[33-42].

6. 新規なイオン伝導体

これらに加えて新しい導電体合成も報告されているのでこれらについても述べなければならない. まずアニオンを導電種とするものをあげる. これらには先に述べた螢石型やペロブスカイト型構造を持つ酸化物中の酸化物イオン伝導性に関する報告もあるが, 材料および結晶構造的に新規であると思われたものは少ない. その中に BIMEVOX シリーズと呼ばれる $\text{Bi}_4\text{V}_{2-x}\text{M}_x\text{O}_{11-\delta}$ (Mは異種金属元素)系の酸化物イオン伝導体がある^[43-45]. 導電率は 700°C で 10^{-1}Scm^{-1} を越え, この値自体は最も高いものに属する. 筆者らもかなり昔 Bi_2O_3 系の酸化物イオン伝導

体を研究しており、もちろん $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ 系の試料には高いイオン伝導性のあることも報告している^[46]。しかしこのような酸化物の欠点はセンサーや燃料電池の電解質に利用しようとする時に、電解質自体の熱力学的安定性に欠けるために還元されることである。要するに 600°C で 10^{-12} 気圧程度の酸素分圧下におくと、容易にBiの金属が析出する。筆者らはこのことを逆用して、強制的に通電することで電解質の内部に生成させたBi金属と電解質酸化物($\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$)との平衡酸素分圧を酸素ポテンシャルの基準として利用した、比較的高酸素分圧領域で使用できるセンサー(図8)について報告したが、これもかなり前のことである^[47]。

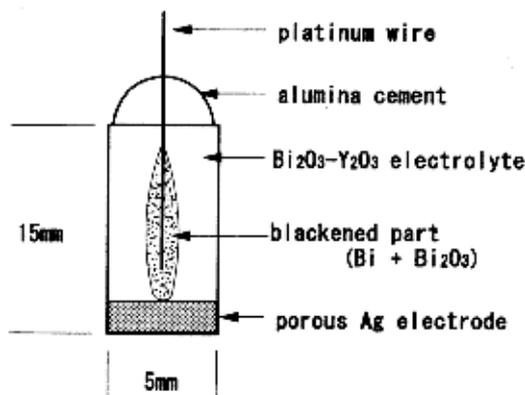


図8 Bi_2O_3 を母体とした酸素ガスセンサの模式図

7. 江坂研究室以後のイオン伝導体研究

1989年の改組後から、研究室担当が江坂となった。ここにおいてこれまでの研究方針を大きく転換することなく新しい材料の研究に迫られた。この際種々の検討の末、注目したイオン伝導性固体には、シーライト型構造やスピネル型構造をもつ化合物があった。このうちシーライトとは灰重石(CaWO_4)のことで、CaとWを等価に考えれば、図9に示されるごとく歪んだ螢石(CaF_2)型の結晶構造をもつと考えると差し支えない。従ってこのものに酸化物イオン伝導性が発現するのは理解しやすい。つまり螢石型構造の固溶体には、安定化ジルコニアを始め、種々のイオンが電気を伝える材料が知られている。したがって、シーライト型酸化物もこれらの材料の母体となりうるのではないかと考えたものである。

しかし実際に高い導電性を示すのは CaWO_4 を母体としたものではなく、 PbWO_4 ^[48]や BiVO_4 ^[49]などのように含まれる2種のカチオンの電気陰性度があまり異ならず、全体と

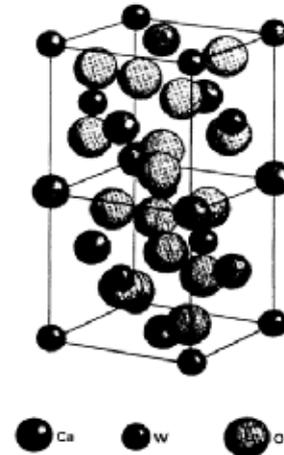


図9 シーライト型結晶構造の模式図

して複酸化物的な性質を示すものに限られている。結果的に、シーライト型構造をもつ酸化物のうち PbWO_4 を母体とした $\text{Pb}_{1-x}\text{Ln}_x\text{WO}_{4+x/2}$ 系(Lnはランタノイド元素)で示されるように過剰の格子間酸化物イオンを考えた場合には、広い組成範囲にわたって母体と同じ構造の固溶体が得られ、式中に示されるような格子間酸化物イオンの移動により、酸化物イオン伝導性が現れ、その導電率は 800°C で $2\sim 3 \times 10^{-2} \text{Scm}^{-1}$ にもなることを示すことができた^[50-56]。これらの酸化物では導電に与ると考えられる格子間酸化物イオンの生成のあることが非常に興味深い。最近になって、この酸化物イオン伝導性を発現する格子間酸化物イオンをもつ固溶体は、よく知られているペロブスカイト型酸化物においてもその存在を示唆する論文を発表することができた^[57]。

一方スピネル型酸化物の構造は、よく知られているように酸化物イオンの密充填した隙間の一部に規則的に金属イオンが入ったもので、一般的には酸化物イオンの動きは困難と考えられる。しかし逆スピネル型構造をもちこれにカチオンの欠損を含むように設計した固溶体($\text{Zn}_{2-x/2}\text{Ti}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_4$)では 1000°C で 10^{-3}Scm^{-1} とあまり高い導電率ではないが確かに酸化物イオンの伝導性を示すことが分かった^[58,59]。これは図10に示したようにカチオンサイトが空隙であると酸化物イオン位置が通常的位置から空隙側に若干シフトし、見かけ上酸化物イオンの空格子点でき、そこを介した一種の準格子間機構で酸化物イオンが移動すると考えれば理解できる。この酸化物イオンのシフトは中性子回折によってほぼ証明されたと言える^[60-62]。もちろん本研究室の成果である。

次にカチオンを導電種とするものでは、やはりアルカリ

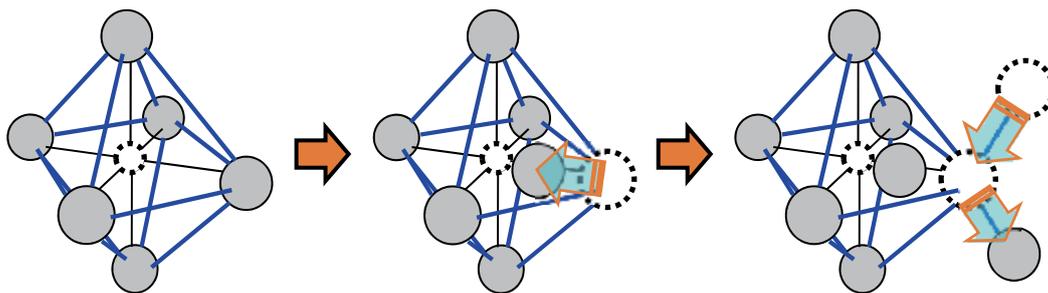


図10 空隙カチオンサイトを介した酸化物イオン移動の模式図

イオン伝導体，特にリチウムイオン伝導体の研究が多い。当研究室以外でも，酸素酸塩^[63]および複酸化物^[64,65]を母体とした注目すべきものの報告があるが，導電率の高さからいえばペロブスカイト型酸化物の $\text{La}_{0.5}\text{Li}_{0.5}\text{TiO}_3$ およびその組成を若干変えた固溶体が典型的なものであろう^[66]。室温で 10^{-3}Scm^{-1} を越える導電率を示すと言う。しかしTiを50c/oも含むので，電池電解質として用いる場合にはリチウムなどの陰極活物質との接触による還元反応を克服する必要がある。またリチウム伝導性以外にもH型モルデナイトに室温で 10^{-5}Scm^{-1} のプロトン伝導性が報告されている^[67]ことも付け加えておきたい。

一方当研究室では，前述のシーライト型構造でも CaWO_4 のCaの一部をその2倍量の一価のリチウムイオンで置換した $\text{Ca}_{1-x}\text{Li}_{2x}\text{WO}_4$ 系試料がリチウムイオン伝導を発現することを明らかにした^[68]。この場合リチウムイオンの動きを，中性子ラジオグラフィー(NRG)を使ってフィルム上に明白に示すことができた^[69]。この中性子ラジオグラフィーを材料開発の研究に応用する考え方は，当研究室に一時在籍していた鎌田助教授(現在東京学芸大学教授)のアイデアによるもので，世界的にみて斬新なものであるといえる。この方法の特徴を次節で述べるが，現在，当研究室ではこの方法を，多くのリチウムイオン伝導体中のリチウムイオン拡散係数の評価^[70-76]や水素吸蔵合金中の水素拡散の様子^[77-81]などに幅広く利用し，その成果を発表している。

8. NRGの原理と応用

固体電解質の電気化学的性質を調べる基礎的研究は，応用研究とともに近年盛んに行われている。しかしながら，伝導イオンの濃度分布や伝導機構を明らかにした報告は数が限られている。これは，高温で固体試料中の伝導イオンを定量する有効な測定方法がなかったことによるものと考えられる。

このような状況の下，筆者らは中性子ラジオグラフィー

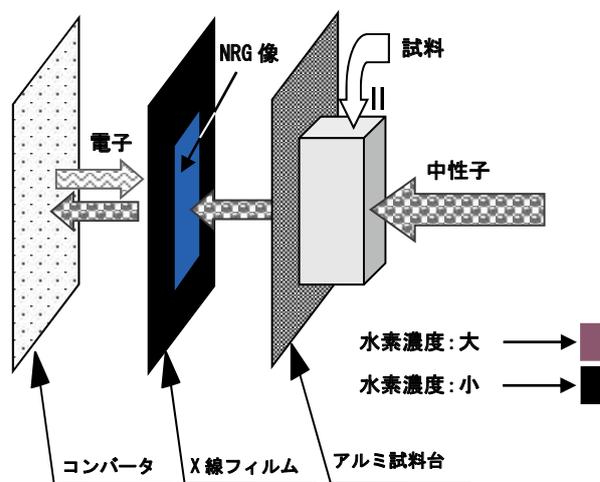
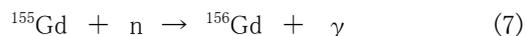


図11 中性子ラジオグラフィー(NRG)の原理

(NRG)によって直接リチウムイオン伝導性固体電解質中のイオンの動きやイオン分布状況を観察した。また，リチウム非水溶媒系の電解質を用いたリチウム電池の，放電および充電時のリチウムの動きについても検討し，この場合固いステンレスの被覆を通してNRGを用いれば明瞭にリチウムの動きを可視化できることを報告した^[82,83]。

このNRGは，X線ラジオグラフィーと同様の非破壊検査法のひとつであり，試料中に含まれる元素(同位体)の中性子減衰係数の差を利用して，試料中の元素の分布を可視化することができるものである。この原理の概略を図11に示した。試料を透過した中性子は，フィルムカセット内のコンバーターに塗布されたガドリニウムに捕えられ，以下の核反応を引き起こす。



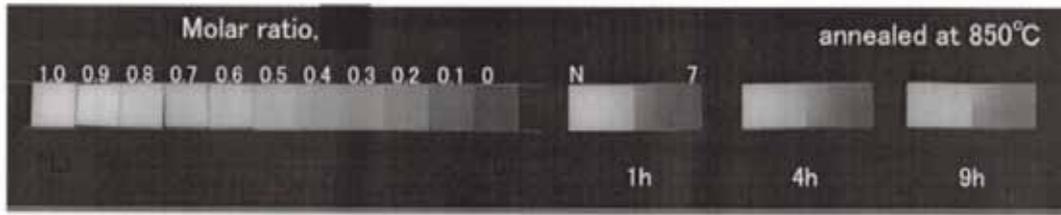
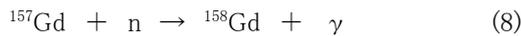


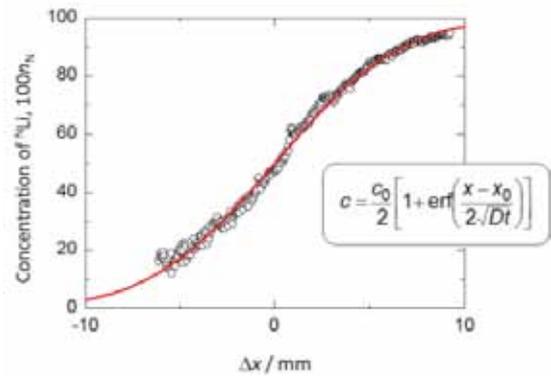
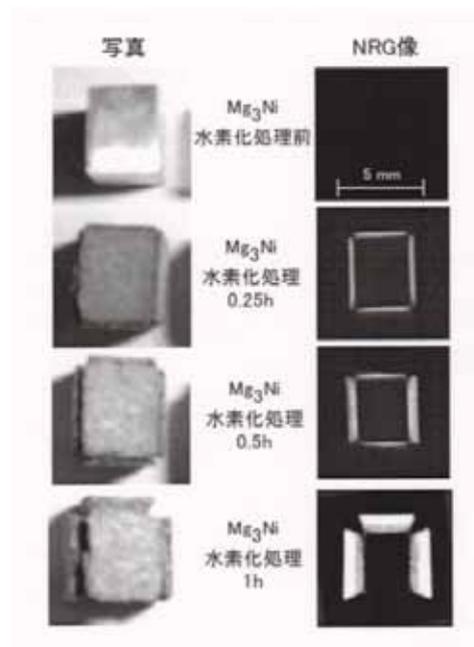
図12 LISICONの標準試料および拡散対試料のNRG像



上記の核反応で生じた電子(内部転換電子)がX線フィルムを感光させる。発生する電子の数はガドリニウムコンバーターに到達した中性子の数に比例するので、試料を透過した中性子数(中性子の透過度)に応じてフィルム濃度(黒化度)が変化し、NRG像が得られる。この方法は、これまでに知られている総てのイオン伝導体の検討に応用できる訳ではないが、リチウムイオン伝導体やプロトン伝導体には応用可能で、各条件下で調製した試料のラジオグラムが明瞭に得られさえすれば、各固体電解質内を移動するイオンの濃度分布とイオンの動きそのものを解明できるのではないかと考えられた。

例として、図12にLISICONの標準試料と拡散対試料のNRG像を示した。この場合、各試料は同位体間で中性子減衰が大きく異なる性質をもつリチウムを含むものとしている。 ^7Li は中性子をよく透過するが、 ^6Li は高い中性子減衰係数をもつ。図中で白い部分が ^6Li を含有する ^7Li の存在量が多い領域を示している。したがって熱処理時間の短い拡散対試料では、黒い部分と白い部分が明瞭であるが、時間の経過とともにこの黒い部分が次第に白っぽく変化する。これは相互拡散によりリチウムが移動することを示すものである。これらの結果から、拡散対試料の各部位の黒化度を標準試料のそれと比較検討すると、 ^7Li の濃度プロファイル(図13)が得られる。これをFickの式であわせると、リチウムの拡散係数が得られる。この実験は熱によるイオンの拡散を扱ったものであるが、電極を付けて通電し電気分解させた試料についても、試料内部でのリチウムイオンの拡散の様子は、いくつもの試料について既に可視化できており、イオン輸率の測定や導電機構の考察に利用されている。

水素は、前述のリチウムと同様に、その質量数が異なる同位体、つまり ^1H と ^2D では中性子減衰係数が大きく異なるという性質を持つ。 ^2D は中性子をよく透過させるが、 ^1H は高い中性子減衰係数をもつ。したがって ^1H のほかに中性子減衰係数の大きな元素を持たない試料に対して、NRG法を用いて試料中の水素の分布を観察することが

図13 拡散対試料における ^7Li 濃度プロファイル図14 水素吸蔵を示す Mg_3Ni の写真とRG像

できると考えられる。ここでは、Mg-Ni系の水素吸蔵材料に対してNRG法の適用を試みた結果について述べる。この場合、試料は整形したMg-Ni合金を、2.6Mの水素化ホウ素ナトリウム(NaBH_4)水溶液に浸漬し水素化させたものとしている。

図14は、 Mg_3Ni の水素化処理時間に対する試料の変化を示したものである。試料の写真とNRG像を対応させて示している。この像はX線フィルムからスキャナーでコンピューターに取りこみ、画像処理ソフトを用いて映像化したものである。写真では未処理の試料は金属光沢を持つが、水素化処理を行うとその金属光沢は失われ、膨張していく様子がわかる。また、NRG像では、水素が存在する場合の方が明らかに合金の縁が白くなったNRG像が得られている。このことから、NRGにより水素吸蔵合金の初期水素化過程を可視化できることがわかった。さらに各試料に対するNRG像を詳しく見ると、写真に見られるような水素処理時間の増加にともなう試料の膨張にいたって、試料内部へ水素が侵入していく様子が観察できる。また、処理時間と水素侵入深さとの関係から、水素の拡散に関する情報が得られるはずである。図15は、水素化処理時間の異なる各試料のNRG像に対して、挿入図中の白いラインで示した部分について、白黒の濃淡の変化を数値化した黒化度の結果を示している。この図により、水素吸蔵による合金の膨張の大きさと水素の合金内部への侵入の深さの変化を数値として示すことができる。この数値化したプロファイルから、水素侵入深さと水素吸収層の厚さの関係が示され、膨張率が計算できるし、更に、水素化処理時間の平方根に対する合金への水素侵入深さの関係からは、この合金中に固溶してい

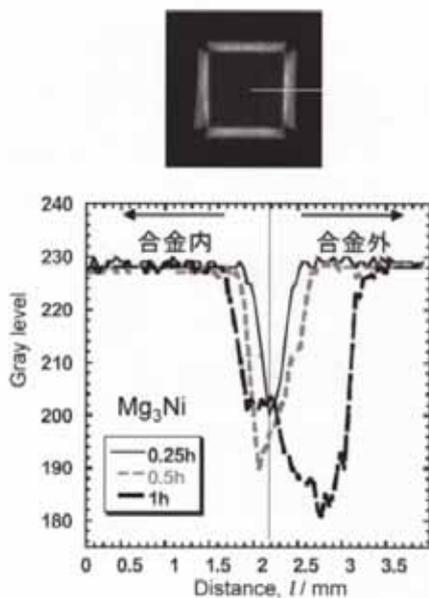


図15 水素化処理に伴う黒化度の変化

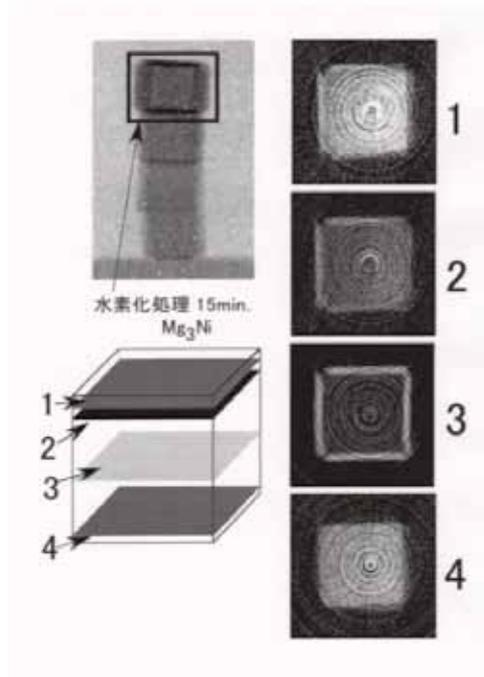


図16 水素化処理した塊状 Mg_3Ni のNRG-CT写真

る水素の拡散係数が求められる。いずれにせよ水素の存在もリチウムと同様に可視化できることは明らかである。

上で述べた方法で得られるのはあくまで試料の投影像である。そのため、中性子線の照射方向に存在する総ての元素の減衰係数が画像の濃淡に関係し、試料中の元素分布を直接観測することができない。したがって、NRG実験に用いることができるリチウムイオンの挙動を解析しようとする試料では、中性子照射方向のリチウムイオン分布が均一である必要があり、照射方向に不均一分布するような試料の精密な測定は不可能である。そこでそのような場合には、中性子線を用いた新しい技術である中性子線ラジオグラフィー断層撮影法が注目される。

断層撮影(CT:Computed Tomograph)法は、観察対象の内部構造を非破壊で可視化する技術の一つである。これまでは主に医療の分野で用いられてきており、線源にはX線や超音波が用いられている。この線源に中性子線を用いたものが中性子線断層撮影(NRG-CT)法である。この方法を利用することによりセラミックスの断層像を得ることができ、その像に現れている元素の分布からセラミックス中のイオンの挙動を解析することができる。この方法と、別に検討する電極と電解質界面とのインピーダンス精密測定の結果と併せて、電位分布と電極反応の解明を行うことができるのではないかと考えられる。実際

に筆者らは焼結体試料($\text{Li}_{0.35}\text{La}_{0.5}\text{TiO}_3$ と $\text{Li}_{1.33}\text{Ti}_{1.67}\text{O}_4$)について実験を行い、詳細な説明は省略するが、リチウムイオンは試料中でその電気力線に沿って広がる半円形の分布をしていることを示した^[76].

図16には、水素化処理を施した Mg_3Ni 塊状試料について得られたNRG-CT像を示した。模式図の1~4の各断面におけるNRG像から、表面付近では水素が一様に分布しており、その他の部分では表面と内部との間に水素濃度の差が明瞭にあることが示された。このことから水素は直方体試料の各面の表面から一様に侵入していくことがわかった。この実験においても Mg_3Ni は水素吸蔵量が多く水素侵入過程が明確に分かった。

上記のように、リチウムイオン伝導体あるいは水素を含む材料について、NRGおよびNRG-CTを応用し、リチウムや水素の動きを可視化できることを示した。更に、その移動量や移動機構を定量的に検討する際にも十分役立つものであることを示せたのではないと思われる。しかし、得られた影像是混在する他の成分元素の影響を受けることも明らかである。特に、断層像の濃度プロファイルでは一般的にノイズが強すぎるため、より精密な数学的解析を行うことができないことは問題である。投影像のノイズ軽減(撮影の際の中性子以外の放射線を排除すること、ノイズ除去のためのフィルタの最適化、バックグラウンドの処理など)や断層像再構成の際の畳み込み関数の最適化、などに注意して検討してノイズの少ない良質な画像を得ることができれば、緻密な解析が可能になるはずである。

9. 結語

最近の報告を基に、現在どのような研究が酸化物系イオン伝導体について行われているかについて述べた。研究目的が純粋にアカデミック的であれエンジニアリング的であれ、これまでにない新しいイオン伝導体を合成しようとか、あるいは導電性を改善しようとする動きは今後も益々強くなってくると思われる。これに際してどのような構造のものを作ればどのような導電性のものが得られるか明確にしたいものである。このようなことを可能にするために、本稿が少しでも役に立てば幸いと思う。今後の結晶構造あるいは導電機構を含めた基礎研究、応用研究のさらなる発展を大いに期待するものである。ただし本稿に関係するかどうかは別として、エネルギー関連研究を行う場合、最終的に得られるべき1単位のエネルギーを造るのにトータルでは1単位以上、2単位3単位のエネルギーを用いていても、単にバイオとか太陽光、風力などというような名前があると、これだけでサステイナブルとかグリーンであり、総て効率的だとするような判断に基づく研究は避けてほしいものである。

参考文献

- [1] M. Nagai, T. Nishio : Fabrication of $\text{Li}_3\text{PO}_4\text{-Al}_2\text{O}_3$ composites by an electrochemical technique, *Solid State Ionics*, Vol. 70-71, pp. 96-100, 1994.
- [2] N. Imanaka, T. Shimizu, G. Adachi : Lithium conducting amorphous solid electrolytes obtained by explosion method, *Solid State Ionics*, Vol. 62, pp. 167-171, 1993.
- [3] T. Esaka, M. Kamata, H. Sawamoto, Y. Ueda : Electrical Conduction in the Ceramic-Molten Salt Composite Materials Including Bi_2O_3 , *Electrochemical Society Proceedings (Proceedings of the International Symposium on Molten Salt Chemistry and Technology -1993)*, Vol. 93-9, pp. 523-528, 1993.
- [4] S. Takai, T. Kobayashi, T. Esaka : Properties of the Bi_2O_3 -based Molten Salt / Ceramic Composite Materials as Oxide Ion Conductors, *Solid State Ionics*, Vol. 113-115, No. 1-4, pp. 653-658, 1998.
- [5] D. Michel, F. Faudot, E. Gaffet, L. Mazerolles : Stabilized Zirconias Prepared by Mechanical Alloying, *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 76, pp. 2884-2888, 1993.
- [6] T. Esaka, S. Takai, N. Nisimura : Preparation of the Bi_2O_3 -based Fluorite-type Solid Solution by Mechanical Alloying, *Denki Kagaku (presently Electrochemistry)*, Vol. 64, No. 9, pp. 1012-1016, 1996.
- [7] S. Takai, M. Moriyama, T. Esaka : Mechanical Alloying of the Perovskite-type Structured Powder of $\text{La}_{2/3-x}\text{Li}_{3x}\text{TiO}_3$ Showing Lithium Ion Conduction, *Materials Science Forum*, Vol. 269-272, pp. 93-97, 1998.
- [8] S. Takai, N. Shiraishi, T. Atake, T. Esaka : Morphological Observation of the Mechanically Alloyed $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{0.80}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_{0.20}$, *Electrochemistry*, Vol. 67, No. 5, pp. 466-469, 1999.
- [9] S. Takai, Y. Karita, T. Nakanishi, T. Esaka : Defect Properties of Mechanically Alloyed La-Substituted PbWO_4 , *Solid State Ionics*, Vol. 138, No. 1-2, pp. 161-168, 2000.
- [10] E. M. Kelder, O. C. J. Nijs, J. Schoonman : Low-temperature synthesis of thin films of YSZ and BaCeO_3 using electrostatic spray pyrolysis (ESP), *Solid State Ionics*, Vol. 68, pp. 5-7, 1994.
- [11] Z. Ogumi, Y. Uchimoto, Y. Tsuju, Z. Takehara : Preparation of thin yttria-stabilized zirconia films by vapor-phase electrolytic deposition, *Solid State Ionics*, Vol. 58, pp. 345-350, 1992.

- [12] H. W. Brinkman, G. Z. Cao, J. Meijerink, K. J. de Vries, A. J. Burggraaf : Modelling and analysis of CVD processes for ceramic membrane preparation, *Solid State Ionics*, Vol. 63, pp. 37-44, 1993.
- [13] E. Kim, J. Lee, S. Lee, S. Yoon : Characterization of Y_2O_3 -Stabilized ZrO_2 Thin Films by Plasma-Enhanced Metallorganic Chemical Vapor Deposition, *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 140, pp. 2625-2629, 1993.
- [14] H. Naito, H. Arashi, *Solid State Ionics* : Thin films fabrication of ZrO_2 - TiO_2 - Y_2O_3 by laser CVD and their electrical properties Vol. 67, pp. 197-201, 1994.
- [15] K. Eguchi, T. Setoguchi, T. Inoue, H. Arai : Electrical properties of ceria-based oxides and their application to solid oxide fuel cells, *Solid State Ionics*, Vol. 52, pp. 165-172, 1992.
- [16] C. C. Chen M. M. Nasrallah, H. U. Anderson : Synthesis and Characterization of $(CeO_2)_{0.8}(SmO_{1.5})_{0.2}$ Thin Films from Polymeric Precursors, *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 140, pp. 3555-3560, 1993.
- [17] J. Jue, J. Jusko, A. V. Virkar : Electrochemical Vapor Deposition of CeO_2 : Kinetics of Deposition of a Composite, Two-layer Electrolyte, *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 139, pp. 2458-2465, 1992.
- [18] H. Iwahara, T. Esaka, H. Uchida, T. Yamauchi, K. Ogaki : High Temperature Type Protonic Conductor Based on $SrCeO_3$ and its Application to the Extraction of Hydrogen Gas, *Solid State Ionics*, Vol. 18, pp. 1003-1007, 1986.
- [19] H. Uchida, H. Yoshikawa, T. Esaka, M. Ohtsu, H. Iwahara : Formation of Proton in $SrCeO_3$ -based Proton Conducting Oxides, Part II. Evaluation of Proton Concentration and Mobility in Yb-doped $SrCeO_3$, *Solid State Ionics*, Vol. 36, No. 1, pp. 89-95, 1989.
- [20] K. Amezawa, Y. Kitajima, Y. Tomii, N. Yamamoto, M. Widerae, T. Norby : Protonic Conduction in Acceptor-doped LaP_3O_9 , *Solid State Ionics*, Vol. 176, pp. 2867-2870, 2005.
- [21] N. Kitamura, K. Amezawa, Y. Tomii, T. Hanada, N. Yamamoto : Electrical Conduction in Sr-doped $(La_{0.99}Ce_{0.01})PO_4$, *Solid State ionics*, Vol. 176, pp. 2875-2879, 2005.
- [22] N. Kitamura, K. Amezawa, Y. Tomii, T. Hanada, N. Yamamoto, T. Omata, S. Otsuka : Electrical Conduction Properties of Sr-Doped $LaPO_4$ and $CePO_4$ under Oxidizing and Reducing Conditions, *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 152, pp. A658-A663, 2005.
- [23] K. Amezawa, J. Yamada, N. Kitamura, Y. Tomii, T. Hanada, N. Yamamoto : High temperature protonic conduction in Sr-doped $La_2Si_2O_7$, *Solid State Ionics*, Vol. 176, pp. 341-347, 2005.
- [24] R. Haugsrud, T. Norby, *Solid State Ionics* : High-temperature proton conductivity in acceptor-doped $LaNbO_4$, Vol. 177, pp. 1129-1135, 2006.
- [25] N. Aliouane, A. Hammouche, R. W. Doncker, L. Telli, M. Boutahala, B. Brahimi : Investigation of hydration and protonic conductivity of H-montmorillonite, *Solid State Ionics*, Vol. 148, pp. 103-110, 2002.
- [26] T. Esaka, T. Mangahara, H. Iwahara : Oxide Ion Conduction in the Sintered Oxides of the System Bi_2O_3 - MO_2 , $M = Ti, Sn, Zr, Te$, *Solid State Ionics*, Vol. 36, No. 1, pp. 129-132, 1989.
- [27] T. Esaka, A. Aoki, H. Iwahara : High Ionic Conduction in Tetragonal Solid Solution of the System La_2O_3 - MgF_2 , *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 16, No. 2, pp. 259-264, 1986.
- [28] T. Esaka, R. Okuyama, H. Iwahara : Ionic Conduction in Sintered Fluoro-complexes Li_mMF_6 , $M = Al, Ti$, *Solid State Ionics*, Vol. 34, No. 3, pp. 201-205, 1989.
- [29] H. Iwahara, T. Esaka, T. Mangahara : Mixed Conduction and Oxygen Permeation in the Substituted Oxides for $CaTiO_3$, *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 18, No. 2, pp. 173-177, 1988.
- [30] 岩原弘育, 江坂享男, 浜島久幸 : 新しいSOFC用空気極材としての $Ca_{1-x}Ce_xMnO_{3\pm\delta}$ 系酸化物, *電気化学 (presently Electrochemistry)*, Vol. 57, No. 6, pp. 591-594, 1989.
- [31] H. Iwahara, T. Esaka, Y. Miyawaki : Oxide Ion Conduction in Highly Electronic Conductivity Conductors based on $SrMnO_{3-\delta}$, *Solid State Ionics*, Vol. 44, No. 3, pp. 257-262, 1991.
- [32] T. Esaka, T. Fujii, K. Suwa, H. Iwahara : Electrical Conduction in $CaTi_{1-x}Fe_xO_{3-\delta}$ under Low Oxygen Pressure and its Application for Hydrogen Production, *Solid State Ionics*, Vol. 40, pp. 544-547, 1990.
- [33] T. Esaka, H. Morimoto : The Use of Oxide Ceramic Cathode in Alkaline Primary Battery, *Progress in Batteries & Solar Cells*, Vol. 12, pp. 1-4, 1993.
- [34] T. Esaka, H. Morimoto, M. Kamata : The Cathodic Properties of Sintered Porous Oxide $Ca_{0.9}La_{0.1}MnO_{3-\delta}$ in Alkaline Solution, *Denki Kagaku (presently Electrochemistry)*, Vol. 61, No.

- 8, pp. 1028-1029, 1993.
- [35] M.Kamata, T.Esaka, H.Morimoto : Computer Simulation on the Usage Efficiency of Cathode Material in Alkaline Battery, *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 142, No. 5, pp. 1365-1368, 1995.
- [36] H. Morimoto, M. Kamata, T. Esaka : Nonstoichiometry of Sintered Oxide $\text{Ca}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{MnO}_{3-\delta}$ and its Cathodic Properties in Alkaline Solutions, *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 143, No. 2, pp. 567-570, 1996.
- [37] T. Esaka, M. Kamata, M. Ohnishi : Control of Oxygen Deficiency in $\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x\text{MnO}_{3-\delta}$ and its Cathodic Properties in Alkaline solution, *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 26, No. 4, pp. 439-442, 1996.
- [38] H. Morimoto, T. Esaka, M. Kamata : Preparation of the Perovskite-type Oxide $\text{Ca}_{0.9}\text{Nd}_{0.1-y}\text{MnO}_{3-\delta}$ and its Cathodic Property in Alkaline Solution, *Denki Kagaku (presently Electrochemistry)*, Vol. 64, No. 10, pp. 1084-1089, 1996.
- [39] H. Morimoto, T. Esaka, S. Takai : Properties of the Perovskite-type Oxide Ceramic $\text{Ca}_{1-x}\text{La}_{2x/3}\text{MnO}_{3-\delta}$ as the Cathode Active Materials in Alkaline Batteries, *Materials Research Bulletin*, Vol. 32, No. 10, pp. 1359-1366, 1997.
- [40] T. Esaka, H. Morimoto, S. Takai : Application of the CaMnO_3 -based High Electronic Conductivity Ceramic to Cathode Active Material in Alkaline Battery, *Advance in Science and Technology*, Vol. 24, pp. 157-164, 1999.
- [41] H. Morimoto, T. Esaka : Cathodic Property of High Conductivity Ceramic $\text{Ca}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{MnO}_{3-\delta}$ in Saline Solutions, *Electrochemistry*, Vol. 69, No. 8, pp. 612-614, 2001.
- [42] T. Esaka, Y. Adachi : Electrode Property of Sintered Ceramic based on CaMnO_3 in LiOH Aqueous Solution, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, Vol. 2, No. 4, pp. 15-21, 2014.
- [43] F. Knok, W. Bogusz, W. Jakubowski, J. R. Dygas, D. Bangobango : Studies on preparation and electrical conductivity of BICOVOX, *Solid State Ionics*, Vol. 70-71, pp. 211-214, 1994.
- [44] J. R. Dygas, F. Krok, W. Bogusz, P. Kurek, K. Reselhuber, M. W. Breiter : Impedance study of BICUVOX ceramics, *Solid State Ionics*, Vol. 70-71, pp. 239-247, 1994.
- [45] O. Joubert, A. Jouanneaux, M. Ganne, R. N. Vannier, G. Mairesse : Solid phase synthesis and characterization of new BIMEVOX series: $\text{Bi}_4\text{V}_{2-x}\text{M}_x\text{O}_{11}$ ($\text{M}=\text{Sb}^{\text{V}}, \text{Nb}^{\text{V}}$), *Solid State Ionics*, Vol. 73, pp. 309-318, 1994.
- [46] T. Takahashi, H. Iwahara, T. Esaka : High Oxide Ion Conduction in the Sintered Oxides of the System $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-M}_2\text{O}_5$, *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 124, pp. 1563-1569, 1977.
- [47] T. Takahashi, T. Esaka, H. Iwahara : Conduction in Bi_2O_3 -based Oxide Ion Conductor under Low Oxygen Pressure. II. Determination of the Partial Electronic Conductivity, *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 7, pp. 303-308, 1977.
- [48] T. Esaka, T. Mina-ai, H. Kamata : Oxide Ion Conduction in the Solid Solution based on Scheelite-type Oxide PbWO_4 , *Solid State Ionics*, Vol. 57, pp. 319-325, 1992.
- [49] L. Hoffart, U. Heider, L. Jerissen, R. A. Huggins, W. Witschel : Transport properties of materials with the scheelite structure, *Solid State Ionics*, Vol. 72, pp. 195-198, 1994.
- [50] 江坂享男, 皆合哲男, 岩原弘育 : $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{WO}_{4+x/2}$ 系焼結体の酸化物イオン導電性, *電気化学 (presently Electrochemistry)*, Vol. 59, No. 4, pp. 343-344, 1991.
- [51] T. Esaka, T. Mina-ai, H. Iwahara : Oxide Ion Conduction in the Solid Solution based on Scheelite-type Oxide PbWO_4 , *Solid State Ionics*, Vol. 57, No. 3-4, pp. 319-325, 1992.
- [52] T. Esaka, R. Tachibana, S. Takai : Oxide Ion Conduction in the Sm-substituted PbWO_4 Phases, *Solid State Ionics*, Vol. 92, No. 1-2, pp. 129-133, 1996.
- [53] S. Takai, K. Sugiura, T. Esaka : Ionic Conduction Properties of $\text{Pb}_{1-x}\text{Ln}_x\text{WO}_{4+\delta}$, ($\text{Ln} = \text{Pr}$ and Tb), *Materials Research Bulletin*, Vol. 34, No. 2, pp. 193-203, 1999.
- [54] S. Takai, Y. Karita, T. Nakanishi, T. Esaka : Defect Properties of Mechanically Alloyed La-Substituted PbWO_4 , *Solid State Ionics*, Vol. 138, No. 1-2, pp. 161-168, 2000.
- [55] S. Takai, T. Adachi, T. Esaka : Investigation of the Localized Oxide Ion Interstitials of PbWO_4 -based Oxide Ion Conductors by Means of Impedance Spectroscopy, *Materials Research Bulletin*, Vol. 41, No. 11, pp. 2088-2093, 2006.
- [56] S. Takai, M. Satou, T. Yoshida, N. Chikashige, T. Kita, T. Esaka : Conduction Property of PbWO_4 - and PbMoO_4 -based Oxide Ion Conductors in Lower Oxygen Partial Pressures, *Electrochemistry*, Vol. 79, No. 9, pp. 696-700, 2011.
- [57] T. Esaka, Salmie S.B. Che Abdullah : Oxide Ion

- Conduction in the Perovskite-type LaYO_4 doped with ZrO_2 , *Electrochemistry*, Vol. 78, No. 11, pp. 907-911, 2010.
- [58] T. Esaka, T. Ikebe, M. Kamata : Oxide Ion Conduction in Sintered Spinel-type Oxide $\text{Zn}_{2-x/2}\text{Ti}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_4$, *Denki Kagaku (presently Electrochemistry)*, Vol. 61, No. 7, pp. 749-750, 1993.
- [59] T. Esaka, T. Ikebe, M. Kamata : Formation of Oxide Ion Conductive Phase in the Substituted Oxide System Based on Zn_2TiO_4 , *Solid State Ionics*, Vol. 76, No. 3, pp. 237-242, 1995.
- [60] S. Takai, T. Shinohara, A. Hoshikawa, S. Harjo, K. Oikawa, T. Ishigaki, T. Kamiyama, T. Esaka : Neutron Diffraction Study on the Defect Structure of Ta-substituted Zn_2TiO_4 Oxide Ion Conductors, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, Vol. 115, No. 11, pp. 780-785, 2007.
- [61] S. Takai, H. Okada, K. Ohyama, T. Esaka : Preparation and Defect Structure of Ta- and Al-doped Zn_2TiO_4 showing Oxide ion Conduction via Cation Vacancy, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, Vol. 116, No. 4, pp. 525-529, 2008.
- [62] S. Takai, K. Tabuchi, H. Okada, T. Esaka : Defects and Oxide Ion transport Properties in the Substituted Zn_2TiO_4 , *Journal of the Ceramic Society of Japan*, Vol. 118, No. 10, pp. 895-898, 2010.
- [63] J. Kuwano, N. Sato, M. Kato, K. Takano : Ionic conductivity of $\text{LiM}_2(\text{PO}_4)_3$ ($M = \text{Ti, Zr, Hf}$) and related compositions, *Solid State Ionics*, Vol. 70-71, pp. 332-336, 1994.
- [64] Y. Zou, A. Petric : Structure and conductivity of zirconium-doped polycrystalline lithium yttrium oxide, *Materials Research Bulletin*, Vol. 28, pp. 1169-1175, 1993.
- [65] Y. Inaguma, L. Chen, M. Itoh, T. Nakamura : Candidate compounds with perovskite structure for high lithium ionic conductivity, *Solid State Ionics*, Vol. 70-71, pp. 196-202, 1994.
- [66] M. Itoh, Y. Inaguma, W. Junk, L. Chen, T. Nakamura : High lithium ion conductivity in the perovskite-type compounds $\text{Ln}_{1/2}\text{Li}_{1/2}\text{TiO}_3$ ($\text{Ln}=\text{La, Pr, Nd, Sm}$), *Solid State Ionics*, Vol. 70-71, pp. 203-207, 1994.
- [67] T. Hibino, T. Akimoto, H. Iwahara : Protonic conduction of mordenite-type zeolite, *Solid State Ionics*, Vol. 67, pp. 71-76, 1993.
- [68] T. Esaka, M. Kamata, H. Saito : Alkali Ion Conduction in the Substituted Phase Based on Scheelite-type Oxide, *Solid State Ionics*, Vol. 86-88, pp. 73-76, 1996.
- [69] M. Kamata, T. Esaka, K. Takami, S. Takai, S. Fujine, K. Yoneda, K. Kanda : Studies on the Lithium Ion Conduction in $\text{Ca}_{0.95}\text{Li}_{0.10}\text{WO}_4$ using Cold Neutron Radiography, *Solid State Ionics*, Vol. 91, No. 3-4, pp. 303-306, 1996.
- [70] M. Kamata, T. Esaka, S. Fujine, K. Yoneda, K. Kanda : Application of Neutron Radiography to Visualize the Motion of Lithium Ions in Lithium Ion Conducting Materials, *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 143, No. 6, pp. 1866-1870, 1996.
- [71] M. Kamata, T. Esaka, S. Fujine, K. Yoneda, K. Kanda : Application of NR for Research in Electrochemical Systems, *Journal of Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A*, Vol. 377, No. 1, pp. 161-165, 1996.
- [72] M. Kamata, T. Esaka, K. Takami, S. Takai, S. Fujine, K. Yoneda, K. Kanda : Application of Cold Neutron Radiography to Study the Lithium Ion Movement in $\text{Li}_{1.33}\text{Ti}_{1.67}\text{O}_4$, *Denki Kagaku (presently Electrochemistry)*, Vol. 64, No. 9, pp. 984-987, 1996.
- [73] T. Esaka, M. Kamata, K. Takami, S. Takai, S. Fujine, K. Yoneda, K. Kanda : Application of NR to Study the Lithium Ion Transfer in Solid Ionic Conductors, *Key Engineering Materials*, Vol. 132-136, pp. 1393-1396, 1997.
- [74] T. Esaka, S. Takai, M. Kamata : NR Measurements to Study the Reversible Transfer of Lithium Ion in Lithium Titanium Oxide, *Materials Research Society Symposium Proceedings*, Vol. 496, pp. 335-340, 1998.
- [75] S. Takai, M. Kamata, S. Fujine, K. Yoneda, K. Kanda, T. Esaka : Diffusion Coefficient Measurement of Lithium Ion in $\text{Li}_{1.33}\text{Ti}_{1.67}\text{O}_4$ by Means of Neutron Radiography, *Solid State Ionics*, Vol. 123, No. 1-4, pp. 165-172, 1999.
- [76] M. Hayashi, H. Sakaguchi, S. Takai, T. Esaka : Lithium Ion Conduction in Scheelite-type Oxides and Analysis of Lithium Ion Motion by Neutron Radiography, *Solid State Ionics*, Vol. 140, No. 1-2, pp. 71-76, 2001.
- [77] M. Kamata, T. Esaka, S. Fujine, K. Yoneda, K. Kanda : Application of Neutron Radiography to Measuring Hydrogen Contents in Hydrogen Containing Solid Solution I. Solid Solubility of CaH_2 into CaF_2 , *Denki Kagaku (presently Electrochemistry)*, Vol. 61, No. 10, pp. 1214-1218, 1993

- [78] H. Sakaguchi, K. Kouzai, K. Hatakeyama, S. Fujine, K. Yoneda, K. Kanda, T. Esaka : Visualization of Hydrogen in Hydrogen Storage Alloys Using Neutron Radiography, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 25, No. 12, pp. 1205-1208, 2000.
- [79] T. Esaka, M. Kamata : Application of Neutron Radiography to Measurement of Hydrogen Contents in Hydrogen-containing Ceramics, *Advance in Science and Technology*, Vol. 38, pp. 383-389, 2002.
- [80] H. Sakaguchi, Y. Satake, K. Hatakeyama, S. Fujine, K. Yoneda, M. Matsubayasi, T. Esaka : Analysis of Hydrogen Distribution in Hydrogen Storage Alloy Using Neutron Radiography, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 354, No. 1-2, pp. 208-215, 2003.
- [81] T. Esaka : Analysis of Lithium and Hydrogen Movement in Functional Solid Materials by Neutron Radiography, *Ionics*, Vol. 10, No. 5-6, pp. 356-365, 2004.
- [82] M. Kamata, T. Esaka, S. Fujine, K. Yoneda, K. Kanda : Application of Neutron Radiography to Visualize the Distribution of Lithium in Lithium Battery, *Denki Kagaku (presently Electrochemistry)*, Vol. 63, No. 11, pp. 1063-1065, 1995.
- [83] M. Kamata, T. Esaka, S. Fujine, K. Yoneda, K. Kanda : Lithium Batteries: Application of Neutron Radiography to the Study of Lithium Batteries, *Journal of Power Sources*, Vol. 68, No. 2, pp. 459-462, 1997.

(受理 平成26年10月14日)

惑星大気突入飛行に伴う極超音速プラズマ流に関する研究

山田 剛治
鳥取大学大学院工学研究科機械宇宙工学専攻

Study on Hypersonic Plasma Flows associated with Planetary Entry Flights

Gouji YAMADA
Department of Mechanical and Aerospace Engineering
Tottori University, Tottori, 680-8552 Japan
E-mail: yamada@mech.tottori-u.ac.jp

Abstract: This paper introduces the study on hypersonic plasma flows associated with planetary entry flights. The study is aiming at improving the prediction accuracy of planetary entry flight environments by investigating the characteristics of hypersonic plasma flows behind shock waves generated in entry flight conditions. In the first part of this paper, one of the ground testing facility to simulate entry flight conditions is described. Then, a measurement technique for hypersonic plasma flows is described by introducing the measurement system developed at the test section of a shock tube. After that, spectroscopic data of CO₂-N₂ plasma flows in an entry flight condition are shown to describe the thermochemical state in the plasma flows. Finally, the summary of this paper is presented.

Key Words: Planetary entry flight, CO₂-N₂ plasma, Shock tube, Spectroscopy, Nonequilibrium thermochemistry

1. はじめに

近年、はやぶさミッションの成功を契機として様々な惑星探査計画が提案されている。特に二酸化炭素を主成分とする火星や金星への惑星探査が注目され世界各国で研究開発が活発に行われている^[1-3]。これらの惑星探査ミッションではエアロキャプチャを用いた惑星軌道投入やエアロブレーキを用いた軌道遷移など高度な大気突入飛行技術の適用が計画されている。そこで将来計画される火星・金星探査ミッションを実現するための重要技術課題として大気突入飛行技術の向上が必要となる。ここで大気突入飛行時の飛行環境について説明する。探査機が惑星大気に突入飛行する際には、機体前方に離脱衝撃波が生成されるために厳しい熱空力環境にさらされる。特に衝撃層内は極めて高温となり、振動励起、解離、電離、再結合反応などが生じて気体分子は高温プラズマの状態になる。ここで探査機周りの流れの速度がプラズマ流中で生じる熱的緩和や化学反応の速度よりも著しく高いために、流れは強い熱化学的非平衡状態になる。この熱化学的非平衡状態は、探査機の熱空力環境に大きな影響を及ぼすために、機体の空力設計及び熱防御材料を開発するためには高精

度に予測できることが必要となる。現在、数値流体力学（CFD）を利用した流れ場の数値解析により、探査機の熱空力特性の評価が広く行われている。これまでの研究から極超音速プラズマ流中で生じる熱化学的非平衡過程を予測するために様々な解析モデルが開発され数値解析に広く適用されてきた。しかしながら数値解析による予測結果の精度は、適用する解析モデルに大きく依存するために、十分な検証を行いモデルの精度を向上させる必要がある。そこで本研究は、惑星大気突入飛行環境を模擬した地上試験により、CFDによる数値解析結果を多方面から検証することで解析モデルの予測精度向上を目指すものである。以下では、筆者が行ってきた研究成果の一例を紹介する。

2. 大気突入飛行環境を再現する地上設備

惑星大気突入飛行時の高温衝撃層環境は、衝撃波管により模擬することができ、国内外において駆動方式などにより様々なものが存在する^[4-6]。本稿では、大気突入飛行環境を再現する衝撃波管の一例として、鳥取大学で開発した極超音速衝撃波管^[7]について説明する。図1に極超音速衝撃波管の概要図を、図2に装置の写真を示す。本装置は全長

約7mの自由ピストン駆動型の衝撃波管であり、高圧空気貯気槽、圧縮管、低圧管、真空タンク及び自由ピストンから構成される。表1にそれぞれの仕様を示す。真空タンクを除く装置各部分は、ピストン駆動時に生じる衝撃から守るために可動式の台に設置されている。貯気槽には、高圧窒素が充填され、急開弁を開くことによりピストン背面に作用し、ピストンを駆動する。そしてピストンは、圧縮管に充填されたヘリウムを断熱的に圧縮し、高温・高圧の状態が生成される。図3に自由ピストンを示す。ピストンには、気密性の確保と圧縮管内壁との摩擦係数を低減するためにテフロン製のピストンリングが取り付けられている。圧縮管と低圧管の間には鉄製の隔膜が設置され、圧縮されたヘリウムにより破膜する。図4に破膜前と破膜後の隔膜を示す。隔膜表面には十字型の溝が設けられており、全体の厚みと溝深さにより破膜圧力が調整される。低圧管は44mmの矩形断面を有しており、不純物からの発光を低減するためにアルミニウム合金製となっている^[8]。観測部は隔膜から2300mm下流に設置されており、この位置は平面衝撃波の形成距離が観測部直径の約40倍程度であることを考慮して決定した。また観測部壁面には、分光計測用に石英製観測窓が設置されている。圧縮管と低圧管は、メカニカルブースターポンプと油回転ポンプを用いて3.0Pa程度まで排気される。圧縮管端には、圧縮ヘリウムの圧力履歴を計測するために圧力センサーが取り付けられている。

観測部における衝撃波速度の計測を実施して、開発した衝撃波管の性能調査を行った結果を図5に示す。図中には比較対象として、過去に実施された火星探査ミッションのPathfinderとPhenixの大気突入飛行環境を示している^[9]。これより、計測した衝撃波速度は、PathfinderとPhenixの突入速度よりも大きな値を示しているのがわかる。よって、本装置は典型的な火星大気突入飛行時の衝撃層環境を模擬できる性能を有している。

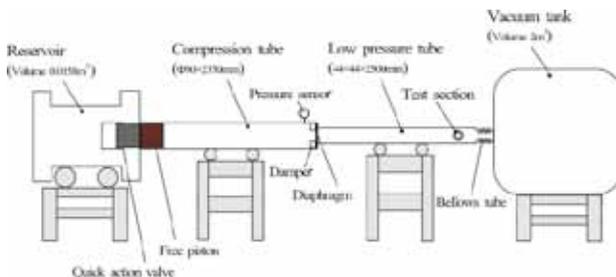


図1 極超音速衝撃波管の概要図

表1 装置各部の寸法

名称	断面	サイズ	材質
貯気槽	円形	Volume 0.0158 m ³	SUS304
圧縮管	円形	φ50 × 2350 mm	STKM13A
低圧管	矩形	40 × 40 × 2500 mm	A6063
真空タンク	円形	Volume 2 m ³	SUS304
ピストン	円形	φ49.7 × 80 mm	SUS304



図2 装置全体の写真



図3 自由ピストン



図4 隔膜（左：破膜前、右：破膜後）

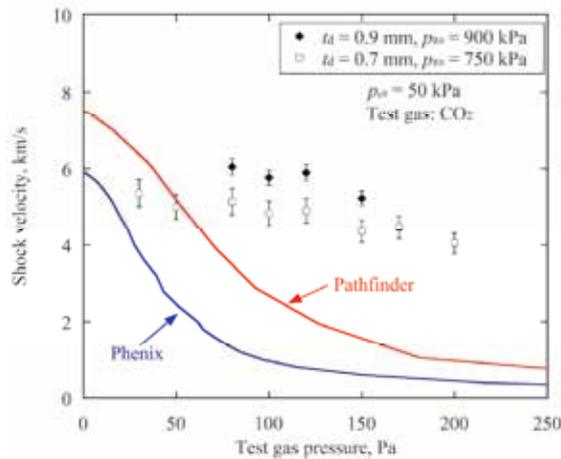


図5 衝撃波管の性能

3. 極超音速プラズマ流の計測手法

衝撃波管は、大気突入飛行時の衝撃層環境を模擬できるが、その反面現象が非常に速いために実験データを取得することが困難である。そこで衝撃波管を用いて高精度な実験データを取得するためには、高度な計測技術の開発が必要となる。本研究の計測対象は、衝撃波背後のプラズマ流からの発光現象である。この発光現象は、大気突入飛行時に探査機周りで生じ、探査機の空力特性や加熱率に影響を及ぼすために、特性解明が望まれている。図6に極超音速プラズマ流を計測するための光学計測システムの概要図を示す。2本のヘリウムネオンレーザーは、流れ方向に配置され観測部上方から垂直に通過させる。観測部通過後は、それぞれ別の光検出器に入射して、レーザー光強度をモニターする。衝撃波が観測部に到達すると、衝撃波面の密度勾配によりレーザー光が屈折するために、光検出器の出力値が変化する。よって観測部を通過する衝撃波の速度は、2本のレーザー間距離と出力変化の時間差により取得できる。

次に分光計測システムについて説明する。本計測システムは、著者が開発した極短時間多点分光計測システムであり、集光レンズ、ファイバアレイ、イメージング分光器、及びICCDカメラから構成されている。図7にファイバアレイと観測部計測位置の詳細を示す。観測部中心軸上の輻射光はファイバアレイの検出面に集光される。検出面には、10本のファイバ素子が1.0mm間隔で直線バンドルされている。よって、等倍になるように集光レンズを配置した場合、一度の計測で観測部中心軸上における輻射光を1.0mm間隔で取得で

きる。ファイバアレイで検出した輻射光は、分光器によりスペクトル成分に分散され、波長と空間位置の二次元のイメージとしてICCDカメラにより取得できる。図8にICCDカメラにより取得した二次元のイメージデータを示す。横軸は波長、縦軸は流れ方向の空間位置であり、スペクトル強度については、コンター表示となっている。また全輻射強度は、分光器の反対側の観測部に設置された、アバランシェ・フォトダイオード(APD)により計測され、出力信号は、ICCDカメラのトリガータイミングとして用いる。

最後に、計測スペクトルの衝撃波面からの位置の決定方法について説明する。図9に観測部におけるレーザー位置、スペクトル計測点及び衝撃波面間の位置関係の詳細を示す。スペクトル計測は衝撃波面が上流側のレーザーを通過後に開始する。ここで衝撃波面の到達は上流側のレーザーからの出力変化により検出する。ICCDカメラのトリガータイミングは、この出力変化をゼロ点として遅延パルス発生装置により遅れ時間を変化させることで制御する。図9より衝撃波面と上流側のレーザーとの相対位置は L_1+L_2 、衝撃波速度 V_{sh} と遅れ時間 ΔT より以下のように求まる。

$$L_1+L_2=V_{sh} \times \Delta T \quad (1)$$

よって、一番上流側の計測点の衝撃波面からの相対位置 L_1 は以下ようになる。

$$L_1=V_{sh} \times \Delta T - L_2 \quad (2)$$

以上から10点のスペクトル計測位置は1.0mm間隔で配置されているので、最終的にすべての計測位置の衝撃波面からの位置が取得できる。

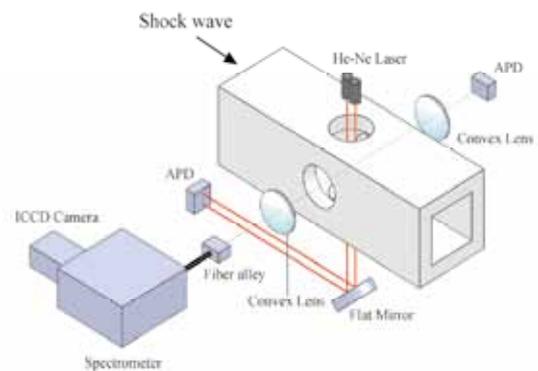


図6 光学計測システムの概要図

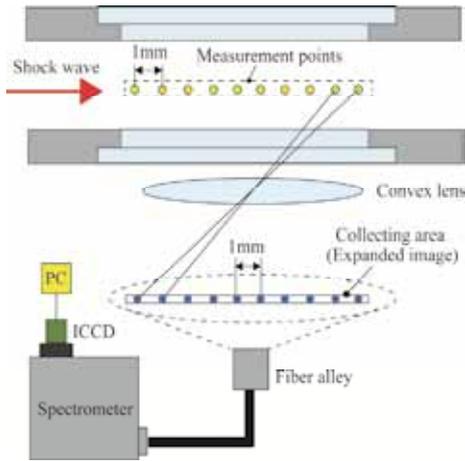


図7 極短時間多点分光計測システムの概要

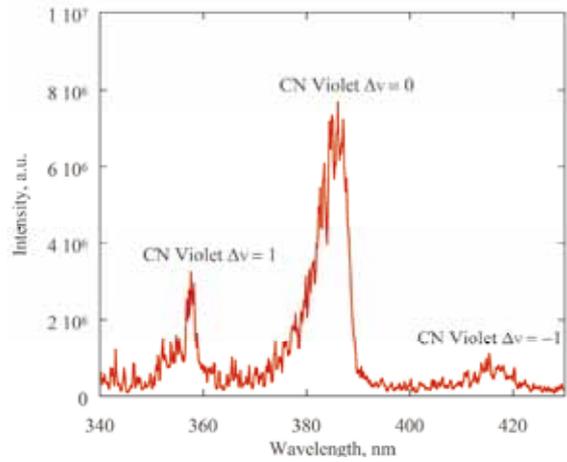


図10 衝撃波背後の発光スペクトル

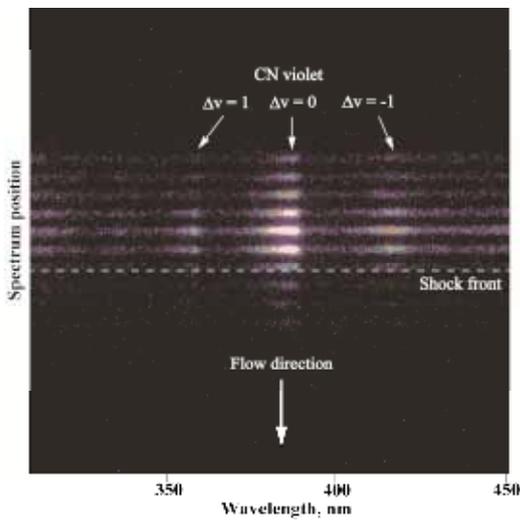


図8 スペクトル二次元イメージ

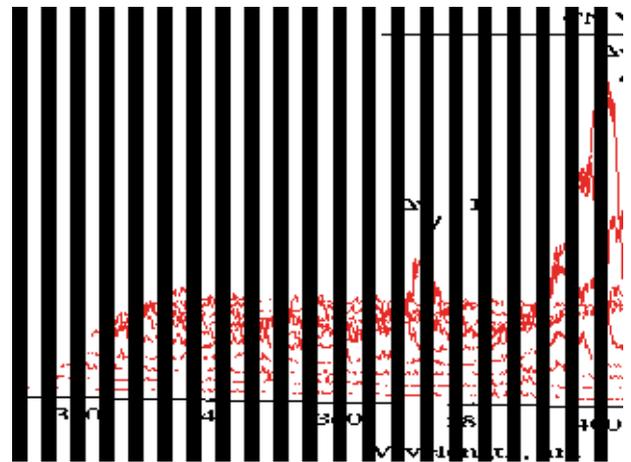


図11 スペクトル空間分布特性

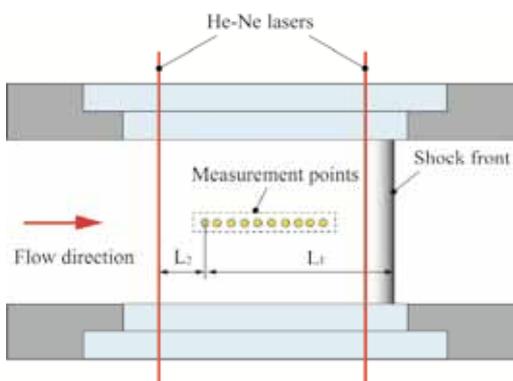


図9 レーザー、計測点及び衝撃波面の位置関係

4. 極超音速プラズマ流の放射特性

火星大気を模擬した 70%CO₂-30%N₂ 混合気体を試験気体として用い、衝撃波背後の輻射光を計測した結果について説明する。図 10 に衝撃波面から 3mm 後方位置で観測された計測スペクトルを示す。衝撃波速度は 5.26km/s、観測部圧力は 100Pa である。図より、CN 分子の電子遷移 CN Violet の主要なシーケンス $\Delta v = -1, 0, 1$ が観測されている。特に $\Delta v = 0$ の発光が最も支配的であることが分かる。この波長範囲においては、CN 分子以外の分子や原子からのスペクトルは見られない。図 11 に発光スペクトルの空間分布特性を示す。図中のスペクトル空間位置は衝撃波面からの距離となっている。発光強度は、衝撃波面直後から急激に増加して 2mm 付近でピークとなっている。よって

この領域においては、 CO_2 及び N_2 分子の解離反応とそれに続く CO 分子の解離反応が進行し、 CN 分子の生成反応が活発に生じていると考えられる。一方で波面から 2mm 後方領域においては、発光強度は緩やかに減少している。よってこの領域においては、生成された多数の CN 分子の分解反応あるいは脱励起反応が生じていると考えられる。

5. 極超音速プラズマ流の熱化学特性

発光スペクトルの形状は、プラズマ中に存在する化学種の内部エネルギー状態を反映したものである。よって発光スペクトルを解析することで、プラズマ中の化学種及び内部エネルギー状態が明らかになる。そこで本研究では衝撃波背後の $\text{CO}_2\text{-N}_2$ プラズマ流の熱化学特性を評価するために、輻射解析コード SPRADIAN2^[10]を用いたスペクトルフィッティング法を適用して回転・振動温度の空間分布特性を取得した。ここでスペクトルフィッティング法の手順を簡単に説明する。最初に計測スペクトルからフィッティング対象となる化学種と選定する。本研究では、 CN 分子を化学種として選定した。次に、選定した化学種について、温度（並進温度、回転温度、振動温度、電子励起温度、電子温度）あるいは数密度をパラメータとして SPRADIAN2 を用いて理論スペクトルを計算してデータベースを作成する。ここでは、回転温度と振動温度をパラメータとして計算を行った。最後に、計測スペクトルとの残差が最も少ない理論スペクトルをデータベースから探すことで、計測スペクトルの温度及び数密度を取得する。図 12 にスペクトルフィッティング法による結果を示す。図より SPRADIAN2 により計算した理論スペクトルと計測スペクトルは非常に良く一致している。この時、回転温度と振動温度は等しく 7500K となる。図 13 に回転・振動温度の空間分布特性を示す。図中の実線と破線は、それぞれ CFD 解析より求めた回転温度と振動温度である。これより衝撃波面から 1mm と 2mm においては、振動温度が回転温度よりも低く振動非平衡状態にあるのが分かる。一方衝撃波面から 3mm においては、回転温度と振動温度が 7500K と等しくなり熱的平衡状態に達しているのが分かる。CFD 解析結果も同様に衝撃波直後で振動非平衡状態にあり、約 3mm において熱的平衡状態に達しているのが分かる。しかしながら、衝撃波直後の 1mm においては実験と計算の相違が大きく、熱的非平衡領域においては今後詳細な調査を行っていく予定である。

6. まとめ

本稿では、申請者が行っている極超音速プラズマ流に関する研究について紹介した。今後本研究を精力的に遂行し、惑星大気突入飛行環境の予測技術を飛躍的に向上させ、探査機の安全性や信頼性の向上及び大幅なコストダウンを実現して、将来の火星探査ミッションに貢献したいと考えている。

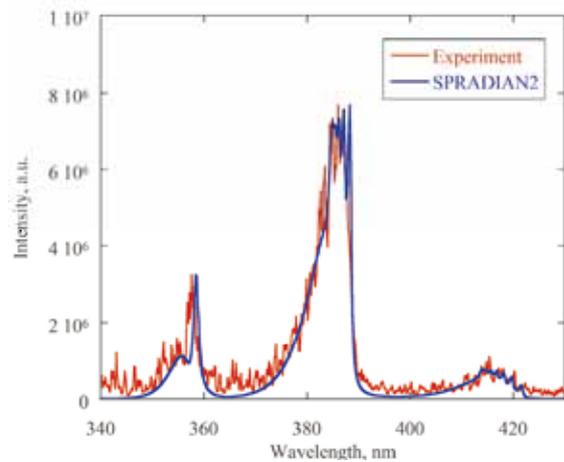


図 12 スペクトルフィッティング結果

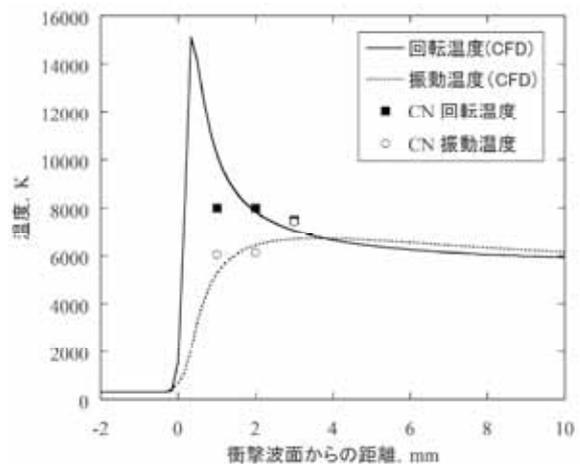


図 13 衝撃波背後の温度分布特性

参考文献

- [1] Vaughn, D., Miller, H. C., Griffin, B., James, B. F., and Munk, M. M. : A Comparative Study of Aerocapture Missions with a Mars Destination, AIAA-2005-4110, 2005.

- [2] Messina, P., Vennemann, D. : Current status of ESA's plans for Moon and Mars exploration, *Acta Astronautica*, Vol. 57, pp.156-160, 2005.
- [3] Lee, E. S., Park, C., and Chang, K. S. : Shock-Tube Determination of CN Formation Rate in a CO-N₂ Mixture, *Journal of Thermophysics and Heat transfer*, Vol. 21, pp.50-56, 2007.
- [4] Sharma, S. P., Park, C. : Operating Characteristics of a 60- and 10-cm Electric Arc-Driven Shock Tube – Part I: The Driver, *Journal of Thermophysics and Heat transfer*, Vol. 4, pp.259-265, 1990.
- [5] Rond, C., Boubert, P., Felio, J. M., and Chikhaoui, Aziz. : Radiation Measurements in a Shock Tube for Titan Mixtures, *Journal of Thermophysics and Heat transfer*, Vol. 21, pp.638-646, 2007.
- [6] Yamada, G., Suzuki, T., Takayanagi, H., and Fujita, K. : Development of Shock Tube for Ground Testing Reentry Aerothermodynamics, *Trans. JASASS*, Vol. 54, pp.51-61, 2011.
- [7] Yamada, G., Ago, S., Kubo, Y., Matsuno, T., and Kawazoe, H. : Development of a Shock Tube Facility for Nonequilibrium Radiation Studies in Mars Entry Flight Conditions, *Journal of Space Engineering*, Vol. 6, pp.28-43, 2013.
- [8] Park, C. : Review of Chemical –Kinetic Problems of Future NASA Missions, I: Earth Entries, *Journal of Thermophysics and Heat transfer*, Vol. 7, pp.385-398, 1993.
- [9] Edquist, K. T., Desai, P. N., and Schoenenberger, M. : Aerodynamics for the Mars Phoenix Entry Capsule, AIAA-2008-7219, 2008.
- [10] Fujita, K., Mizuno, M., Ishida, K., and Ito, T. : Spectroscopic Flow Evaluation in Inductively Coupled Plasma Wind Tunnel, *Journal of Thermophysics and Heat transfer*, Vol. 22, pp.685-694, 2008.

(受理 平成 26 年 11 月 7 日)

業績リスト

—2014—

機 械 工 学 講 座	39
応 用 数 理 工 学 講 座	44
知 能 情 報 工 学 講 座	48
電 気 電 子 工 学 講 座	59
応 用 化 学 講 座	66
生 物 応 用 工 学 講 座	71
土 木 工 学 講 座	73
社 会 経 営 工 学 講 座	78

機械工学講座

One-dimensional Unsteady Thermal Stress in Heat-ray Absorbing Sheet Glass – Influence of a Sudden Weather Change –

Hachiya, T., Obata, Y.

10th International Congress on Thermal Stresses (TS2013), Nanjing, China, May 31-June 4, 2013.

One-dimensional Unsteady Thermal Stresses in Sheet Glass Bonded with Heat-ray Absorbing Film

Iyama, Y., Obata, Y.

10th International Congress on Thermal Stresses (TS2013), Nanjing, China, May 31-June 4, 2013.

Application of Preview Information to Pointing Control of Truss Structure using Artificial Thermal Expansion on Orbit

Funakoshi, Y., Ishimura, K., Ogi, Y., Iwasa, T., ASME, Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems (SMASIS2013), Snowbird, Utah, Sep. 16-18, 2013.

せん断負荷を受ける矩形膜の面外変位の確率分布モデルの検討

岩佐貴史^{*1}, 杉田総平^{*2}(鳥取大, 第一精工(株)), 膜構造研究論文集, No.27, 2013, 12月

Beams, Thermal Stresses

Obata, Y.

Encyclopedia of Thermal Stresses ed. by Hetnarski, R. B., Springer, pp.365-372, 2013.

Optimal Design of Functionally Graded Materials

Obata, Y.

Encyclopedia of Thermal Stresses ed. by Hetnarski, R. B., Springer, pp.3508-3519, 2013.

In-situ Synthesis of Alumina Matrix Composites by Spark Plasma Sintering

Chen, Z., Nugroho, S., Kawasaki, A.

Materials Science Forum, Vol.750, pp.92-95, Feb. 2013.

Fabrication of Clad Steel Pipes by Multi-Billet Extrusion Method

Fuchigami, M., Akao, T., Onda, T., Chen, Z.

Proc. of the 4th Joint Symp. on Mech. and Mater. Eng. between Northeast. Univ., Dalian Univ. of Tech. and Tottori Univ. (JSMME2012), pp.235-243, Mar. 2013.

Extrusion Behavior and Thermoelectric Properties of Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te₃ Compound

Nagami, Y., Akao, T., Onda, T., Chen, Z.

Proc. of the 4th Joint Symp. on Mech. and Mater. Eng. between Northeast. Univ., Dalian Univ. of Tech. and Tottori Univ. (JSMME2012), pp.250-257, Mar. 2013.

Preparation and Characterization of Zn₄Sb₃ Thermoelectric Materials with Addition of SiC Whiskers

Fujiwara, Y., Akao, T., Onda, T., Chen, Z.

Proc. of the 4th Joint Symp. on Mech. and Mater. Eng. between Northeast. Univ., Dalian Univ. of Tech. and Tottori Univ. (JSMME2012), pp.258-264, Mar. 2013.

Microstructure and Mechanical Properties of Reactive-Synthesized Alumina-Matrix Composites

Maeda, K., Akao, T., Onda, T., Chen, Z.

Proc. of the 4th Joint Symp. on Mech. and Mater. Eng. between Northeast. Univ., Dalian Univ. of Tech. and Tottori Univ. (JSMME2012), pp.265-272, Mar. 2013.

Preparation and Characterization of Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te₃ Bulk Thermoelectric Materials

Nagami, Y., Matsuoka, K., Akao, T., Onda, T., Hayashi, T^{*}, Chen, Z. (*Yamaha Co.)

The 32nd Inter. Conf. of Thermoelectr. (ICT2013), Kobe, Jun. 2013.

Fabrication of Zn₄Sb₃ Bulk Thermoelectric Materials Reinforced with SiC Whiskers

Akao, T., Fujiwara, Y., Tarui, Y., Onda, T., Chen, Z.

The 32nd Inter. Conf. of Thermoelectr. (ICT2013), Kobe, Jun. 2013.

Fabrication of Bulk Thermoelectric Materials by Powder Extrusion Techniques

Chen, Z.

International Union of Materials Research Society – International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM2013), Qingdao, Sept. 2013.

Multiple Toughening in In-situ Synthesized Alumina Matrix Composites

Chen, Z., Maeda, K., Onda, T., Akao, T.
The 8th International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (THERMEC'2013), Las Vegas, Dec. 2013.

Zn₄Sb₃バルク熱電材料の押し出し成形

陳 中春

Form Tech Review, Vol.22, pp.36-41, Mar. 2013.

機能性と経済性を兼ね備えたクラッド複合鋼管の押し出し成形

陳 中春

公益財団法人 天田財団研究成果報告書, 第 25 巻, pp.72-76, 2013 年 3 月

電子ビーム照射による金型工具鋼への超硬合金複合層の形成

赤尾尚洋, 櫻井雄基, 上原一剛, 音田哲彦, 陳 中春

傾斜機能材料論文集, Vol.27, pp.38-43, Nov. 2013.

熱間押し出しによる Bi_{0.4}Sb_{1.6}Te₃ バルク熱電材料の作製

永見祐希, 松岡謙治, 赤尾尚洋, 音田哲彦, 陳 中春

第 64 回塑性加工連合講演会 講演論文集, pp.157-158, 2013 年 11 月

SiC ウィスカ添加した Zn₄Sb₃バルク熱電材料の熱間押し出し成形

赤尾尚洋, 藤原優哉, 樽井勇樹, 音田哲彦, 陳 中春

第 64 回塑性加工連合講演会 講演論文集, pp.159-160, 2013 年 11 月

Effects of Helix Angle on Root Stresses of Thin-Rimmed Helical Gears (Cases of $b_0=10$ and 20°)

Miyachika, K. and Daing Mohamad Nafiz, B. D. I.
Proceedings of the 5th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, 22 May, 2013.

Effects of Case Depth, Side-face Carburizing, Tempering and Intergranular Oxidation on Bending Fatigue Strength of Case Carburized SNC815 and SCM415 Steel Spur Gears

Maeta, N., Miyachika, K. and Kayama, S.
Proceedings of the 5th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, 32, May, 2013.

EBSD を用いた銅めっき層の初期疲労損傷に関する研究

小野勇一, 芝壮太郎, 井上裕也

日本機械学会論文集(A 編), 第 79 巻, 802 号, pp.802-812, 2013 年 6 月.

Effects of Helix Angle on Root Stresses of Thin-Rimmed Helical Gears with Various Web Arrangements

Miyachika, K. and Daing Mohamad Nafiz, B. D. I.
Proc. of ASME 2013 International Design Eng. Technical Conferences & Computers and Information in Eng. Conference IDETC/CIE2013, DETC2013-12852 on CD-ROM. Aug. 2013.

浸炭焼入れはすば歯車の残留応力と曲げ疲労強度に及ぼす硬化層深さおよびねじれ角の影響

野嶋賢吾*, 宮近幸逸, 安藤和彰, 生田智章** (*鳥取県産業技術センター, **鳥取県金属熱処理協業組合)

設計工学, 第 48 巻 8 号, pp.30-34, 2013 年 8 月

電着銅薄膜を利用した応力測定法 (雰囲気温度が粒子成長へ及ぼす影響)

小野勇一, 八木康行, 宮近幸逸

実験力学, 第 13 巻, 3 号, pp.300-305, 2013 年 9 月.

Investigation into Early Fatigue Damage in Electrodeposited Copper

Ono, Y., Morito, S.* (*Shimane University)
International Journal of Fatigue, Vol.54, pp.7-16, Sep. 2013.

Root Stress and Bending Fatigue Strength of Thin-Rimmed Helical Gears with Web Arrangement

Miyachika, K., Daing Mohamad Nafiz, B. D. I., Oda, S. and Ando, K.

International Conference on Gears, VDI-Berichte 2119, Vol.1, pp.609-620, Oct. 2013,

電着銅薄膜を用いた繰返し応力測定法 (非比例負荷への適用性検討)

小野勇一, 李成, 日野大輔
日本機械学会論文集(A編), 第79巻, 808号,
pp.1705-1715, 2013年12月.

Cyclic Stress Measurement Using Electrodeposited Copper Foil (Effect of Ambient Temperature on the Grain Growth)

Ono, Y., Yagi, Y., Miyachika, K.
Proc. 8th ISEM'13, CD-ROM, Nov. 2013.

Application of the Digital Image Correlation Method to Elastic Modulus Measurement of Metal Thin Films

Ono, Y., Shirahase, S.
Proc. 8th ISEM'13, CD-ROM, Nov. 2013.

Variation of temperature at the bottom surface of a hole during drilling and its effect on tool wear

Sato M., Aoki T., Tanaka H., Takeda S.
International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.68, pp.40-47, 2013.

Experimental Verification of Chatter-Free Ball End Milling Strategy

Lu L., Sato M., Tanaka H.
International Journal of Automation Technology, Vol. 7, No. 1, pp. 45-51, 2013.

Measurement of temperature at bottom surface of hole in drilling of CFRP and titanium stack

Sato M., Aoki T., Tanaka H., Takeda S.
Proceedings of The 7th International Conference on Leading Edge Manufacturing in the 21st Century, pp. 448-451, 2013.

再研削ボールエンドミルの切削特性について

加藤明^{*1}, 田中久隆, 佐藤昌彦, 荒木聡 (*¹鳥取県産業技術センター)
砥粒加工学会誌, 57巻, 5号, pp.303-308, 2013年.

プリント基板の微細穴加工技術に関する研究 - 樹脂付きエントリシートによる穴位置精度と穴壁面粗さの改善 -

佐藤崇弘^{*1}, 田中久隆, 佐藤昌彦, 小出隆夫, 中島義徳^{*2}, 河本継司^{*2}, 大村善彦^{*3}, 山本智昭^{*1} (*¹鳥取県産業技術センター, *²片木アルミニウム製作所, *³大村塗料)

精密工学会誌, 79巻12号, 2013, p. 1229-1234, 2013年.

Necessary and Sufficient Condition for Average-consensus of Networked Multi-Agent Systems with Heterogeneous Time-Delays

Sakurama, K., Nakano, K. (* UEC, Tokyo)
International Journal of Systems Science, DOI:10.1080/00207721.2013.798442, Apr. 2013

ロボット群移動のための隊列維持を考慮したリード追従型隊列誘導

鈴木学^{*}, 桜間一徳, 中野和司^{*} (*電気通信大学)
計測自動制御学会論文集, 第49巻, 2号, pp. 302-309, 2013年2月

講座・マルチエージェントの制御—IV 合意制御 (2)

桜間一徳
システム制御情報学会会誌 システム/制御/情報, 第57巻, 11号, pp. 470-479, 2013年11月

講座・マルチエージェントの制御—III 合意制御 (1)

桜間一徳
システム制御情報学会会誌 システム/制御/情報, 第57巻, 9号, pp. 386-396, 2013年9月

ロボット技術で宇宙を拓く

西田信一郎
建設コンサルタンツ協会会誌 Vol.261, pp.24-27, 2013年11月

Optimal Distributed Controllers Based on Gradient-flow Method for Multi-Agent Coordination

Sakurama, K., Azuma, S. *, Sugie, T. (* Kyoto Univ.)
The 52nd IEEE Conf. on Decision and Control, Dec. 2013

An MDP Approach to Modeling and Control of Real-Time Pricing Systems

Kobayashi, K. ^{*1}, Maruta, I. ^{*2}, Sakurama, K., Azuma, S. ^{*2} (*¹JAIST, *²Kyoto Univ.)
SICE Annual Conf. 2013, Sep. 2013

Basic Study on Active Acoustic Shielding: Phase 5

Improving Decentralized Control Algorithm to Enlarge AAS Window

Murao, T., Nishimura, M., Sakurama, K.
Internoise 2013, Sep. 2013

ANC with Multi-Channel Wave Synthesis Method (Phase 2: Experiments in Real Sound Field)

Nishimura, M., Maeda, S., Sakurama, K., Shigeki, K. *
(* Roarant Co.)
Internoise 2013, Sep. 2013

シオン用 1.5Cr-0.2Mo 焼結合金鋼歯車の荷重負荷能力 (駆動方式, 歯数, 相手歯車の材質, 表面転造の影響)

竹増光家^{*1}, 仲元雅人^{*1}, 小出隆夫, 武田義信^{*2}, 新仏利伸^{*3}, (*¹ 諏訪東京理科大学, ^{*2} ヘガネスジャパン, ^{*3} ニッセー)
粉体および粉末冶金 (粉体粉末冶金協会誌), 第 60 巻, 6 号, pp.271-277, 2013 年 6 月.

1.5Cr-0.2Mo 焼結合金鋼ローラの面圧疲労強度 (初期密度, 浸炭焼入れ深さ, 表面転造の影響)

竹増光家^{*1}, 仲元雅人^{*1}, 小出隆夫, 武田義信^{*2}, 新仏利伸^{*3}, (*¹ 諏訪東京理科大学, ^{*2} ヘガネスジャパン, ^{*3} ニッセー)
粉体および粉末冶金 (粉体粉末冶金協会誌), 第 60 巻, 6 号, pp.278-283, 2013 年 6 月.

Lifetime and meshing teeth temperature of plastic crossed helical gears: case of no lubrication

Takahashi, M. ^{*1}, Takahashi, H. ^{*1}, Koide, T., Nemoto, R. ^{*2} and Tamura, E. ^{*2}, (*¹ Kisarazu National College of Technology, ^{*2} Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology)
Proc. of International Conference on Gears, VDI-Berichte 2199.2, pp.1437-1442, Oct. 2013.

Process Optimization in Surface Rolling of 1.5Cr-0.2Mo High Density P/M Pinion Gears for Automotive Powder Transmission

Takemasu, T. ^{*1} and Koide, T., (*¹ Tokyo University of Science, Suwa)
Proc. of International Conference on Gears, VDI-Berichte 2199.2, pp.1479-1482, Oct. 2013.

Abnormality detection of gears system using vibration monitoring and Mahalanobis-Taguchi

System

Koide, T., Yasugi, T., Mori, T. and Matsuura, D. ^{*1}
(*¹ Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.)
Proc. of International Conference on Gears, VDI-Berichte 2199.2, pp.1513-1516, Oct. 2013.

プラスチック歯車の用途拡大と強度評価法の確立を目指して

小出隆夫, 上田昭夫^{*1}, (*¹ アムテック)
精密工学会誌, 79 巻, 10 号, pp.904-907, 2013 年 10 月.

プリント基板の微細穴加工技術に関する研究—樹脂付きエントリーシートによる穴位置精度と穴壁面粗さの改善—

佐藤崇弘^{*1}, 田中久隆, 佐藤昌彦, 小出隆夫, 中島義徳^{*2}, 河本継司^{*2}, 大村善彦^{*3}, 山本智昭^{*2}, (*¹ 鳥取県産業技術センター, ^{*2} 片木アルミニウム, ^{*3} 大村塗料)
精密工学会誌, 79 巻, 12 号, pp.1229-1234, 2013 年 12 月.

垂直軸風車特性予測のための広迎角範囲・広レイノルズ数範囲における翼型空力特性の CFD 計算

井上尚子, 西村紗也香, 原豊, 住隆博
ターボ機械, 第 41 巻, 2 号, pp.104-109,
2013 年 2 月

CFD によるキャンパー翼の空力特性計算と小型垂直軸風車特性予測への応用

原豊, 住隆博, 井上尚子, 田中華奈
日本機械学会論文集, 第 79 巻 808 号, pp.2567-2571,
2013 年 12 月

ICLASS 2012 レビュー (第 1 日目: 衝突液滴 II) (第 2 日目: 衝突液滴 III) (第 3 日目: 基調講演, 衝突噴霧 I, II)

小田哲也
微粒化, 第 22 巻, 75 号, pp.25-29, 2013 年 3 月

Influences of Liquid Properties on Impact Behavior of High-Speed Micro-Droplet onto an Inclined Surface

Oda, T., Abe, N., Matsuo, R., Kitagawa, Y., Masuda, H., Ohsawa, K.
Proceedings of the 16th Annual Conference of ILASS-Asia and the 22nd Symposium (ILASS-Japan)

on Atomization, pp.269-274, Dec. 2013.

On the Mechanism of Bluff Body Flow Control by Pulsed Plasma Actuator

Matsuno, T., Maeda, K., Fujita, N., Haruna, K., Baba, T., Yamada, G., Kawazoe, H.

Proc. 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, ICJWSF2013-1197, 2013, 6p.

Improvement of Flow Control Performance of Plasma Actuator Using Wind-Tunnel Test Based Efficient Global Optimization

Matsuno, T., Maeda, K., Yamada, G., Kawazoe, H., Kanazaki, M*. (*Tokyo Metropolitan University)

AIAA paper 2013-2512, 2013, 10p.

Temperature Measurements of CO₂ and CO₂-N₂ Plasma Flows around a Blunt Body in an Arc-Heated Wind Tunnel

Yamada, G., Otsuta, S., Matsuno, T., Kawazoe, H.

Aerospace Technology Japan, Vol.11, 2013, pp.87-91.

Development of a Shock Tube Facility for Nonequilibrium Radiation Studies in Mars Entry Flight Conditions

Yamada, G., Ago, S., Kubo, Y., Matsuno, T., Kawazoe, H.

Journal of Space Eng., Vol.6, No.1, 2013, pp. 28-43

Numerical analysis on the nonequilibrium phenomena of the electronic excitation process behind hypersonic shock waves

Yamada, G., Takayanagi, H., Suzuki, T., Fujita, K.

Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 56, No. 2, 2013, pp. 63-69.

Development of a Sensitivity-Adjustable Three-Component Force Balance and Its Application to Wind Tunnel Testing

Yamada, G., Kawazoe, H., Suemura, H., Matsuno, T., Obayashi, S.

Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 8, No. 2, 2013, pp.209-218.

Shock Tube Measurements of Precursor Radiation ahead of Hypersonic Shock Waves

Ago, S., Yamada, G., Setou, M., Kawazoe, H.,

Obayashi, S.

Proc. 13th International Symposium on Advanced Fluid Information, 2013, pp.20-21

Application of a Sensitivity-Adjustable Three Component Force Balance to a Silent Supersonic Biplane Model

Imagawa, S., Inoue, K., Yamada, G., Kawazoe, H., Obayashi, S.

Proc. 13th International Symposium on Advanced Fluid Information, 2013, pp.22-23.

地球大気再突入環境を模擬した衝撃層輻射光の分光解析

山田剛治

日本航空宇宙学会 奨励賞受賞講演, 2013, USB.

Efficient Global Optimization Applied to Wind Tunnel Evaluation Based Optimization for Improvement of Flow Control by Plasma Actuator

Kanazaki, M*., Matsuno, T., Maeda, K., Yamada, G., Kawazoe, H. (*Tokyo Metropolitan University)

IEEE Evolutionary Comp., 2013, pp. 2564-2571.

非定常空気力学の実験技術

川添博光

日本航空宇宙学会誌, 第 61 巻, 第 12 号, 2013, pp. 5-11.

応用数理工学講座

垂直軸風車特性予測のための広迎角範囲・広レイノルズ数範囲における翼型空力特性のCFD計算

井上尚子, 西村紗也香, 原 豊, 住 隆博
ターボ機械, 第41巻, 2号, pp.104-109, 2013年
2月

直線翼垂直軸風車の後流平均速度場の三次元計測

原 豊, 鈴木貴博, 掃部裕文
ターボ機械, 第41巻, 4号, pp.209-215, 2013年
4月

高起動性と高効率を両立するバタフライ風車

原 豊
ケミカルエンジニアリング, 第58巻, 5号,
pp.347-353, 2013年5月

変動風中における鉛直軸風車の過渡応答について(慣性モーメントの影響)

林 農^{*1}, 原 豊, 安随誠也^{*2}, 康 仁勝, 河村哲也^{*3}
(*¹名産科研, *²シンフォニアテクノロジー, *³お茶の水女子大)
日本機械学会論文集 (B編), 第79巻, 801号,
pp.953-965, 2013年5月

小型風力発電用の低重心風車とバタフライ風車の開発研究

原 豊
機能材料, 第33巻, 6号, pp.46-52, 2013年6月

二重翼垂直軸風車の特性に関する研究の紹介

原 豊
日本風力エネルギー学会誌, 第37巻, 1号,
pp.97-100, 2013年6月

Design and Estimated Economic Performance of a Floating Axis Marine Current Turbine in Kuroshio Ocean Current

Akimoto, H^{*1}, Tanaka, K^{*2}, Hara, Y., Uzawa, K^{*2}.
(*¹KAIST, *²The University Tokyo)
Proc. ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2013), Nantes, France, Tr.9, 10828, June, 2013.

Floating Axis Wind and Water Turbine for High Utilization of Sea Surface Area, (Design of Sub-Megawatt Prototype Turbine)

Nakamura, T^{*1}, Mizumukai, K^{*1}, Akimoto, H^{*2}, Hara, Y., Kawamura, T^{*3}. (*¹MODEC, *²KAIST, *³ Computational Fluid Dynamics Consulting Inc.)
Proc. ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2013), Nantes, France, Tr.9, 11287, June, 2013.

Wind Tunnel Test of Butterfly Wind Turbine and 2D-CFD Analysis of Double Blade Rotor

Hara, Y., Sumi, T., Emi, T., Wakimoto, M., Akimoto, H^{*1}, Kawamura, T^{*2}, Nakamura, T^{*3}. (*¹KAIST, *² Computational Fluid Dynamics Consulting Inc., *³MODEC)
Proc. 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF2013), Nagoya, Japan, Tr.07, No.1181, Sep. 2013.

Performance Prediction of Double-Blade VAWT by BEM with Quadruple-Multiple Streamtube Model and CFD

Hara, Y., Kawamura, T^{*1}, Akimoto, H^{*2}, Tanaka, K^{*3}, Nakamura, T^{*4}, Mizumukai, K^{*4}. (*¹ Computational Fluid Dynamics Consulting Inc., *²KAIST, *³The University Tokyo, *⁴MODEC)
Proc. 12th Asian International Conference on Fluid Machinery (12th AICFM), Jogjakarta, Indonesia, Paper No. 014, Sep. 2013.

Performance Measurements of Small-Scale Low Center-of-Gravity VAWTs (Comparison between Symmetrical and Cambered Blade Sections)

Hara, Y., Sumi, T., Wakimoto, M., Kogo, S., Mizuguchi, S., Yoshimi, K., Akimoto, H^{*}. (*KAIST)
Proc. 12th International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization (FLUCOME 2013), Nara, Japan, OS18-03-2, Nov. 2013.

A Conformal Mapping Technique to Correlate the Rotating Flow around a Wing Section of Vertical Axis Wind Turbine and an Equivalent Linear Flow around a Static Wing

Akimoto, H^{*1}, Hara, Y., Kawamura, T^{*2}, Nakamura, T^{*3}, Lee, Y-S^{*1}. (*¹KAIST, *² Computational Fluid

Dynamics Consulting Inc., *³MODEC)
Environmental Research Letters, Vol.8, 044040,
pp.1-10, Nov. 2013

CFDによるキャンパー翼の空力特性計算と小型垂直軸風車特性予測への応用

原 豊, 住 隆博, 井上尚子, 田中華奈
日本機械学会論文集 (B編), 第79巻, 808号,
pp.2567-2571, 2013年12月

2次元中性流体の定常状態のアニーリングシミュレーション

近末吉人*¹, 古川勝 (*¹東大新領域)
日本流体力学会 年会 2013 講演論文集, 2013年
11月

Ten-million-atom electronic structure calculations on the K computer with a massively parallel order-N theory, Takeo Hoshi, Yohei Akiyama, Tatsunori Tanaka and Takahisa Ohno, J. Phys. Soc. Jpn. 82, 023710, 4pp (2013)

An interior eigenvalue problem from electronic structure calculations, Dongjin Lee, Takafumi Miyata, Tomohiro Sogabe, Takeo Hoshi, Shao-Liang Zhang, Japan J. Indust. Appl. Math. 30, pp 625-633 (2013)

Boundary Element Analysis and Three-Dimensional Observation of Propulsive Force and Torque of a Dinoflagellate *Symbiodinium*
Nakai, T., Shihira-Ishikawa, I., Miyawaki, A., Goto, T.
J. Aero Aqua Bio-mechanisms, Vol. 3, No. 1, pp.79-84, Apr. 2013.

Bacterial Locomotion in an Infinite Liquid Medium and in the Presence of a Nearby Surface
Goto, T., Nakai, T.
J. Aero Aqua Bio-mechanisms, Vol. 3, No. 1, pp.2-7, Jan. 2013.

Dialysis Purification of Integrase-DNA Complexes Provides High-Resolution Atomic Force Microscopy Images: Dimeric Recombinant HIV-1 Integrase Binding and Specific Looping on DNA
Tsuruyama, T., Nakai, T., Ohmori, R., Ozeki, M., Tamaki, K., Yoshikawa, K.

PLoS One, Vol. 8, Iss. 1, e53572 (5 pages), Jan. 2013.

大学生の理系文章作成能力の現状と改善に向けた取り組み

中井唱, 星健夫, 吉本芳英
鳥取大学教育研究論集 第3号, pp.77-82, 2013年3月.

ロータの振動方程式における特性行列の実験同定 (理論とシミュレーション)

長江 信顕、後藤 知伸
日本機械学会論文集 C編, 第79巻, 803号, pp. 2314-2328, 2013年7月.

Dynamic flying characteristics of an air bearing slider over a disk with grooves and distribution of material properties

Fukui, S., Oono, A., and Matsuoka, H.
Microsystem Technologies, Vol. 19, Issue 9-10, pp. 1685-1690, 2013.

Thermo- molecular Gas-Film Lubrication (t-MGL) Analysis for Heat-assisted Magnetic Recording Head Slider

Fukui, S., Kitagawa, N., Wakabayashi, R., and Matsuoka, H.
Proceedings of the ASME 2013 Conference on Information Storage and Processing Systems (ISPS2013), 2013.

Thermo-molecular Gas-film Lubrication (t-MGL) Analysis for MEMS Elements (Application to HDD Flying Heads)

Fukui, S., Kitagawa, N., Wakabayashi, R., Yamane, K., and Matsuoka, H.
Proceedings of World Tribology Congress 2013 (WTC2013), 2013.

液体超薄膜の安定性・流動性解析について

福井茂寿
薄膜塗布技術と乾燥トラブル対策, 第6章第5節,
分担執筆, 技術情報協会, 2013.

Theoretical study of van der Waals dispersion force between macroscopic bodies with a periodic material distribution

Matsuoka, H., Kitahama, N., and Fukui, S.
Microsystem Technologies, Vol. 19, Issue 9-10, pp.

1661-1667, 2013.

Theoretical Study of van der Waals Dispersion Pressures Considering One-dimensional Material Distributions in In-plane Direction

Matsuoka, H., Kitahama, N., Tanaka, T., and Fukui, S.
Proceedings of the ASME 2013 Conference on Information Storage and Processing Systems (ISPS2013), 2013.

Theoretical Study of the van der Waals Dispersion Forces Considering Material Distributions

Matsuoka, H., Kitahama, N., and Fukui, S.
Proceedings of World Tribology Congress 2013 (WTC2013), 2013.

液体メニスカスの静的・動的特性について

松岡広成
薄膜塗布技術と乾燥トラブル対策, 第6章第4節,
分担執筆, 技術情報協会, 2013.

Thermocapillary instability of irradiated transparent liquid films on absorbing solid substrates

Saeki, F., Fukui, S., and Matsuoka, H.
Physics of Fluids, Vol. 25, Issue 6, 062107, 2013.

Thermal transpiration of a slightly rarefied gas through a horizontal straight pipe in the presence of weak gravitation

Doi, T.,
Fluid Dynamics Research Vol. 45, 055508, 2013.

Mathematical model of hit phenomena as a theory for collective motion of human mind in societies

A.Ishii, K.Furuta, T.Oka, H.Koguchi and K.Uchiyama,
Frontiers in Artificial Intelligence and Applications 255 (2013) 267 - 276.

Revenue Prediction of music concerts Using the Mathematical Model of Hit Phenomena

Y.Kawahata, E.Genda and A.Ishii,
the proceedings of the 2013 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE2013) 208-213

Quantitative analysis of social popularity of

entertainments using mathematical model for hit phenomena for Japanese pop girl group AKB48,

A.Ishii, S.Ota, H.Koguchi and K.Uchiyama,
the proceedings of the 2013 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering(ICBAKE2013) 143-147

Possibility of analysis of "Big Data" of Kabuki play in 19th century using the mathematical model of hit phenomena,

Y.Kawahata, E.Genda and A.Ishii
Lecture Note in Computer Science 8253 (2013) pp 656-659.

Mathematical Model of Hit Phenomena as a theory for human interaction in the society

A Ishii, H Koguchi and K Uchiyama,
the Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering series volume 0126 (2013) p.159-164
Eds. by K.Glass et al. (Springer)

Promotion Theater Company adopting a mathematical model of the Hit Phenomenon

Y.Kawahata, E.Genda and A.Ishii,
Advanced Science and Technology Letters 35 (2013) 62-65

ANALYSIS MUSIC CONCERTS ADOPTING THE MATHEMATICAL MODEL OF HIT PHENOMENA

Y.Kawahata, E.Genda and A.Ishii,
Computer Science and Information Technology (2013) 43-51

Development of Second Generation Gold-Supported Palladium Material with Low-Leaching and Recyclable Characteristics in Aromatic Amination

M Al-Amin, S Arai, N Hoshiya, T Homma, Y Tamenori, T Sato, M Yokoyama, A Ishii, M Takeuchi, T Maruko, S Shuto and M Arisawa,
J.Org.Chem. 78 (2013) 7575-7581.

ヒット現象を応用したアートマネジメント

川畑泰子^{*1}、源田悦夫^{*1}、石井晃、(^{*1}九州大学芸術工学府)
情報処理学会研究報告. EC, エンタテインメント

コンピューティング 29 (2013) 1-6

知能情報工学講座

Meeting Scheduling System using Unpleasant Notification

Mishima, M., Takahashi, T., Kawamura, T., Sugahara, K.

International Conference on IT Convergence and Security, pp. 43-46, Dec. 2013.

Implementation of Logging for Information Tracking on Network

Maeta, A., Takahashi, K., Kawamura, T., Sugahara, K.

International Conference on IT Convergence and Security, pp. 392-395, Dec. 2013.

Debugging Mobile Agent Systems

Higashino, M., Osaki, S., Otagaki, S., Takahashi, K., Kawamura, T., Sugahara, K.

Proceedings of the 15th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services (iiWAS 2013), pp. 667-670, Dec. 2013.

バスネットログ解析システム

楊 宜平, 見生元気, 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔

第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 2013 年 11 月

公共交通機関の利用者に向けた詳細なバス停情報の提供

辰田竜二, 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔

第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 2013 年 11 月

Program Conversion for the Protection of Personal Information

Kuto, K., Takahashi, K., Kawamura, T., Sugahara, K.

The Fourth International Symposium on Trust, Security and Privacy for Emerging Applications (TSP 2013), pp. 1599-1604, Nov. 2013.

多機能コンセントを用いた中規模センサネットワークの構築に関する研究

岡本拓也, 笹間俊彦, 川村尚生, 菅原一孔

第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 2013 年 11 月

Android のパーミッション機構に関する一考察

綿谷 彰, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔

第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 2013 年 11 月

A Sensitivity Adjustment for Tunable Antenna Using Predictive Data

Wataya, A., Yamane, T., Takahashi, K., Kawamura, T., Sugahara, K.

The 2013 International Workshop on Network Optimization and Performance Evaluation - (NOPE 2013), Nov. 2013.

スマートフォンによる人の移動履歴を用いた公共交通機関の利用提案

田中康平, 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔

第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp. 356-357, 2013 年 11 月

複数システムを跨がった人物追跡手法の提案

野村 温, 谷川浩三, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔

第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp. 442-445, 2013 年 11 月

多機能コンセントを用いたセンサデータ分析による室内状況の分類

岩崎 俊, 笹間俊彦, 川村尚生, 菅原一孔

第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 2013 年 11 月

バス運行ダイヤの見直しを目的とするバス走行データの分析

玉田 匡, 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔

第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 2013 年 11 月

モバイルエージェントシステムのデバッグの問題点とその対応

尾崎 慎, 東野正幸, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔

第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, pp. 332-335, 2013 年 11 月

モバイルエージェントの同時集中移動時における通信量の削減方式

東野正幸, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔

電気・情報関連学会中国支部第 64 回連合大会講演

論文集, pp. 246-247, 2013年10月

不愉快な通知による入力促進システムの提案と実装

三島朋之, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
電気・情報関連学会中国支部第64回連合大会講演論文集, pp. 177-178, 2013年10月

スマートフォンを利用したバスロケーションシステムの開発

伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔
電子情報通信学会論文誌, Vol. J96-D, No. 10, pp. 2327-2339, 2013年10月

Analyzing Demands and Activities of Public Transit Users from the Accesses to the Public Transit Guidance Service

Ito, M., Kenjo, G., Kawamura, T., Sugahara, K.
Proceedings of the SICE Annual Conference 2013, Sep. 2013.

モバイルエージェントのためのデバッグ環境の提案

尾崎 稔, 太田垣真也, 東野正幸, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
合同エージェントワークショップ&シンポジウム2013 (JAWS-2013), pp. 134-138, 2013年9月

GAPを用いたキャッシュによるエージェントの同時集中移動時における通信量の削減

東野正幸, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
合同エージェントワークショップ&シンポジウム2013 (JAWS-2013), pp. 11-13, 2013年9月

多機能コンセントを用いた 中規模センサネットワークの構築に関する研究

岡本拓也, 菅原一孔, 川村尚生, 笹間俊彦, 岩崎俊
第12回情報科学技術フォーラム, pp. 609-614, 2013年8月

公共交通機関の利用者に向けた詳細なバス停の乗り場と, 乗り場付近の地理的情報の提供

辰田竜二, 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔
第12回情報科学技術フォーラム, pp. 407-412, 2013年8月

ネットワークへの情報拡散追跡のためのデータ取

得

前田明彦, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
第12回情報科学技術フォーラム, pp. 221-224, 2013年8月

多機能コンセントを用いた部屋様態の分類のためのセンサデータ分析

岩崎 俊, 岡本拓也, 笹間俊彦, 川村尚生, 菅原一孔
第12回情報科学技術フォーラム, pp. 69-74, 2013年8月

モバイルアプリケーションによる移動履歴に基づいた公共交通機関の利用提案

田中康平, 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔
第12回情報科学技術フォーラム, pp. 69-74, 2013年8月

バスの遅れ予測を目的とする, バスロケーションシステムから得た走行データの分析

玉田 匡, 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔
第12回情報科学技術フォーラム, pp. 413-418, 2013年8月

モバイルエージェントシステムのためのリモートデバッグの検討

尾崎 稔, 太田垣真也, 東野正幸, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
第12回情報科学技術フォーラム, pp. 215-218, 2013年8月

個人情報保護を目的としたプログラム変換方法の検討

工藤邦晃, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
第12回情報科学技術フォーラム, pp. 241-244, 2013年8月

エージェント間の部分的な協調関係に着目したモバイルエージェントシステムのデバッグ手法の提案

太田垣真也, 尾崎 稔, 東野正幸, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
第12回情報科学技術フォーラム, pp. 211-213, 2013年8月

モバイルエージェント技術を用いた人物追跡システム—複数システムを跨がった人物追跡手法の提案—

野村 温, 谷川浩三, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
第 12 回情報科学技術フォーラム, pp. 247-250,
2013 年 8 月

A Precision Navigation System for Public Transit Users

Ito, M., Fukuta, S., Kawamura, T., Sugahara, K.
Proceedings of the HCI International 2013, LNCS
8028, pp. 302-308, Jul. 2013.

Development of Monitoring and Simulation System of Human Tracking System Based on Mobile Agent Technologies

Tanigawa, K., Sasama, T., Takahashi, K., Kawamura, T., Sugahara, K.
Proceedings of the International Conference on Mobile Communications, Networking and Applications, World Academy of Science, Engineering and Technology (ICMCNA 2013, WASET), pp. 311-316, Jul. 2013.

Sensor Data Classification and Principal Component Analysis Using the Multifunctional Outlet

Sasama, T., Kawamura, T., Sugahara, K.
Proceedings of the International Conference on Mobile Communications, Networking and Applications, World Academy of Science, Engineering and Technology (ICMCNA 2013, WASET), pp. 353-356, Jul. 2013.

Evaluation of Program Code Caching for Mobile Agent Migrations

Higashino, M., Takahashi, K., Kawamura, T., Sugahara, K.
Computer Technology and Application, Vol. 4, No. 7,
pp. 356-363, Jul. 2013.

A Log Analyzer of Public Transit Guidance Service to Improve a Route Bus Service

Kenjo, G., Ito, M., Kawamura, T., Sugahara, K.
Proceedings of the HCI International 2013, LNCS
8024, pp. 289-295, Jul. 2013.

不愉快な通知を利用した入力促進システムの提案
三島朋之, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
マルチメディア, 分散, 協調とモバイル

(DICOMO2013) シンポジウム論文集, pp.
1380-1386, 2013 年 7 月

ソーシャルメディアを活用した公共交通機関利用に導くモバイルアプリケーション

柴田博彬, 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔
マルチメディア, 分散, 協調とモバイル
(DICOMO2013)シンポジウム論文集, pp. 880-886,
2013 年 7 月

キャッシュによるエージェントの移動効率化

東野正幸, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
電子情報通信学会論文誌, Vol. J96-D, No. 7, pp.
1576-1584, 2013 年 7 月

乗換案内サービスの利用履歴から探る公共交通利用状況

伊藤昌毅, 見生元気, 川村尚生, 菅原一孔
第 9 回 電子情報通信学会ヒューマンプロブ研究会,
2013 年 6 月

乗換案内サービスの利用者の移動についての考察

見生元気, 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔
第 47 回土木計画学研究発表会・講演集, 2013 年 6 月

Improvement of an Automatic Vehicle Location System for Route Bus Service with OpenStreetMap Data

Piao, T., Ito, M., Kawamura, T., Sugahara, K.
Human Probes (HPB), Mar. 2013.

Management of Streaming Multimedia Content using Mobile Agent Technology on Pure P2P-based Distributed e-Learning System

Higashino, M., Hayakawa, T., Takahashi, K., Kawamura, T., Sugahara, K.
Proceedings of the 27th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2013), pp. 1041-1047, Mar. 2013.

Multimedia Streaming with Caching on Pure P2P-based Distributed e-Learning System using Mobile Agent Technologies

Higashino, M., Hayakawa, T., Takahashi, K., Kawamura, T., Sugahara, K.
Proceedings of the 2nd International Conference on

Electrical Engineering and Computer Sciences (ICEECS 2013), pp. 661-669, Mar. 2013.

Effective Mobile Agent Migration Mechanism on Load Distribution System

Higashino, M., Takahashi, K., Kawamura, T., Sugahara, K.

Proceedings of the 2nd International Conference on Electrical Engineering and Computer Sciences (ICEECS 2013), pp. 653-660, Mar. 2013.

チューナブルアンテナのための通信感度調整制御

山根文史, 高橋健一, 川村尚生, 菅原一孔
情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 81-90,
2013年1月

Extraction of Historical Transitions in Legal and Scientific Laws from Wikipedia

Fan, L., Murata, M., Tokuhisa, M., Ma, Q.* (*Ryukoku University)

International Journal of Advanced Intelligence, Vol.5, No.1, pp.83-94, 2013.

Automatic Selection and Analysis of Japanese Notational Variants on the Basis of Machine Learning

Murata, M., Kojima, M.*, Minamiguchi, T.*, Watanabe, Y.* (*Ryukoku University)

International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.9, No.10, pp.4231-4246, 2013.

Japanese Sentence Order Estimation using Supervised Machine Learning with Rich Linguistic Clues

Hayashi, Y., Murata, M., Fan, L., Tokuhisa, M.

International Journal of Computational Linguistics and Applications, Vol.4, No.2, pp.153-167, 2013.

時系列テキストデータからの派生情報取り出し技術の開発

村田真樹

技術総合誌 OHM, pp.6-7, 2013.

情緒推定における状況の対称性を考慮するためのパターン辞書の拡張

野口和樹, 徳久雅人, 村田真樹

言語処理学会第19回年次大会発表論文集, A4-4,

pp.256-259, 2013年3月.

教師あり機械学習による助詞の使い分け

三浦 智, 村田真樹, 徳久雅人

言語処理学会第19回年次大会発表論文集, P1-1, pp.322-325, 2013年3月.

教師あり機械学習を用いた段落の順序推定

伊藤聡史, 村田真樹, 徳久雅人, 馬 青* (*龍谷大学)

言語処理学会第19回年次大会発表論文集, P2-11, pp.442-445, 2013年3月.

主語補完による日英統計翻訳の翻訳精度の改善

古市将仁, 村上仁一, 徳久雅人, 村田真樹

言語処理学会第19回年次大会発表論文集, D5-2, pp.556-559, 2013年3月.

日英統計翻訳における対訳句コーパスの効果

日野聡子, 村上仁一, 徳久雅人, 村田真樹

言語処理学会第19回年次大会発表論文集, P3-1, pp.572-575, 2013年3月.

ルールベース翻訳を前処理に用いた階層型統計翻訳

岡崎 響, 村上仁一, 徳久雅人, 村田真樹

言語処理学会第19回年次大会発表論文集, P3-2, pp.576-579, 2013年3月.

句に基づく統計翻訳における未知語処理の1手法

藤原 勇, 村上仁一, 徳久雅人

言語処理学会第19回年次大会発表論文集, P3-3, pp.580-583, 2013年3月.

機械学習を用いた同義語の使い分け

強田吉紀, 村田真樹, 三浦 智, 徳久雅人

言語処理学会第19回年次大会発表論文集, P3-4, pp.584-587, 2013年3月.

パターンと機械学習による冗長な文の修正と修正のヒント出力

都藤俊輔, 村田真樹, 徳久雅人, 馬 青* (*龍谷大学)

言語処理学会第19回年次大会発表論文集, P3-5, pp.588-591, 2013年3月.

パターンと機械学習を用いた大規模テキストからの変遷情報の抽出と分類

堀さな子, 村田真樹, 徳久雅人, 馬 青* (*龍谷大学)

言語処理学会第 19 回年次大会発表論文集, P3-6, pp.592-595, 2013 年 3 月.

文パターンを用いた句の抽出方法の検討

春野瑞季, 村上仁一, 徳久雅人, 村田真樹
言語処理学会第 19 回年次大会発表論文集, P5-1, pp.741-744, 2013 年 3 月.

文型パターン辞書により中間言語に変換した統計翻訳の検討

坂田 純, 村上仁一, 徳久雅人, 村田真樹
言語処理学会第 19 回年次大会発表論文集, P5-3, pp.749-752, 2013 年 3 月.

論文作成支援のための学生論文における不適切な表現の分析

尾崎 遼, 村田真樹, 都藤俊輔, 三浦 智, 徳久雅人
言語処理学会第 19 回年次大会発表論文集, P5-4, pp.753-756, 2013 年 3 月.

大規模テキストデータを用いた社会構造ネットワークモデルの自動抽出

大竹竜太, 村田真樹, 徳久雅人
言語処理学会第 19 回年次大会発表論文集, P5-16, pp.798-801, 2013 年 3 月.

Pattern-Based Statistical Machine Translation for NTCIR-10 PatternMT

Murakami, J., Fujiwara, I., Tokuhisa, M.
In Proceedings of the 10th NTCIR Conference on Evaluation of Information Access Technologies, Jun. 2013.

Extracting and Clustering Blog Texts to Investigate Experiences of Tourists

Tokuhisa, M., Yamamoto, T., Fukui, T., Murata, M., Murakami, J.
In Proceedings of the 2013 International Conference on Artificial Intelligence (ICAL 2013), Vol.1, pp.268-273, Jul. 2013.

Pattern-Based English-Japanese Machine Translation with Statistical Method

Eki, T., Murakami, J., Tokuhisa, M.
In Proceedings of Pacific Association for

Computational Linguistics (PACLING 2013), Sep. 2013.

機械学習を用いた段落の順序推定実験

伊藤聡史, 村田真樹, 徳久雅人, 馬 青* (*龍谷大学)
第 12 回情報科学技術フォーラム講演論文集, 第 2 分冊, pp.215-216, 2013 年 9 月.

仮教師データと能動学習を用いた文抽出による発想支援

徳久雅人, 村田真樹, 村上仁一
電子情報通信学会 2013 年ソサイエティ大会講演論文集, A-13-7, p.133, 2013 年 9 月.

Passive and Active Voices in Engineering Papers

Shimizu, M.*, Murata, M. (*Tokyo University of Science)
GLoCALL 2013, Nov. 2013.

名詞述語文の意味類型化のためのパターン集の作成

藤原竜樹, 徳久雅人, 村上仁一, 村田真樹
第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 2013 年 11 月.

身体的特徴を考慮したEMG に基づく筋負荷推定—身体的特徴の分類と推定精度の向上—

櫛田大輔, 永富裕美, 北村章
電気学会論文誌C, Vol.133, No.5, pp.978-984, 2013

マルチエージェントシステムによる購買行動シミュレーションと店舗レイアウトの最適化

岡田美穂, 北村章, 中村昌弘
第57 回システム制御情報学会研究発表講演会, 327-4, 2013年5月

入院患者のベッド上における非拘束な位置・行動推定システム

上山翔太, 櫛田大輔, 北村章, 深田美香
第57 回システム制御情報学会研究発表講演会, 326-5, 2013年5月

脈波のR-R間隔を用いた痛み感覚の推定

石原望, 櫛田大輔, 北村章
第57 回システム制御情報学会研究発表講演会, 326-3, 2013年5月

可変ホイールベース機構を用いた電動車椅子の階段昇降

竹森史暁, 山本剛, 向井僚
第18回知能メカトロニクスワークショップ講演
論文集, pp. 29-33, 2013年8月

Estimation of Muscle Fatigue Based on the Frequency Analysis of EMG in Consideration of the Individual Difference

Aoki, K., Kushida, D., Kitamura, A.
Proceedings of SICE Annual Conference 2013,
pp.2641-2645, Sep. 2013

力制御によるアシスト比を考慮した下肢運動支援システムに関する研究

田端孝至, 竹森史暁, 北村章
パーティクルフィルタ研究会, 2013年10月

外乱推定オブザーバを用いた段差昇降機構の接地検知

向井僚, 竹森史暁, 北村章
パーティクルフィルタ研究会, 2013年10月

Kinectを用いた人の意思によるロボット制御

小恒雅昭, 竹森史暁, 北村章
第22回計測自動制御学会中国支部学術講演会論
文集, pp. 44-45, 2013年11月

階段昇降可能な電動車椅子の乗り心地に関する研究

柏木陽, 竹森史暁, 北村章
第22回計測自動制御学会中国支部学術講演会論
文集, pp. 122-123, 2013年11月

製造情報オントロジーとベイジアンネットワークを用いた品質分析支援システム

平尾勇樹, 北村章, 中村昌弘, 山下正美
第22回計測自動制御学会中国支部学術講演会論
文集, pp. 148-149, 2013年11月

GAを用いたファジィ推論による看護師の経験則のモデル化～入院患者のベッド上における姿勢危険度の推定～

安藤泰正, 榎田大輔, 北村章, 深田美香
第57回電気学会情報システム研究会, IS-13-062,
pp. 29-33, 2013年11月

市場と生産のサイクルを考慮したTOC理論に基づく最適工程設計

平本竜一, 北村章, 大田住吉
第57回電気学会情報システム研究会, IS-13-072,
pp. 67-71, 2013年11月

マルチエージェントシステムによる購買行動シミュレーションとそのショップレイアウト最適化への応用

岡田美穂, 北村章, 中村昌弘
第57回電気学会情報システム研究会, IS-13-065,
pp. 47-50, 2013年11月

入院患者のベッド上における姿勢危険度の推定～転倒アセスメントスコアと看護師の経験則のモデル化～

安藤泰正, 榎田大輔, 北村章, 深田美香
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, 2M2-1, pp. 1807-1812, 2013年12月

筋活動電位の周波数分析に基づく筋疲労の推定—筋線維タイプの変動を考慮した筋負荷制御の試み—

青木隆尚, 榎田大輔, 北村章
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, 3J2-3, pp. 2501-2506, 2013年12月

進化型計算とTOC理論による最適工程設計～需要予測を考慮した生産と市場動向サイクルの制御～

平本竜一, 北村章, 大田住吉
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, 3C2-5, pp. 2049-2053, 2013年12月

スマートフォンのセンサ情報を融合した道路形状プローブ方式の開発

横田孝義
電子情報通信学会技術研究報告, ITS 113(74),
pp. 13-18, 2013年5月

単位セル構造と走行実績を用いた地図生成方式の提案と経路探索への適用

村田大輔, 横田孝義
第12回情報科学技術フォーラム, RA-009, 2013年9月

スマートフォンとカルマンフィルターによる 3D 姿勢情報のセンシングに関する研究

村上 智哉, 横田 孝義

第 12 回情報科学技術フォーラム, A-017m2013 年 9 月

加減速と遠心力を考慮したスマートフォンによる走行車両の 3D 姿勢情報センシングに関する研究

村上智哉, 横田孝義

電子情報通信学会技術研究報告, ITS 113(337), pp. 55-60, 2013 年 12 月

走行実績データ (プローブデータ) を用いた経路選択要因の抽出と経路探索への応用,

山田康太郎, 虫明亨, 横田孝義

電気学会 電子・情報・システム部門 情報システム研究会, 2013 年 11 月

2 層液晶装置を利用したステレオビジョンによる障害物検知に関する研究,

藪田義人

2013 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 41-42, 2013 年

2 層液晶装置を利用したステレオビジョンによる物体追跡に関する研究,

藪田義人

2013 年度精密工学会秋季大会学術講演論文集 pp. 479-480, 2013 年

An Autonomous Robot Controlled by Stereo Vision System using Two-Layer LCD for avoidance of obstacles

Yabuta, Y.

Proceedings of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2013), 5 pages, 2013 年 11 月

Urban Transportation and Logistics: Health, Safety, and Security Concerns

Yokota, T.

Chapter 10: Application of ICT and ITS, CRC Press in Taylor&Francis, CRC Press, pp. 245-254, 2013

Global Positioning Systems: Signal Structure, Applications and Sources of Error and Biases

Yokota, T.

Chapter 3: Road Network Analysis Based on GPS Data and Dynamic Programming, nova science publishers, pp. 41-56, 2013

Randomness Criteria of the RMT-test Compared to the NIST

Yuuta Mikamori, Xin Yang, Ryota Itoi, Mieko Tanaka-Yamawaki,

Procedia Computer Science, Vol. 22, pp.1201-1209, 2013

Predicting the Security Levels of Stock Investment by Using the RMT-test

Xin Yang, Yuuta Mikamori, Mieko Tanaka-Yamawaki,

Procedia Computer Science, Vol. 22, pp.1172-1181, 2013

Finding a Prototype Form of Sustainable Strategies for the Iterated Prisoners Dilemma

Mieko Tanaka-Yamawaki, Ryota Itoi

HIMI/HCI2013, PartIII, LNCS(Springer), Vol.8018, pp.616-624, 2013

Extracting Market Trends from the Cross Correlation between Stock Time Series

M. Tanaka-Yamawaki, X. Yang, T. Kido, A. Yamamoto, CCIS(Springer), Vol.246, pp.25-38, 2013

Extracting Quarterly Trends of Tokyo Stock Market by Means of RMT-PCA

Mieko Tanaka-Yamawaki, Xin Yang, Takemasa Kido, Atsushi Yamamoto

Advances in Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, IOS Press, pp.2028-2036, 2013

Finding Good and Sustainable Strategies in the Iterated Prisoners Dilemma

Mieko Tanaka-Yamawaki and Ryota Itoi

Intelligent Decision Technologies, R. Neves-Silva et al. (Eds.), pp.216-224, 2013

Characteristic Features of the Sustainable Strategies in the Evolvable Iterated Prisoners' Dilemma

Mieko Tanaka-Yamawaki, Ryota Itoi
Intelligent Decision Technologies, R. Neves-Silva et al.
(IOS Press), pp.216-224, 2013

Randomness as the Security Levels of Investments

Mieko Tanaka-Yamawaki, Xin Yang, Yuuta Mikamori
Intelligent Decision Technologies, R. Neves-Silva et al.
(IOS Press), pp.344-352, 2013

A Study on the Randomness of Stock Prices by Using the RMT-test

Xin Yang, Mieko Tanaka-Yamawaki
12th Asia Pacific Physics Conference, July 14-19,
Chiba, 2013

ノイズ付き進化型繰り返し囚人のジレンマにおける長寿戦略の探求

糸井良太, 田中美栄子
情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用 6巻1号, pp.31-37, 2013

RMTテストの性能検証—NIST乱数検定との比較,
三賀森悠大, 楊欣, 糸井良太, 田中美栄子
情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用 6巻1号, pp.57-63, 2013

経済物理学とその周辺

田中美栄子
横幹(Oukan), Vol.7, No.2, pp.79-82, 2013

戦略の自動進化および時系列乱数度による価格予測

田中美栄子, 楊欣, 糸井良太
横幹(Oukan), Vol.7, No.2, pp.83-91, 2013

ランダムネスを利用したビッグデータ処理の効率化

田中美栄子
第2回スーパーコンピュータ「京」と生命科学シンポジウム, 岡山大学, July 19, 2013 (招待講演)

ノイズ付き進化型繰り返し囚人のジレンマにお

ける最適戦略の探求

糸井良太, 田中美栄子;
統計数理研究所共同研究リポート292巻「経済物理学とその周辺 (9)」(統計数理研究所) pp.58-69,2013

乱数度計RMTテストの実データへの応用—ハッシュ値とTick株価

楊欣, 三賀森悠大, 田中美栄子
統計数理研究所共同研究リポート292巻「経済物理学とその周辺 (9)」(統計数理研究所) pp.70-83,2013

RMTテストの性能検証—NIST乱数検定との比較

三賀森悠大, 楊欣, 糸井良太, 田中美栄子
統計数理研究所共同研究リポート292巻「経済物理学とその周辺 (9)」(統計数理研究所) pp.84-96,2013

株式市場の主成分追跡—RMT-PCAを用いた四半期間の主要業種抽出

山本敦史, 田中美栄子
統計数理研究所共同研究リポート292巻「経済物理学とその周辺 (9)」(統計数理研究所) pp.97-106,2013

乱数度計測器としてのRMTテストの応用

楊欣, 田中美栄子
統数研研究会「社会物理学の展望」(東京電機大・千住キャンパス2013. 3. 13)

しっぺ返しに勝つ戦略:どこまで先を読むべきか?

田中美栄子, 糸井良太
2013. 3. 13
統数研研究会「社会物理学の展望」(東京電機大・千住キャンパス2013. 3. 13)

進化型繰り返し囚人のジレンマにおける優良戦略の同定

田中美栄子, 糸井良太
統数研研究会「経済物理学とその周辺」(統数研立川キャンパス, 2013.3.14)

RMTテストによる短数度測定と安全株判定

楊欣, 田中美栄子
統数研研究会「経済物理学とその周辺」(統数研立川キャンパス, 2013.3.14)

Application of the RMT-test on Real Data—Hash Function and Tick Data of Stock Prices—

Xin Yang, Mieko Tanaka-Yamawaki

第17回進化経済学会大会(中央大学, 2013.3.15)

Tracing the Short-Term trends Extracted from the Cross Correlations of Market Prices Between Stock Pairs by Means of RMT-PCA

Mieko Tanaka-Yamawaki, Atsushi Yamamoto

第17回進化経済学会大会(中央大学, 2013.3.15)

FIT2013

株式市場の主成分追跡:RMT-PCA による四半期間の主要セクタ抽出

山本敦史, 田中美栄子

FIT2013 (鳥取大学)

RMT テストを用いた株価変動の乱数度とその収益性

楊欣, 三賀森悠太, 田中美栄子

FIT2013(鳥取大学)

人間乱数による個人識別の可能性

田中侑希, 田中美栄子

FIT2013 (鳥取大学)

乱数度測定器 RMT テストにおける高乱数度判定基準の再考

三賀森悠太, 楊欣, 田中美栄子

FIT2013 (鳥取大学)

The Application of the RMT-test on the High-frequency Price Time Series

M. Tanaka-Yamawaki and X.Yang

The 45th ISCIE International Symposium on

Stochastic Systems Theory and Its

Applications(SSS2013)Okinawa, Japan, November

1-2, 2013

複数の IR センサを用いた人物位置追跡システムに関する研究

末澤佑規, 吉村宏紀, 松村寿枝, 清水忠昭

第12回情報科学技術フォーラム(FIT2013), K-001,

2013年9月

Kinect と HMD による VR ユーザ・インタフェースの試み

栃尾篤志, 山下竜太, 吉村宏紀, 松村寿枝, 清水忠昭

第12回情報科学技術フォーラム(FIT2013), K-002,

2013年9月

インターネットライブ配信における聴衆の存在感伝達のための実験的検討

鈴木 慶, 伊瀬一貴, 吉村宏紀, 松村寿枝, 清水忠昭

第12回情報科学技術フォーラム(FIT2013), RJ-001,

(査読付き, FIT 奨励賞), 2013年9月

Kinect ネットワークを用いた人物位置追跡に関する研究

末澤佑規, 吉村宏紀, 松村寿枝, 清水忠昭

第15回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集、

(d)情報, 2013年11月

音楽療法のための EEG による感情推定

衣笠兼生, 吉村宏紀, 堀磨伊也, 清水忠昭, 岩井儀雄

第15回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集、

(d)情報, 2013年11月

Inference of Vohradsky's Models of Genetic Networks by solving Two-dimensional Function Optimization Problems

Kimura, S., Sato, M., Okada-Hatakeyama, M.

PLoS One, Vol.8, No.e83308 (11 pages), Dec. 2013.

Development of an Efficient Parameter Estimation Method for the Inference of Vohradsky's Neural Network Models of Genetic Networks

Kimura, S., Sato, M., Okada-Hatakeyama, M.

Proc. of the 2013 International Joint Conference on

Neural Networks, pp. 2676-2681, Aug. 2013.

Regression Based Trajectory Learning & Prediction for Human Motion

Alparslan Yildiz., Takemura, N., Iwai, Y., Sato, K.

Geometric Computation for Computer Vision (GCCV

2013), CD-ROM, Oct. 2013.

Tracking People with Active Cameras

Alparslan Yildiz., Takemura, N., Iwai, Y., Sato, K.

International Conference on Human-Computer

Interaction, Jul. 2013.

Generation of Facial Expression Emphasized with Cartoon Techniques Using a Cellular-phone-type Teleoperated Robot with a Mobile Projector

Tsuruda, Y., Hori, M., Yoshimura, H., Iwai, Y.

International Conference on Human-Computer Interaction, Jul. 2013.

Emotion Transmission by Color Effects for a Teleoperated Mobile Communication Robot

Fujie, Y., Hori, M., Yoshimura, H., Iwai, Y.
HRI2013 Workshop on Design of Humanlikeness in HRI from uncanny valley to minimal design, Mar. 2013.

AR 技術を用いた CG アバタによる道案内システム

村田 宙将, 堀 磨伊也, 吉村 宏紀, 岩井 儀雄
HAI シンポジウム, Dec. 2013.

顔追跡のための局所特徴評価

河合 将吾, 堀 磨伊也, 吉村 宏紀, 岩井 儀雄
IEEE 広島支部学生シンポジウム(HISS), Nov. 2013.

音楽療法のための EEG による感情推定

衣笠 兼生, 吉村 宏紀, 堀 磨伊也, 清水 忠昭, 岩井 儀雄
IEEE 広島支部学生シンポジウム(HISS), Nov. 2013.

エルフォイドのための色効果を用いた感情の伝達

藤江 祐平, 堀 磨伊也, 吉村 宏紀, 岩井 儀雄
IEEE 広島支部学生シンポジウム(HISS), Nov. 2013.

インタラクティブな CG アバタを用いた案内システム

村田 宙将, 堀 磨伊也, 吉村 宏紀, 岩井 儀雄
IEEE 広島支部学生シンポジウム(HISS), Nov. 2013.

エルフォイドのためのアニメーションの誇張表現による感情の伝達

鶴田 悠, 堀 磨伊也, 吉村 宏紀, 岩井 儀雄
IEEE 広島支部学生シンポジウム(HISS), Nov. 2013.

フレーミングサポートシステムのための審美的品質識別に関する写真の評価

濱田 隆平, 堀 磨伊也, 吉村 宏紀, 岩井 儀雄
IEEE 広島支部学生シンポジウム(HISS), Nov.

2013.

心理的效果を用いた運動促進システムの提案

IEEE 広島支部学生シンポジウム(HISS), Nov. 2013.

携帯型立体音響システムを用いた前方定位の実現

小林 龍之介, 吉村 宏紀, 堀 磨伊也, 岩井 儀雄
IEEE 広島支部学生シンポジウム(HISS), Nov. 2013.

音声会話への効果音の挿入による円滑なコミュニケーション手法の提案

須貝 美咲, 吉村 宏紀, 堀 磨伊也, 岩井 儀雄
IEEE 広島支部学生シンポジウム(HISS), Nov. 2013.

AR インタラクションのための指差しによる指定物認識システムの提案

三井 宏弥, 堀 磨伊也, 吉村 宏紀, 岩井 儀雄,
IEEE 広島支部学生シンポジウム(HISS), Nov. 2013.

フレーミングサポートシステムのための構図特徴を用いた写真の評価

濱田隆平, 堀磨伊也, 吉村宏紀, 岩井儀雄
情報科学技術フォーラム(FIT) 一般講演論文集,
Sep. 2013.

エルフォイドのためのアニメーション効果の付加による感情伝達

鶴田悠, 堀磨伊也, 吉村宏紀, 岩井儀雄
情報科学技術フォーラム(FIT) 一般講演論文集,
Sep. 2013.

顔追跡のための顔画像における局所特徴評価

河合将吾, 堀磨伊也, 吉村宏紀, 岩井儀雄, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013)講演論文集,
Jul. 2013.

携帯型遠隔操作アンドロイドを用いた感情伝達

鶴田悠, 藤江祐平, 堀磨伊也, 吉村宏紀, 岩井儀雄

画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013)講演論文集, Jul. 2013.

CG アバタとのインタラクションによる AR 案内

システム

村田宙将, 濱田隆平, 堀磨伊也, 吉村宏紀, 岩井儀雄

画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013)講演論文集, Jul. 2013.

携帯型遠隔操作アンドロイドのためのアニメーション効果の付加による感情伝達

鶴田悠, 堀磨伊也, 吉村宏紀, 岩井儀雄

信学技法 HCS, No. HCS2013-05, May 2013.

顔追跡のための顔画像における特徴量評価

河合将吾, 堀磨伊也, 吉村宏紀, 岩井儀雄

電子情報通信学会 総合大会 学生ポスターセッション, Mar. 2013.

事例データを用いた移動物体領域の抽出

山本文香, 堀磨伊也, 岩井儀雄, 石黒浩

画像ラボ, Jun. 2013.

電気電子工学講座

シルエット特徴と局所特徴を用いたパーティクルフィルタによるゴルフスイング軌跡推定

臼井 温, 近藤克哉
計測自動制御学会論文集, Vol. 49, No. 4, pp. 440-448, 2013年4月

Golf Swing Tracking and Evaluation Using Kinect Sensor and Particle Filter

Kumada K., Usui Y. and Kondo K.
Proc. of International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, pp. 698-703, Nov. 2013

SIFT Feature Reduction Based on Feature Similarity of Repeated Patterns

Fujiwara Y., Okamoto T. and Kondo K.
Proc. of International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, pp. 311-314, Nov. 2013

SIFT 特徴量の類似性を用いた繰返しパターン検出

藤原佳大, 岡本拓也, 近藤克哉
第12回情報科学技術フォーラムFIT2013講演論文集(情報処理学会), Vol. 3, pp. 215-216, 2013年9月

廊下走行時の車載カメラ映像からの天井領域の一検出法

岡本拓也, 山本信宏, 藤原佳大, 近藤克哉
第7回新画像システム・情報フォトニクス研究討論会講演予稿集(応用物理学会 日本光学会情報フォトニクス研究グループ), pp. 50-51, 2013年6月

SSCF 適応アルゴリズムを用いたアクティブノイズコントロールシステムの音響経路変動に対する追従性

小林正樹, 長坂保典^{*1}, 伊藤良生 (^{*1}中部大学)
電気学会論文誌, 第133巻, 4号, pp. 843-848, 2013年4月

SSCF 適応アルゴリズムとノイズフリーALEを用いたフィードバック型アクティブノイズコントロールシステム

小林正樹, 長坂保典^{*1}, 衣笠保智^{*2}, 笹岡直人, 伊

藤良生 (^{*1}中部大学, ^{*2}松江工業高等専門学校)
電気学会論文誌, 第133巻, 5号, pp. 1017-1024, 2013年5月

突発性騒音のための音声強調に用いる4次キュムラントを基にする適応アルゴリズムに関する一検討

小野和昌, 笹岡直人, 伊藤良生
電子情報通信学会技術研究報告, SIP2013-10, 2013年5月

MCMA Equalization without Signal Permutation for MIMO-OFDM systems using M-QAM

Ishihara, M., Sasaoka, N., Itoh, Y., Okello, J.* (^{*}NEC)
Proc. of 2013 13th International Symposium on Communications and Information Technologies, pp. 101-104, Sep. 2013

A Pre-inverse ANC System without Auxiliary Noise

Otsuki, K., Sasaoka, N., Nakamura, K., Itoh, Y., Kobayashi, M.* (^{*}Chubu University)
Proc. of 2013 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, pp. 271-274, Sep. 2013

コグニティブ無線通信システムのためのアジマススプレッドとKファクタによるチャネルシナリオ識別に関する一検討

李昊晨, 笹岡直人, 伊藤良生
電子情報通信学会技術研究報告, SIS2013-18, 2013年9月

Fast Convergence Adaptive IIR Notch Filter Using Allpass Filter and Adaptive Line Enhancer

Shiogai, K., Sasaoka, N., Itoh, Y., Kinugasa Y.*, Kobayashi, M.** (^{*}National Institute of Technology, Matsue College, ^{**}Chubu University)
Proc. 2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, pp. 279-284, Nov. 2013.

キュムラントを用いた音声に重畳する突発性騒音区間検出に関する一検討

馬水規寛, 笹岡直人, 奥村慎悟, 伊藤良生
電子情報通信学会技術研究報告, SIS2013-36, 2013年12月

アンテナレイアウト及びチャネルシナリオによるMIMOアンテナ選択に関する一検討

井伊谷達徳, 加藤賢晃, 笹岡直人, 伊藤良生
電子情報通信学会技術研究報告, SIS2013-43, 2013
年 12 月

Line detection by spherical gradient

Li, S., Jia, H., Nakanishi, I.
International Conference on Image Analysis and
Recognition, pp. 318-325, Jun. 2013

**One shot learning human actions recognition using
key pose**

Zou, W., Li, S., Zhang, L., Dai, N.
Information Systems and Computing Technology,
Zhang & Gu (eds), pp. 15-24, Sep. 2013

Spherical gradient operator

Li, S.
IEEJ Transactions on Electrical and Electronic
Engineering, 8(S1), S61-S65, Oct. 2013

**Estimating the structure of rooms from a single
fisheye image**

Jia, H., Li, S.
Workshop on Advances in Computer Vision and
Pattern Recognition (RACVPR) in Conjunction with
ACPR2013, pp. 818-822, Nov. 2013

**Speech Enhancement Based on Frequency Domain
ALE with Adaptive De-Correlation Parameters**

Nakanishi I., Namba H., Li S.
International Journal of Computer Theory and
Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 292-297, Apr. 2013

**Using Brain Waves as Transparent Biometrics for
On-Demand Driver Authentication**

Nakanishi I., S. Baba, K. Ozaki, Li S.
International Journal of Biometrics, Vol. 5, Nos. 3/4,
pp. 321-335, 2013

**User Verification Based on the Support Vector
Machine Using Intra-Body Propagation Signals**

Nakanishi I., Sodani Y., Li S.
International Journal of Biometrics, Vol. 5, Nos. 3/4,
pp. 288-305, 2013

**Performance Evaluation of Intra-Palm
Propagation Signals as Biometrics**

Nakanishi I., Inada T., Li S.

Proc. of 2013 International Conference on Biometrics
and Kansei Engineering (ICBAKE2013), pp. 91-94,
Jul. 2013

**Person Authentication Using EEG -Verification
Based on 1vs1SVM with Divided EEG Spectra-**

Yoshikawa T., Nakanishi I., Li S.
Proc. of the 2013 International Workshop on Smart
Info-Media System in Asia (SISA2013), pp. 367-371,
Oct. 2013

**Biometric Verification Using Brain Waves toward
On-Demand User Management Systems -
Performance differences between divided regions
in alpha-beta wave band**

Nakanishi I., Fukuda H., Li S.
Proc. of the 6th International Conference on Security
of Information and Networks (SIN2013), pp. 131-135,
Nov. 2013

**脳波認証における学習型分類器による識別性能
の仮想運転環境での評価**

中西 功, 福田紘尚, 李 仕剛
電子情報通信学会 2013 年暗号と情報セキュリティ
シンポジウム講演論文集, 2013 年 1 月

**仮想運転時脳波による個人認証の研究 ~ α - β 波
帯分割領域毎の照合性能の違いに関する考察 ~**

中西 功, 福田紘尚, 李 仕剛
平成 25 年度 5 月バイオメトリクス研究会予稿集,
pp. 10-14, 2013 年 5 月

**脳波による認証の研究 ~ 分割周波数帯域での
EEG スペクトルの 1vs1SVM での識別~**

吉川拓也, 中西 功, 李 仕剛
平成 25 年度 8 月バイオメトリクス研究会予稿集,
pp. 24-28, 2013 年 8 月

手のひら伝搬信号による個人認証の研究

稲田高志, 大串 達, 中西 功, 李 仕剛
第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム講演論文
集, pp. 229-231, 2013 年 11 月

**変形 DFT を用いた音声分離 ~ 聴覚情景分析に
基づくアプローチ ~**

花田純一, 池田匡輔, 川田隆平, 中西 功, 李 仕
剛
第 15 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム講演論文

集, pp. 241-242, 2013年11月

脳波による個人認証の研究 ～ 個人特徴を有する周波数帯域での認証 ～

吉川拓也, 福田紘尚, 中西 功, 李 仕剛
第15回IEEE広島支部学生シンポジウム講演論文集, p. 404, 2013年11月

分割脳波スペクトルによる個人認証

吉川拓也, 福田紘尚, 中西 功, 李 仕剛
第3回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム講演論文集, p. 61, 2013年11月

An Optimal Text/Background Color Combination of LED Information Boards for Visibility Improvement Based on Psychological Measurements

Shiraiwa, A., Aiba, E.^{*1,*2,*3}, Shimotomai, T.^{*4}, INo.me, H.^{*1}, Nagata, N.^{*1} (*¹Kwansei Gakuin University, *²AIST, *³JSPS, *⁴Tamagawa University)
Proc. of IAPR the 4th Computational Color Imaging Workshop (CCIW2013), pp. 119-132, Mar. 2013

Rendering Animation of Lace Curtain Using BRDF/BTDF and Motion Physical Characteristics Based on a Subjective Impression

Tobitani, K.^{*1}, Ishida, A.^{*1}, Park, L.^{*1}, Kaji, S.^{*1}, Aiba, E.^{*1,*2,*3}, Shiraiwa, A., Nagata, N.^{*1} (*¹Kwansei Gakuin University, *²AIST, *³JSPS)
Proc. of the 11th International Conference on Quality Control by Artificial Vision (QCAV2013), pp. 63-67, May 2013

Lace Curtain: Rendering and Animating Woven Cloth Based on an Impression-Evaluation Model

Ishida, A.^{*1}, Kaji, S.^{*1}, Park, L.^{*1}, Tobitani, K.^{*1}, Shiraiwa, A., Aiba, E.^{*1,*2,*3}, Nagata, N.^{*1} (*¹Kwansei Gakuin University, *²AIST, *³JSPS)
Proc. of ACM SIGGRAPH 2013: posters, p.100, Jul. 2013

素材感性モデルに基づくCGアニメーションの作成 ～ 織布の印象評価に寄与する織り構造と力学特性の検討 ～

朴 理紗*, 梶 聡介*, 石田適志*, 飛谷謙介*, 白岩史, 片平建史*, 長田典子* (*関西学院大学)
第19回画像センシングシンポジウム発表論文集, pp. IS1-30-1-IS1-30-6, 2013年6月

モチベーション・コミュニケーションモデルにおける動機からのユーザタイプ推定

白岩 史, 片平建史^{*1}, 饗庭絵里子^{*1,*2,*3}, 飛谷謙介^{*1}, 長田典子^{*1}, 藤巻志保^{*4}, 吉田 功^{*4}, 小村規夫^{*4} (*¹関西学院大学, *²産総研, *³日本学術振興会, *⁴本田技術研究所)

第12回情報科学技術フォーラム講演論文集, 第3分冊, J-013, pp. 399-400, 2013年9月

共感覚知覚強度の評価方法の開発

中島大典^{*1}, 片平建史^{*1}, 白岩 史, 饗庭絵里子^{*1,*2,*3}, 長田典子^{*1} (*¹関西学院大学, *²産総研, *³日本学術振興会)

日本心理学会第77回大会発表論文集, p. 508, 2013年9月

LED 警光灯の気づきやすさ向上のための点滅パターンの開発

白岩 史, 饗庭絵里子^{*1,*2,*3}, 長田典子^{*1} (*¹関西学院大学, *²産総研, *³日本学術振興会)

日本心理学会第77回大会発表論文集, p. 645, 2013年9月

LED 警光灯の視認性向上のための感性指標に基づく点滅パターン解析

白岩 史, 飛谷謙介^{*1}, 下斗米貴之^{*2}, 猪目博也^{*1}, 藤澤隆史^{*3}, 饗庭絵里子^{*1,*4,*5}, 長田典子^{*1}, 北村泰彦^{*1} (*¹関西学院大学, *²玉川大学, *³福井大学, *⁴産総研, *⁵日本学術振興会)

精密工学会誌, 第79巻, 11号, pp. 1159-1164, 2013年11月

バイノーラル音響を用いた接近車両検知システム -実データによる自己組織化マップの生成

藤村喜久郎, 西岡 謙, 相山立成, 齋藤和也, 李 仕剛, 中西 功

第14回自己組織化マップ研究会講演論文集 SOM2013-05, p. 5-1, 2013年3月

自己組織化マップにおける位相近傍の多次元化に関する一考察

藤村 喜久郎,
可視化情報全国講演会 2013, B114, 2013年9月

差分法を用いた脳波解析法の提案 — 急性脳症の早期診断のための脳波解析法開発 —

内田 裕, 藤村喜久郎, 前垣義弘 (医学部)

可視化情報全国講演会 2013, D103, 2013 年 9 月

差分法を用いた脳波解析法の提案 - 急性脳症の早期診断のための脳波解析法開発 -

内田 裕, 藤村喜久郎, 前垣義弘 (医学部)
平成 25 年度日本知能情報ファジィ学会 中国・四国・九州合同支部大会, A101, 2013 年 12 月

A Parameter Free Algorithm of Cooperative Genetic Algorithm for Nurse Scheduling Problem

Ohki, M, Kishida, S.
Proc. IEEE 2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), pp. 1201-1206, Aug. 2013

球面自己組織化マップ(SSOM)法による各種判別データでのデータ要素間の有意度の算出

徳高平蔵, 大北正昭, 大木 誠, 大藪又茂, 中野正博
バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 21-30, Aug. 2013

クレペリン試験法による疲労が音声信号に及ぼす効果

岸 啓, 吉村宏紀, 岸田 悟
電子情報通信学会技術研究報告, ニューロコンピューティング, Vol. 113, No. 343, pp. 63-66, 2013 年 12 月

音声信号と血液中のアルコール濃度の相関関係

川野正幸, 藤原直樹, 吉村宏紀, 岸田 悟
電子情報通信学会技術研究報告, ニューロコンピューティング, Vol. 113, No. 343, pp. 59-62, 2013 年 12 月

ノイズを含む入力パターンがアンサンブル学習を持つニューラルネットワークシステムの汎化能力に与える影響

田中章浩, 岸田 悟
電子情報通信学会技術研究報告, ニューロコンピューティング, Vol. 113, No. 343, pp. 71-74, 2013 年 12 月

疲労が音声信号に及ぼす効果

岸 啓, 吉村宏紀, 岸田 悟
IEEE 広島支部, 学生シンポジウム論文集, pp. 44-47, 2013 年 11 月
血液中のアルコール濃度が音声信号に及ぼす効

果

川野正幸, 藤原直樹, 吉村宏紀, 岸田 悟
IEEE 広島支部, 学生シンポジウム論文集, pp. 423-426, 2013 年 11 月

株式会社デイトレーディングルール最適化問題における最適化期間と取引日に関する検討

大本真護, 竹花慶紀, 大木 誠
電子情報通信学会技術研究報告, SIS2013-39, pp. 67-70, 2013 年 12 月

Content Aware Image Resizing with Constraint of Object Aspect Ratio Preservation

Mishiba, K., Ikehara, M*, Yoshitome, T. (*Keio University)
IEICE TRANS. INF and SYST. Vol. E96-D, No. 11, pp. 2427-2436, Nov. 2013

Improved Seam Merging for Content-Aware Image Resizing

Mishiba, K., Ikehara, M*, Yoshitome, T. (*Keio University)
IEICE TRANS. INF and SYST. Vol. E96-D, No. 2, pp. 349-356, Feb. 2013

Image Resizing with SIFT Feature Preservation

Mishiba, K., Yoshitome, T.
Proc. of IEEE International Conference on Image Processing 2013, pp. 991-995, Sep. 2013

A Fast CU Decision Using Image Variance in HEVC Intra Coding

Nishikori, T., Nakamura, T., Yoshitome, T., Mishiba, K.
Proc. of IEEE Symposium on Industrial Electronics and Application 2013, pp. 52-56, Sep. 2013

HEVC における分散値を用いた CU サイズの高速決定手法

錦織大輝, 中村友信, 吉留 健, 三柴 数
情報科学技術フォーラム FIT2013, No. 3, I-024, pp. 291-292, 2013 年 9 月

フレーム間引きとフレーム補間を用いた映像圧縮の性能改善

河部洋輔, 新免 凌, 吉留 健, 三柴 数
情報科学技術フォーラム FIT2013, No. 3, I-025, pp. 293-294, 2013 年 9 月

画像サイズの縮小と拡大を組み合わせた映像圧縮

土野裕馬, 植山康平, 吉留 健, 三柴 数
情報科学技術フォーラム FIT2013, No. 3, I-026, pp.
295-298, 2013 年 9 月

**画像サイズ変換と動きベクトルの再利用を用いた
MPEG-2/H.264 トランスコード手法の検討**

植山康平, 土野裕馬, 吉留 健, 三柴 数
情報科学技術フォーラム FIT2013, No. 3, I-027, pp.
299-302, 2013 年 9 月

**2 段型量子化マトリクスを用いた MPEG-2/H.264
イントラトランスコードにおけるレート制御**

新免凌, 河部洋輔, 吉留 健, 三柴 数
情報科学技術フォーラム FIT2013, No. 3, I-028, pp.
303-304, 2013 年 9 月

**3D 映像における動きベクトルを活用した動き探
索回数削減**

中村友信, 錦織大輝, 吉留 健, 三柴 数
情報科学技術フォーラム FIT2013, No. 3, I-029, pp.
305-306, 2013 年 9 月

**Detailed Impurity phase investigation by X-ray
Absorption Fine Structure and Electron Spin
Resonance Analyses in Synthesis of CaMgSi₂O₆:Eu
Phosphor**

Kunimoto T., Honma T., Ohmi K., Okubo S., Ohta H.
Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 52, 042402, 2013

**Valence Estimation and Local Structure Analysis of
Luminescent Centers in Phosphor Materials by
X-Ray Absorption Spectroscopy**

Honma T., Kunimoto T., Ohmi K.
Proc. of 20th Int. Display Workshops, pp. 695-698,
2013

**Improvement of Light Out-coupling Efficiency by
Coating MgO Nanoparticles in Inorganic TFEL
Devices**

Kunioka S., Itagaki Y., Ohmi K.
Proc. of 20th Int. Display Workshops, pp. 791-792,
2013

**Advanced Microreactor System with Glass Mixer
Cell for Synthesizing Nanophosphors**

Yamashina K., Okura H., Sakata R., Komiyama R.,
Miyashita H., Lee S., Ohmi K.
Proc. of 20th Int. Display Workshops, pp. 797-798,
2013

Inorganic EL Devices Prepared by Ink-Jet Printing

Ohmi K.
Digest of 13th Int. Meeting on Information Display,
p. 57, 2013

**Fabrication and Characterization of
BaTiO₃/Pt/C/Pt/Ti/SiO₂ structures**

YOSHIDA, D., KINOSHITA, K., KISHIDA, S.
JPS Conference Proceedings Vol. 1, pp.
012088-1-012088-5, Nov. 2013

**Elucidation of Cu diffusion surface and path in
monoclinic HfO₂ conducting-bridge memory**

Yura, S. Yamasaki, T. Nakada, K. Ishii, A. Kishida S.,
Kinoshita K.
JPS Conference Proceedings Vol. 1, pp.
012091-1-012091-5, Nov. 2013

**Analysis of memory effect induced by hydrogen
annealing**

Hanada, A., Miura, H., Notsu, T., Kishida S.,
Kinoshita, K.,
JPS Conference Proceedings Vol. 1, pp.
012089-1-012089-5, Nov. 2013

**Memory Characteristics of Filament Confined in
Tiny ReRAM Structure**

Koh, S., Kinoshita, K. Fukuhara, T. Sawai, Y. Kishida,
S.
MRS, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 1562,
mrss13-1562-dd15-06, Jan. 2013

**Pulse Switching Property of Reset Process in
Resistive Random Access Memory (ReRAM)
Consisting of Binary-Transition-Metal-Oxides**

Moriyama, T., Kinoshita, K., Koishia R., Kishida,
S.
ECS Transactions, Vol. 50, No. 34, pp. 55-60, Mar.
2013

**Physical Properties Elucidation of Filaments in
Conducting-Bridge Random Access Memory
Consisting of Metal-Oxide**

Hasegawa, S., Kinoshita, K., Tsuruta, S., Kishida, S.
ECS Transactions, Vol. 50, No. 34, pp. 61-67, Mar.
2013

**微細キャパシタ構造における ReRAM フィラメント
のメモリ特性**

高 相圭, 木下健太郎, 福原貴博, 岸田 悟
Journal of the Vacuum Society of Japan, Vol. 56, No. 5, pp. 176-178, Mar. 2013

精密加工と微細構造の形成技術

木下健太郎 (分担)
技術情報協会 1720, pp. 635-642, 2013

Cu/HfO₂/Pt 構造 CB-RAM の動作特性に対する溶媒置換の影響

長谷川祥, 榎本雄太郎, 片田直伸, 伊藤敏幸, 岸田 悟, 木下健太郎
信学技報, Vol. 113, No. 351, SDM2013-134, pp. 79-83, Nov. 2013

Valence fluctuation in YbIn_{1-x}Cd_xCu₄ compounds studied by XANES

Zhuang, T., Hiraoka, K., Kurisu, M., Konishi, K., Kamimori, T., Nakai, I.
JPS Conf. Proc. Vol. 3, pp. 011069, 2013

EXAFS study of Mn_{1.28}Fe_{0.67}P_{0.46}Si_{0.54} compound with first-order phase transition

Li, Y.J., Huiyageqi, B., Haschaolu, W., Song, Z.Q., Tegus, O., Nakai, I.
J. Electr. Spectr. Rel. Phenom. Vol. 197, pp. 295, 2013

ZnS-based ZnSTe:N/n-ZnS light-emitting diodes

Ichino, K., Kojima, T., Obata, S., Kuroyanagi, T., Nakazawa, S., Kashiya, S.
Appl. Phys. Express, Vol. 6, No. 11, pp. 112102-1~4, Nov. 2013

Projection-Reduction Method Applied to Deriving Non-Linear Optical Conductivity for an Electron-Impurity System

Kang, N. L., Lee, S.-S., Choi, S. D.
AIP Advances, Vol. 3, 072104, 2013

狭ギャップマイクロ熱電子発電の基礎実験

宮下英俊, 陳 帥, 小野崇人
電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌), Vol. 133, No. 9, pp. 237-241, 2013

MEMS Based Microstructure Array Design and its Quantitative Analysis of Micropreconcentrator for Cancer Biomarker Diagnosis

Kakita, N., Miyashita, H., Kishida, S., Lee, J.-O., Lee,

S.-S.
Proc. of IEEE Sensors 2013, pp. 822-825, 2013

A Micromachined Micropreconcentrator Design Based on Quantitative Simulation Study for Volatile Organic Compounds Gas Sensing

Kakita, N., Miyashita, H., Kishida, S., Lee, J.-O., Lee, S.-S.
Tech. Digest of the 17th Int. Conf. on Miniaturized Sys. for Chem and Life Science (Micro TAS 2013), pp. 1526-1528, 2013

Advanced Microreactor System with Glass Mixer Cell for Synthesizing Nanophosphors

Yamashina, K., Okura, H., Sakata, R., Komiyama, R., Miyashita, H., Lee, S.-S., Ohmi, K.
Proc. of the 20th International Display Workshops (IDW '13), pp. 797-798 (Late News Paper), 2013

Current MEMS Research Activities in Tottori University

Lee, S.-S.
Workshop on Micro/Nano System Technology (WMNST 2013), pp.1-6, Hanoi/Nah Trang, Nov. 18-20, 2013

RFMEMS デバイスの開発

李 相錫
平成 25 年電気学会全国大会, pp. S24(9)-S24(12), 名古屋, 2013 年 3 月

MEMS 技術を用いたがん診断用マイクロ濃縮器の定量分析による設計

李 相錫,
COMSOL Conference Tokyo 2013, 2013 年 12 月

H型フラクタルアンテナを用いた2波長選択性を持つマイクロボロメータの吸収スペクトルシミュレーション

武部幸三郎, 宮下英俊, 木股雅章, 李 相錫
応用物理学会・集積化 MEMS 技術研究会主催第 4 回集積化 MEMS 技術研究ワークショップ, 2013 年 7 月

揮発性有機化合物ガス検出のための微細構造体のシミュレーションによる検討

大山洗司, 柿田直輝, 宮下英俊, 李 相錫,
応用物理学会・集積化 MEMS 技術研究会主催第 4

回集積化 MEMS 技術研究ワークショップ, 2013
年 7 月

**微細構造体の分離によるマイクロ予備濃縮器の
性能向上**

柿田直輝, 宮下英俊, 岸田 悟, 李 相錫,
第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 29p-PA4-10,
2013 年 2 月

応用化学講座

Photovoltaic Properties of OPV Devices using cis- and trans-2,5-Diarylfulleropyrrolidines as Acceptor Partners with P3HT on an ITO Electrode with or without PEDOT:PSS.

Yoshimura, K., Sugawara, K., Sakumichi, S., Matsumoto, K., Uetani, Y.*, Hayase, S., Nokami, T., Itoh, T. (*Sumitomo Chemical Co., Ltd.)
Chem. Lett., Vol.42, No.10, pp.1209-1211,
Oct. 2013.

Possible Means of Realizing a Sacrifice-free Three Component Separation of Lignocellulose from Wood Biomass Using an Amino Acid Ionic Liquid.

Hamada, Y., Yoshida, Y., Asai, A., Hayase, S., Nokami, T., Izumi, S.*, Itoh, T. (*Hiroshima University)
Green Chem., Vol.15, No.7, pp.1863-1868,
Jun. 2013.

Synergetic Activation of Lipase by an Amino Acid with Alkyl-PEG Sulfate Ionic Liquid.

Yoshiyama, K., Abe, Y., Hayase, S., Nokami, T., Itoh, T.
Chem. Lett., Vol.42, No.6, pp.663-665,
Jan. 2013.

A Chronicle Review: Regioselective Synthesis of Trifluoromethyl Group Containing Allylic Amines using Palladium-catalyzed Allylic Amination Pathway.

Hirakawa, T., Kawatsura, M., Itoh, T.
J. Fluorine Chem., Vol.152, pp.62-69,
Aug. 2013.

イオン液体を溶媒に用いた光学活性アルコールの合成

伊藤敏幸
新しい溶媒を用いた有機合成, pp.184-194, 2013
年 2 月

イオン液体の特徴, 可能性とこれからの研究テーマ

伊藤敏幸
月刊「研究開発リーダー」, 92 号, pp.41-46, 2013 年
11 月

Recent Developments in the "Cation Pool Method".

Yoshida, J.*, Ashikari, Y.*, Matsumoto, K.*, Nokami, T. (*Kyoto University)
J. Synth. Org. Chem. Jpn., Vol.71, No.11,
pp.1136-1144,
Nov. 2013.

Halogen and Chalcogen Cation Pools Stabilized by DMSO. Versatile Reagents for Alkene Difunctionalization.

Ashikari, Y.*, Shimizu, A.*, Nokami, T., Yoshida, J.* (*Kyoto University)
J. Am. Chem. Soc., Vol.135, No.43, pp.16070-16073,
Oct. 2013.

Automated Solution-Phase Synthesis of Oligosaccharides via Iterative Electrochemical Assembly of Thioglycosides

Nokami, T., Hayashi, R.*, Saigusa, Y.*, Shimizu, A.*, Liu, C.-Y.**, Mong, K.-K.**, Yoshida, J.* (*Kyoto University, ** National Chiao Tung University)
Org. Lett., Vol.15, No.17, pp.4520-4523,
Sep. 2013.

Multiple Alkylation of Thiophene Derivatives with Simple and Extended Diarylcarbenium Ion Pools.

Nokami, T., Watanabe, T.*, Terao, K.*, Soga, K.*, Ohata, K.*, Yoshida, J.* (*Kyoto University)
Electrochemistry, Vol.81, No.5, pp.399-401,
May 2013.

Integration of Electrooxidative Cyclization and Chemical Oxidation Mediated by Alkoxysulfonium Ions. Synthesis of Exocyclic Ketones from Alkenes with Cyclization.

Ashikari, Y.*, Nokami, T., Yoshida, J.* (*Kyoto University)
Org. Biomol. Chem., Vol.11, No.20, pp.3322-3331,
Mar. 2013

Three-Step Synthesis of 3-Aryl-2-sulfanylthieno[2,3-*b*]-, -[2,3-*c*]-, or -[3,2-*c*]pyridines from the Corresponding Aryl(halopyridinyl)methanones

Kobayashi, K., Suzuki, T., Egara, Y.
Helv. Chim. Acta, Vol.96, No.1, pp. 69-75,
Jan. 2013.

Synthesis of 2,*N,N*-Trisubstituted 1*H*-indole-1-carbothioamides from 2-(Acylmethyl)phenyl Isocyanides

Kobayashi, K., Yamane, K., Fukamachi, S.
Helv. Chim. Acta, Vol.96, No.1, pp.93–98,
Jan. 2013.

Synthesis of 3,4-Dihydroisoquinolines by Cyclization of 1-Bromo-2-(2-isocyanoalkyl)benzenes with Butyllithium

Kobayashi, K., Matsumoto, N., Matsumoto, K.
Heterocycles, Vol.87, No.2, pp. 389–397,
Feb. 2013.

Synthesis of 3-Aryl-2-methoxyindene-1-one (*Z*)-Phenylhydrazones via Hydrobromic Acid-Mediated Cyclization of 2-(1-Aryl-2-methoxyethenyl)benzaldehyde Phenylhydrazones

Kobayashi, K., Miyatani, W., Matsumoto, N.
Helv. Chim. Acta, Vol.96, No.2, pp. 239–245,
Feb. 2013.

Synthesis of 10-Aryl- and 10-(Arylmethyl)acridin-9(10*H*)-ones via the Reaction of (2-Fluorophenyl)(2-halophenyl)methanones with Benzenamines and Arylmethanamines

Kobayashi, K., Nakagawa, K., Yuba, S., Komatsu, T.
Helv. Chim. Acta, Vol.96, No.3, pp.389–396,
Mar. 2013.

Synthesis of (4*Z*)-4-(Arylmethylidene)-5-ethoxy-1,3-oxazolidine-2-thiones by the Reaction of Ethyl (2*Z*)-3-Aryl-2-isothiocyanatoprop-2-enoates with Organolithium Compounds

Kobayashi, K., Ezaki, K., Hashimoto, H.
Helv. Chim. Acta, Vol.96, No.3, pp. 431–436,
Mar. 2013.

Synthesis of 7*H*-Thiopyrano[2,3-*d*]pyrimidines by Hydrobromic Acid-Mediated Cyclization of 1-[4-(1,1-Dimethylethylsulfanyl)pyrimidin-5-yl]prop-2-en-1-ols

Kobayashi, K., Suzuki, T., Imaoka, A., Hiyoshi, H.,
Umezu, K.* (*Ihara Chemical Industry Co. Ltd.)
Heterocycles, Vol.87, No.4, pp. 885–895,
Apr. 2013.

A Convenient Synthesis of 2,3-Dihydro-4*H*-thiopyrano[2,3-*b*]-, -[2,3-*c*], or -[3,2-*c*]pyridine-4-ones by the Reaction of the Corresponding 1-(Chloropyridinyl)alk-2-en-1-ones with NaSH

Kobayashi, K., Imaoka, A.
Helv. Chim. Acta, Vol.96, No.4, pp.624–632,
Apr. 2013.

Synthesis of 2-Sulfanyl-4*H*-3,1-benzothiazine Derivatives by the Reaction of 2-(Bromomethyl)phenyl Isothiocyanates with Thiols

Ezaki, K., Tanmatsu, M., Kobayashi, K.
Heterocycles, Vol.87, No.6, pp.1311–1317,
Jun. 2013.

A Convenient Two-Step Synthesis of 7-Aryl-6,7-dihydro[2,3-*b*]pyrazines from Aryl(3-chloropyrazin-2-yl)methanones

Kobayashi, K., Suzuki, T., Matsumoto, N.
Heterocycles, Vol.87, No.7, pp.1507–1517,
Jul. 2013.

One-Pot Synthesis of 2,3-Diarylthieno[2,3-*b*]-, -[2,3-*c*]- or -[3,2-*c*]pyridines from the Respective Aryl(chloropyridinyl)methanones

Kobayashi, K., Ohmichi, T., Miyatani, W., Nakagawa, K., Yuba, S.
Heterocycles, Vol.87, No.8, pp. 1741–1748,
Aug. 2013.

One-Pot Synthesis of 1,4-Oxathiino[2,3-*b*]quinoxalines or -pyrazines from 2,3-Dichloroquinoxaline or -pyrazine and 1-Aryl-2-bromoalkn-1-ones

Kobayashi, K., Konishi, N., Suzuki, T., Nakagawa, K.
Helv. Chim. Acta, Vol.96, No.8, pp.1452–1456,
Aug. 2013.

One-pot synthesis of 2-sulfanyl-3-sulfinyl(or sulfonyl)-1*H*-indoles via cyclization of 1-isothiocyanato-2-[sulfinyl(or sulfonyl)methyl]benzenes with sodium hydride

Kobayashi, K., Kobayashi, K., Ezaki, K.
Tetrahedron, Vol.69, No.37, pp. 7936–7942,
Sep. 2013.

Convenient Synthesis of 6-Amino-3,4-dihydro-2*H*-

pyrimido[2,1-*a*]isoquinoline-7-carbonitriles and 5-Amino-2,3-dihydroimidazo[2,1-*a*]isoquinoline-6-carbonitriles

Kobayashi, K., Ezaki, K., Komatsu, T.
Heterocycles, Vol.87, No.9, pp. 1925–1931,
Sep. 2013.

Synthesis of 3-Alkoxybenzo[*c*]thiophene-1(3*H*)-ones by Hydrolysis of *N*-Substituted 3-Alkoxybenzo[*c*]thiophene-1(3*H*)-imines Derived from 1-Bromo-2-(dialkoxymethyl)benzenes and Isothiocyanates

Kobayashi, K., Kuroda, M., Kanbe, Y.
Helv. Chim. Acta, Vol.96, No.10, pp.1894–1904,
Oct. 2013.

Synthesis of *N,N*-Dialkyl-9-oxo-9-acridine-10(9*H*)-carbothioamides via the Reaction of (2-Halophenyl)(2-isothiocyanatophenyl)methanone s with Secondary Amines, Followed by Cyclization with NaH

Kobayashi, K., Nakagawa, K., Yuba, S.
Helv. Chim. Acta, Vol.96, No.11, pp.2033–2039,
Nov. 2013.

Synthesis of 2,3-dihydro-1*H*-isoindole-1-thiones via the bromine–lithium exchange between 2-(1-isothiocyanatoalkyl)benzenes and butyllithium

Kobayashi, K., Yokoi, Y., Nakahara, T., Matsumoto, N.
Tetrahedron, Vol.69, No.48, pp.10304–10310,
Dec. 2013.

A Convenient Synthesis of 9*H*-Thioxanthen-9-ones and Their Aza-Analogues

Kobayashi, K., Komatsu, T., Nakagawa, K., Hara, E., Yuba, S.
Heterocycles, Vol.87, No.12, pp. 2577–2587,
Dec. 2013.

Synthesis of 4-Arylisocoumarin (=4-Aryl-1*H*-2-benzopyran-1-ones) through Acidic Hydrolysis of (Z)-2-(1-Aryl-2-methoxyethenyl)benzaldehydes, Followed by Oxidation

Kobayashi, K., Miyatani, W., Kuroda, M.
Helv. Chim. Acta, Vol.96, No.12, pp. 2173–2178,
Dec. 2013.

Guest-Binding Behavior of Peptide Nanocapsules Self-assembled from Viral Peptide Fragments

Matsuura, K., Watanabe, K., Matsushita, Y., Kimizuka N.
Polymer J., Vol. 45, No.5, pp.529–534, May 2013.

ウイルスに学んだペプチド自己組織化材料

松浦和則
機能材料, 第 33 巻, 5 号, pp.52-56, 2013 年 5 月

ウイルス由来ペプチドの自己集合によるナノカプセルの構築

松浦和則
表面, 第 51 巻, 2 号, pp.10-21, 2013 年 8 月

ペプチド化学でウイルス構造をつくる！—自己集合するナノカプセルの応用に向けて—

松浦和則
化学, 第 68 巻, 9 号, pp.19-23, 2013 年 9 月

Biomolecular Self-assembling Systems for Multivalent Ligand Display

Matsuura, K.
Trend Glycosci. Glycotech., Vol.25, No.146, pp. 227-239,
Nov. 2013.

Rational Design of Self-Assembled Proteins and Peptides for Nano- and Micro-sized Architectures

Matsuura, K.
RSC Advances, Vol.4, No.6, pp.2942–2953,
Feb. 2014.

ウイルスの化学合成を目指して：ペプチドの自己集合によるアプローチ

松浦和則
科研費 NEWS, 2013 年度 Vol. 1, p.9, 2013 年 6 月

研究室紹介「鳥取大学大学院工学研究科 化学・生物応用工学専攻 松浦研究室」

Colloid & Interface Communication, Vol. 38, No. 3,
pp. 49-51, 2013 年 3 月

A Comparative Study Analysis of alpha-Chitin and beta-Chitin Nanofibrils by Using an Inflammatory-Bowel Disease Mouse Model

Azuma, K., Osaki, T., Ifuku, S., Saimoto, H., Tsuka, T., Imagawa, T., Okamoto, Y., Minami, S.

Journal of Chitin and Chitosan Science, 1, pp.144-149, 2013.

Fiber width and molecular weight studies of alpha-chitin nanofibers

Dutta, A, K., Izawa, H., Morimoto, M., Saimoto, H., Ifuku, S.

Journal of Chitin and Chitosan Science, 1, pp192-196, 2013.

Suppressive effects of cellulose nanofibers—made from adlay and seaweed—on colon inflammation in an inflammatory bowel-disease model

Azuma, K., Osaki, T., Ifuku, S., Maeta, H., Morimoto, M., Takashima, O., Tsuka, T., Imagawa, T., Okamoto, Y., Saimoto, H., Minami, S.

Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2, pp.65-72, 2013.

Simple Preparation of Chitin Nanofibers from Dry Squid Pen β -chitin Powder by the Star Burst System

Dutta, A, K., Izawa, H., Morimoto, M., Saimoto, H., Ifuku, S.

Journal of Chitin and Chitosan Science, 1, pp.186-191, 2013.

Characterization of antifungal activity of the GH-46 subclass III chitosanase from *Bacillus circulans* MH-K1

Tomita, M., Kikuchi, A., Kobayashi, M., Yamaguchi, M., Ifuku, S., Yamashoji, S., Ando, A., Saito, A.

Antonie van Leeuwenhoek Journal of Microbiology, 104, pp.737-748, Nov. 2013.

Preparation of high-strength transparent chitosan film reinforced with surface-deacetylated chitin nanofibers

Ifuku, S., Ikuta, A., Egusa, M., Kaminaka, H., Izawa, H., Morimoto, M., Saimoto, H.

Carbohydrate Polymers, 98, pp.1198-1202, Oct. 2013.

Simple preparation of chitosan nanofibers from dry chitosan powder by the Star Burst system

Dutta, A, K., Kawamoto, N., Sugino, G., Izawa, H.,

Morimoto, M., Saimoto, H., Ifuku, S.

Carbohydrate Polymers, 97, pp.363-367, Sep. 2013.

Preparation of Chitin Nanofibers from Dry Chitin Powder by Star Burst System: Dependence on Number of Passes

Dutta, A, K., Yamada, K., Izawa, H., Morimoto, M., Saimoto, H., Ifuku, S.

Journal of Chitin and Chitosan Science, 1, pp.59-64, 2013.

Preparation of chitin nanofiber-reinforced double-decker-shaped polysilsesquioxane film

Ifuku, S., Nakata, K., Ikuta, A., Oba, T., Shervani, Z., Dutta, A, K., Izawa, H., Morimoto, M., Saimoto, H.

Journal of Chitin and Chitosan Science, 1, pp.21-25, 2013.

Formation and Catalysis of the Thermally Stable Au Nanoparticles Generated on USY Zeolites,

Sanada, T., Murakami, C., Gora-Marek, K., Isoda, A., Katada, N., Okumura, K.

Catalysts, Vol.3, No.3, pp.599-613, 2013.

Formation of Copper Nanoparticles in Mordenites with Variable $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Molar Ratios under Redox Treatments,

Petranovskii, V., Stoyanov, E., Gurin, V., Katada, N., Hernandez, M.-A., Avalos, M., Pestryakov, A., Chávez Rivas, F., Zamorano Ulloa, R., Portillo, R.

Revista Mexicana de Fisica, Vol.59, pp.170-185, 2013.

Dependence of Cracking Activity upon the Brønsted Acidity of Y Zeolite: DFT Study and Experimental Confirmation,

Niwa, M., Suzuki, K., Morishita, N., Sastre, G., Okumura, K., Katada, N.

Catal. Sci. Tech., Vol.3, No.8, pp.1919-1927, 2013.

Structure and Catalysis of Layered Nb-W Oxide Constructed by the Self-assembly of Nanofibers,

Okumura, K., Ishida, S., Takahata, R., Katada, N.

Catal. Today, Vol.204, pp.197-203, 2013.

New Method for the Temperature-Programmed Desorption (TPD) of Ammonia Experiment for Characterization of Zeolite Acidity: A Review,

Niwa, M., Katada, N.

Chem. Rec., Vol.13, No.5, pp.432-435, 2013.

Morphology Control of ZnO for Li-Ion Battery Anode

Usui, H., Sakaguchi, H.

J. Nanoeng. Nanomanuf., Vol.3, No.4, pp. 311-316, Dec. 2013.

Electrochemical Properties of Metal/ZnO Composites Synthesized by Co-Precipitation Method for Li-Ion Battery Anode

Usui, H., Kono, T., Sakaguchi, H.

J. Nanoeng. Nanomanuf., Vol.3, No.4, pp. 326-330, Dec. 2013.

TiO₂/Si composites synthesized by sol-gel method and their improved electrode performance as Li-ion battery anodes

Usui, H., Wasada, K., Shimizu, M., Sakaguchi, H.

Electrochim. Acta, Vol.111, pp. 575-580, Aug. 2013.

Applicability of ionic liquid electrolytes to LaSi₂/Si composite thick-film anodes in Li-ion battery

Usui, H., Shimizu, M., Sakaguchi, H.

J. Power Sources, Vol. 235, pp. 29-35, Feb. 2013.

金属・合金・酸化物系活物質を用いた次世代負極材料

薄井洋行, 坂口裕樹,

次世代蓄電池の【最新】材料技術と性能評価, 技術情報協会, pp.182-196, 2013年12月

次世代蓄電池用ケイ素系コンポジット負極材料の作製とその評価

薄井洋行, 坂口裕樹,

コンポジット材料の混練・コンパウンド技術の分散・界面制御, 技術情報協会, pp.516-521, 2013年4月

次世代蓄電池用負極創製のための活物質合成・電

極作製システム

薄井洋行, 坂口裕樹,

化学装置, 第55巻, 第3号, 工業通信, pp.25-28, 2013年3月

次世代リチウム二次電池用 Si 系負極へのイオン液体電解液の応用

薄井洋行, 坂口裕樹,

化学工業, 第64巻, 第2号, 化学工業社, pp.11-16, 2013年2月

漁業や海運用のロープによる海浜の漂着ごみ汚染

岡野多門, 森田 晃

環境科学会誌, 第26巻, 2号, pp.150 - 157, 2013年4月

海岸漂着ごみに与える地元投棄ごみと河川の影響

岡野多門, 安本 幹

廃棄物資源循環学会論文誌, 第24巻, 5号, pp.97 - 104, 2013年10月

生物応用工学講座

Probing the Dynamic Process of Encapsulation in *Escherichia coli* GroEL

Mizuta, T., Ando, K., Uemura, T., Kawata, Y., Mizobata, T.
PLoS ONE, Vol.8, No.10. e78135, 2013.

Bilberry anthocyanins neutralize the cytotoxicity of co-chaperonin GroES fibrillation intermediates

Iwasa, H., Kameda, H., Fukui, N., Yoshida, S., Hongo, K., Mizobata, T., Kobayashi, S., Kawata, Y.
Biochemistry, Vol.52, No.51, 9202-9211, 2013.

Amyloid fibril formation mechanism of alpha-synuclein, a causative protein of Parkinson's disease

Kawata, Y.
Proceedings of the Specialist Research Meeting on 'Abnormal protein aggregation and the folding diseases, and their protection and repair system', KURRI-KR-184, pp. 26-30, 2013.

きのこ由来のタンパク質凝集抑制因子の探求

河田康志
菌類きのこ遺伝子資源 発掘と活用 (丸善プラネット), pp.98-109, 2013.

Electroreductive Intermolecular Coupling of 3-Methoxycarbonylindoles with Ketones

Kise, N., Sueyoshi, A., Takeuchi, S., Sakurai, T.
Org. Lett., Vol.15, No.11, pp.2746-2749, Apr. 2013.

Electroreductive Intramolecular Coupling of Aliphatic Cyclic Imides with α,β -Unsaturated Esters and Ketones: Unusual Methyl-Alkoxy Exchange in Silyl Ketene Acetals

Kise, N., Inoue, Y., Sakurai, T.
Tetrahedron Lett., Vol.54, No.25, pp.3281-3285, Jun. 2013.

Reductive Coupling of Aliphatic Cyclic Imides with Benzophenones by Low-Valent Titanium

Kise, N., Kinameri, S., Sakurai, T.
Tetrahedron Lett., Vol.54, No.50, pp.6944-6948, Dec. 2013.

Reductive Coupling of Phthalimides with Ketones and Aldehydes by Low-valent Titanium: One-Pot Synthesis of Alkylideneisoindolin-1-ones

Kise, N.; Kawano, Y., Sakurai, T.
J. Org. Chem., Vol.79, No.24, pp.12453-12459, Dec, 2013.

Metallo-regulation of the bimolecular triplex formation of a peptide nucleic acid

Shimada, H.; Sakurai, T.; Kitamura, Y.; Matsuura, H.; Ihara, T.
Dalton Trans., Vol,42, No.45, pp.16006-16013, Dec, 2013.

バイオエタノール

岡本賢治
菌類の事典, 朝倉書店, pp.535-537, 2013年11月

Direct ethanol production from cellulosic materials by *Zymobacter palmae* carrying *Cellulomonas* endoglucanase and *Ruminococcus* β -glucosidase genes

Kojima, M., Okamoto, K., Yanase, H.
Appl. Microbiol. Biotechnol., Vol.97, No.11, pp.5137-5147, Jun. 2013.

バイオエタノール菌類きのこによるバイオマスからの直接的エタノール生産

岡本賢治, 築瀬英司
菌類きのこ遺伝子資源—発掘と応用—, GCOE「持続性社会構築に向けた菌類きのこ資源活用」編集委員会編, 丸善プラネット, pp.154-164, 2013年1月

Generation of functional antibodies for mammalian membrane protein crystallography

Hino, T., Iwata, S., Murata, T.
Curr. Opin. Struct. Biol., Vol.24, Issue 4, pp.563-568, Feb. 2013.

機能性抗体を用いたアデノシン A2A 受容体の結晶構造解析

日野智也, 岩田 想^{*1}, 村田武士^{*2} (^{*1}京都大・院医, ^{*2}千葉大・院理)
日本結晶学会誌, 第55巻, 2号, pp.103-109, 2013年5月

一酸化窒素還元酵素の結晶構造と呼吸酵素の分子

進化

日野智也, 松本悠史*¹, 當舍武彦*¹, 杉本 宏*¹,
永野真吾, 城 宜嗣*¹ (*¹理研)
化学と生物, 第 51 卷, 10 号, pp 679-684, 2013
年 10 月

土木工学講座

Contributions of Fluid to Rocking-Bulging Interaction of Rectangular Tanks Whose Walls are Rigid and Bottom Plate Rectilinearly Uplifts

Taniguchi, T.

Journal of Pressure Vessel Technology, ASME, Vol. 135, Issue 1, pp. 011304-1-011304-7, Feb. 2013.

Fundamental Mechanics of Walking of Unanchored Flat-Bottom Cylindrical Shell Model Tanks Subjected to Horizontal Harmonic Base Excitation

Taniguchi, T., Segawa T.* (*Daiichi Fukken Co. Ltd.)

Journal of Pressure Vessel Technology, ASME, Vol. 135, Issue 2, pp. 021201-1-021201-7, Apr. 2013.

Approximation of Fluid Pressure on the Cylindrical Tanks in Rock with the Crescent-Like Uplift Part in the Bottom Plate by Radially Sliced Tank Model

Taniguchi, T.

PVP, Seismic Engineering, ASME, PVP2013-97306, Jul. 2013.

A Study of Dynamic Response Behavior During Earthquake for Large LNG Storage Tanks in Consideration of Uplift

Hayashi, S., Taniguchi, T.

PVP, Seismic Engineering, ASME, PVP2013-97421, Jul. 2013.

A Study of Applicability of Finite Displacement Analyses with Semi-Analytical Finite Elements for Analyzing Uplift Displacement of Flat-Bottom Cylindrical Shell Tanks Statically

Nakashima, T., Taniguchi, T.

PVP, Seismic Engineering, ASME, PVP2013-97584, Jul. 2013.

SPH 法による斜面の地震応答と崩壊挙動の解析

小野祐輔

土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 69, No. 4 (地震工学論文集第 32 巻), p. I_650-I660, 2013.

2011 年東北地方太平洋沖地震による宅地造成盛土の崩壊を対象とした SPH 解析

小野祐輔, 中村晋* (*日本大学)

第 33 回地震工学研究発表会講演論文集, 論文 ID2-256, 2013.

多自由度系に付与する最適減衰量及び配置に関する研究

小林真也, 谷口朋代, 小野祐輔, 金氏裕也

第 33 回地震工学研究発表会講演論文集, 論文 ID3-561, 2013.

Changes in phytoplankton biomass due to diversion of an inflow into the Urayama Reservoir

Yajima, H., Choi, J.K.

Ecological Engineering, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.06.030, 58, pp.180-191, 2013.

WRF によるダウンスケーリングの不確実性が貯水池水質予測計算に与える影響

矢島啓, 崔貞圭, 谷口健司* (*金沢大学)

土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, I_1489-I_1494, 2013.

疑似温暖化モデルを用いたダム貯水池における将来の水質変化予測

崔貞圭, 矢島啓, 谷口健司*¹, 馬籠純*² (*¹金沢大学, *²山梨大学)

土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, I_1495-I_1500, 2013.

利根川上流域を対象とした気象条件の最大化による可能最大降水量(PMP)の推定

橋本健*, 矢島啓, 細川達也 (*パシフィックコンサルタント(株))

土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, I_331-I_336, 2013.

千葉港周辺における高酸素水供給実験に関する現地流況の数値計算

矢島啓, 山田康弘, 戸島邦哲* (*松江土建(株))

土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, I_1411-I_1416, 2013.

WENO 法を用いた平面 2 次元浅水流モデルの開発

梶川勇樹, 檜谷治

土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, I_631-I_636, 2013.

透過型砂防堰堤周辺の土砂動態特性

加藤陽平*, 檜谷治, 梶川勇樹 (*いであ(株))
土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4,
I_973-I_978, 2013.

Effect of Check Dam System on Water Redistribution in the Chinese Loess Plateau

Huang, J.*¹, Hinokidani, O., Yasuda, H., Ojha, C. S. P.*², Kajikawa, Y., Li, S.*³ (*¹Yangzhou University, *²Indian Institute of Technology, *³Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources)
Journal of Hydrologic and Engineering, ASCE, Vol.18, No.8, pp.929-940, 2013.

Numerical Simulation of 2-D Bed Deformation in a Slit Sabo Dam

Kajikawa, Y., Hinokidani, O.
Proceedings of 35th IAHR World Congress, USB, Theme C, A11452, 2013.

Sediment Transportation around a Slit Sabo Dam

Kato, Y.*, Hinokidani, O., Kajikawa, Y. (*いであ(株))
Proceedings of 35th IAHR World Congress, USB, Theme C, A11363, 2013.

Influence of Temperature and Water on Subcritical Crack Growth Parameters and Long-Term Strength for Igneous Rocks

Nara, Y., Yamanaka, H.*¹, Oe, Y.*², Kaneko, K.*¹ (*¹Hokkaido University, *²Kyoto University)
Geophys. J. Int., Vol.193, No.1, pp.47-60, April 2013.

Influence of Fracture Width on Sealability in High-Strength and Ultra-Low-Permeability Concrete in Seawater

Fukuda, D.*¹, Nara, Y., Hayashi, D.*², Ogawa, H.*², Kaneko, K.*¹ (*¹Hokkaido University, *²Taiheiyo Consultant Co. Ltd.)
Materials, Vol.6, No.7, pp.2578-2594, June 2013.

花崗岩の P 波速度分布と DSCA 法から求めたクラックパラメータの関係

奈良禎太, 加藤春實*¹, 金子勝比古*², 松木浩二*³, 佐藤隆司*⁴, 塚本齊*⁴ (*¹株式会社明間ボーリング, *²北海道大学, *³東北大学, *⁴産業技術総合研究所)
Journal of MMIJ, 第 129 巻, 7 号, pp.447-454, 2013 年 7 月

発破低周波音振動低減のための最適起爆秒時差

當麻玄大*¹, 村田澄彦*¹, 三小田昌史*², 石田裕之*², 正代知幸*², 湯浅友輝*¹, 奈良禎太, 石田毅*¹ (*¹京都大学, *²宇部興産株式会社)
Journal of MMIJ, 第 129 巻, 10-11 号, pp.626-634, 2013 年 10 月

Influence of Water on Subcritical Crack Growth in Marble

Nara, Y., Oe, Y.¹, Murata, S.*¹, Ishida, T.*¹, Nakabayashi, R.*², Yoneda, T.*² (*¹Kyoto University, *²Hokkaido University)
Proceedings of 75th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2013 (London 2013), Paper No. Th P09 03, London, UK, June 2013.

Investigation of Sealing Behavior of Fracture in Cementitious Material in Ground Water Using Micro-Focus X-Ray CT and 3D Image Analysis

Fukuda, D.*, Nara, Y., Maruyama, M.*, Kaneko, K.* (*Hokkaido University)
Proceedings of 1st International Conference on Tomography of Materials and Structures, Book of Abstract - Talk -, pp.159-162, Ghent, Belgium, July 2013.

Evaluation of Strain Distribution in Rock by 3-D Image Analysis

Maruyama, M.*, Kakuda, Y.*, Fukuda, D.*, Nara, Y., Kaneko, K.* (*Hokkaido University)
Proceedings of 6th International Symposium on In-Situ Rock Stress, pp.764-771, Sendai, Japan, Aug. 2013.

Multi-Channel Elastic Wave Velocity Measurement for Anisotropic Rock Specimens under Very High Confining Pressure

Murata, S.*¹, Nara, Y., Ito, H.*², Sano, O.*³, Nishizawa, O.*⁴ (*¹Kyoto University, *²JAMSTEC, *³The University of Tokyo, *⁴RITE)
Proceedings of 6th International Symposium on In-Situ Rock Stress, pp.453-462, Sendai, Japan, Aug. 2013.

P-wave Velocity in Sandstone under Controlled Temperature and Humidity

Nakao, A.*¹, Nara, Y., Murata, S.*¹, Ishida, T.*¹, Kaneko, K.*² (*¹Kyoto University, *²Hokkaido

University)

Proceedings of 6th International Symposium on In-Situ Rock Stress, pp.932-939, Sendai, Japan, Aug. 2013.

AE Monitoring of Hydraulic Fracturing Experiments with CO₂ and Water

Ishida, T.^{*1}, Nagaya, Y.^{*1}, Inui, S.^{*1}, Aoyagi, K.^{*2}, Nara, Y., Chen, Y.^{*1}, Chen, Q.^{*3}, Nakayama, Y.^{*3} (^{*1}Kyoto University, ^{*2}Japan Atomic Energy Agency, ^{*3}3D Geosciences, Inc.)

Proceedings of EUROCK2013, pp.957-962, Wroclaw, Poland, Sep. 2013.

温度・湿度制御下における砂岩のP波伝播特性

中尾堯雅^{*1}, 奈良禎太, 村田澄彦^{*1}, 石田毅^{*1}, 金子勝比古^{*2} (^{*1}京都大学, ^{*2}北海道大学)

第12回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.769-774, 2013年1月

超臨界及び液体二酸化炭素と水, 粘性の大きな油による水圧破碎実験

永谷侑也^{*1}, 青柳和平^{*2}, 石田毅^{*1}, 奈良禎太, 陳渠^{*3}, 中山芳樹^{*3} (^{*1}京都大学, ^{*2}日本原子力研究開発機構, ^{*3}3D地科学研究所)

第12回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.419-424, 2013年1月

鉄筋コンクリートへの通電がアルカリ含有量およびASR膨張に与える影響

黒田保, 井上正一^{*1}, 高井伸一郎^{*2}, 西林新蔵^{*1} (^{*1}鳥取大学名誉教授, ^{*2}村本建設)

コンクリート工学年次論文集, 第35巻, 第1号, pp.1021-1026, 2013年7月

鑄物廃砂を用いたコンクリート漁礁に関する研究

吉野公, 黒田保, 吉岡真一郎^{*}, 松原雄平 (^{*}米子製鋼)

コンクリート工学年次論文集, 第35巻, 第1号, pp.1555-1560, 2013年7月

2013年制定コンクリート標準示方書維持管理編

黒田保 (分担執筆)

劣化現象・機構別3章ひび割れ, 8章化学的侵食, 9章アルカリシリカ反応, 土木学会, pp.119-128, 196-212, 213-231, 2013年10月

2013年制定コンクリート標準示方書改訂資料維持管理編・ダムコンクリート編

黒田保 (分担執筆)

維持管理編4.9節化学的侵食, 土木学会, pp.56-61, 2013年10月

ごみ熔融スラグの構造用コンクリートへの活用ー設計・施工試案ー

黒田保 (分担執筆)

日本コンクリート工学会中国支部, 2013年6月

たわみ性トップリング崩壊に対する斜面の安定計算法に関する研究

西村 強, 中村公一, 平松大周, 上田 洋

第13回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.1219-1226, 2013年1月

A small scale laboratory test using shaking table apparatus for toppling failure of rock slopes

Nishimura, T., Nakamura, K., Kohno, M., Ueda, H.

Proceedings of the 1st International Conference on Rock Dynamics and Applications, pp.239-244, Jun., 2013.

A small laboratory test and discontinuous modeling using DEM on flexural toppling failure of rock slopes

Ueda, H., Nishimura, T., Nakamura, K., Kohno, M., Fumimura, K. (^{*}大成建設(株))

Frontiers of Discontinuous Numerical Methods and Practical Simulations in Engineering and Disaster Prevention (Guangqi Chen, Yuzo Ohnishi, Lu Zheng and Takeshi Sasaki, editors), Proceedings of 11th International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation, pp.399-404, Aug., 2013.

A case study of the hazard analysis for rock slope by DDA

Miki, S.^{*1}, Komata, S.^{*2}, Shinji, M.^{*3}, Nishimura, T., Koyama, T.^{*4} (^{*1}基礎地盤コンサルタンツ(株), ^{*2}日本工営(株), ^{*3}山口大学, ^{*4}京都大学)

Frontiers of Discontinuous Numerical Methods and Practical Simulations in Engineering and Disaster Prevention (Guangqi Chen, Yuzo Ohnishi, Lu Zheng and Takeshi Sasaki, editors), Proceedings of 11th International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation, pp. 221-227, Aug., 2013.

熱水変質岩の点載荷強さを考慮した AHP 法に基づくランドスライドハザードマッピングの試みー北海道黄壁沢ーシケレベンベツ川地すべり地域の例ー

河野勝宣, 前田寛之* (*札幌工科専門学校)
日本地すべり学会誌 (地すべり), 第 50 巻, 第 3 号, pp.121-129, 2013 年 5 月

礫分を多く含むクリンカアッシュの混合による土質改良効果に関する実験的研究

河野勝宣, 西村 強, 吉岡一郎*, 中下明文* (*中国電力(株))
地盤と建設, 第 31 巻, 第 1 号, pp.119-124, 2013 年 12 月

平成 24 年 7 月九州北部豪雨の異常出水に伴う潮間帯河口干潟の応答特性

L. Manu^{*1}, 白石紘基^{*1}, 伊東政和^{*1}, 外村隆臣^{*1}, 中條壯大^{*1}, 小林信久^{*2}, 黒岩正光, 山田文彦^{*1} (*¹熊本大学, *²デラウエア大学)
土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No.2, pp.I_631-I_635, 2013 年 11 月

鳥取県浦富海岸における人工リーフ改変による開口部の洗掘と港口部堆砂の対策について

黒岩正光, 松原雄平, 丸毛裕治^{*1}, 中野伸太郎^{*1}, 市村康^{*2}, 間瀬肇^{*3} (*¹鳥取県県土整備部, *²日本ミクニヤ株式会社, *³京都大学防災研究所)
土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_850-I_855, 2013 年 7 月

皆生海岸整備事業の利用者による継続的旅行費用法による評価とコンジョイント分析

松原雄平, 黒岩正光, 渋谷容子^{*1}, 大元誠治, 大西季秋, 市村康 (*¹京都大学防災研究所, *²国土交通省中国地方整備局日野川河川事務所, *³日本ミクニヤ株式会社)
土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_598-I_603, 2013 年 7 月

Development of 3D Beach Evolution Model for Sand Nourishments and its Application to Morphodynamics around Coastal Structures

黒岩正光, 松原雄平, 藤谷寛一, 間瀬肇^{*1} (*¹京都大学防災研究所)
Proceedings of the 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts, pp.326-331, 2013.

Effect of the Coastal Conservation due to Beach Nourishment of Tottori Sand Dune Coast

渋谷容子^{*1}, 松原雄平, 黒岩正光 (*¹京都大学防災研究所)
Proceedings of the 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts, pp.79-84.2013.

A Study on Developing Subsurface Structure Model Using Microtremor, Gravity and Magnetic Data

Ishida, Y., Noguchi, T., Kagawa, T., and Morikawa, H.^{*1} (*¹Tokyo Institute of Technology)
11th International Conference on Structural Safety & Reliability (ICOSSAR2013), Jun. 2013.

強震動予測と地盤情報ー深部から浅部地盤構造の影響ー

香川敬生
地盤工学会誌, Vol.61, No. 6, pp. 24-27, 2013 年 6 月.

計測震度計と緊急地震速報を組み合わせた三段階震度計の試作

香川敬生
土木学会論文集 A1(構造・地震工学),Vol.69, No.4(地震工学論文集第 32 巻), pp. 1049-1052, 2013 年 6 月.

鳥取平野における地震動評価のための 3 次元地盤構造モデルの構築

石田勇介・野口竜也・香川敬生
土木学会論文集 A1(構造・地震工学),Vol.69, No.4(地震工学論文集第 32 巻), pp. 821-828, 2013 年 6 月.

地震時における斜面の簡易信頼性評価法に関する基礎的研究

酒井久和^{*1}・奥村誠^{*2}・塩飽拓司^{*3}・香川敬生・長谷川浩一^{*4}・澤田純男^{*5}・多々納裕一^{*5} (*¹広島工大工学部, *²東北大東北アジア研究センター, *³大林組, *⁴OYO インターナショナル, *⁵京都大防災研究所,)
土木学会論文集 A1(構造・地震工学),Vol.69, No.4(地震工学論文集第 32 巻), pp. 142-147, 2013 年 6 月.

鳥取砂丘の地下構造と地下水大循環に関する研究 -砂丘内湧水(オアシス)の起源を探る- (縮約版)

塩崎一郎, 河合隆行*1, 野口竜也, 齊藤 忠臣*2, 香川敬生, 神近牧男*3 (*1 新潟大学, *2 鳥取大学農学部, *3 鳥取砂丘ジオパークセンター)
山陰海岸国立公園鳥取砂丘保全調査報告書, 鳥取砂丘保全協議会, pp.16-41, 2013年3月

地球科学の世界へようこそー見える自然, 見えない自然ー

塩崎一郎
平成24年度地域貢献支援事業報告書, 鳥取大学, pp.88-93, 2013年3月

(2001)中国・四国地方の電気比抵抗構造と地震・火山活動の関連に関する研究 (web版)

鳥取大学 (課題担当者塩崎一郎)
「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成24年度年次報告 (機関別), 科学技術・学術審議会測地学分科会地震部会観測研究計画推進委員会, 文部科学省研究開発局・防災研究課, 2013年7月,
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/sonota/1339669.htm

重力測定のためのデジタルサーボセンサーの改良

横井 勇*1, 小倉 祐美子*2, 須田 治夫*1, 木間 貞治*1, 松田 滋夫*3, 徳江 聡*2, 盛川 仁*2, 野口 竜也, 石田 勇介 (*1 東京測振, *2 東京工業大学, *3 クローバーテック)
土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol. 69(2013) No. 4, pp.448-453, 2013.

社会経営工学講座

ソフトウェア工学の基礎と応用 ---高品質ソフトウェア開発を目指して--- (グラフィック情報工学ライブラリ GIE-12)

山田茂, 田村慶信* (*山口大学)
数理工学社, 東京, 2013年7月.

Software Reliability Modeling: Fundamentals and Applications

Yamada, S.
Springer-Verlag (Springer Briefs in Statistics), Tokyo/Heidelberg, November 2013.

Advanced reliability analysis based on stochastic differential equations for open source cloud computing

Tamura, Y.*, Yamada, S. (*山口大学)
in International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (ICRITO'2013) ---Trends and Future Directions---, B. Shukla and S.K. Khatri, Eds., pp. 47--51, Amity University, Noida, India, January 2013.

Recent developments in software reliability modeling and its applications

Yamada, S.
In Stochastic Reliability and Maintenance Modeling (Springer Series in Reliability Engineering 9), T. Dohi and T. Nakagawa, Eds., Chapter 12, pp. 251-284, Springer-Verlag, London, March 2013.

Multiple change-point modeling for software reliability assessment and goodness-of-fit

Inoue, S., Fukuma, K., Yamada, S.
Information (Journal of International Information Institute), Vol. 16, No. 1(B), pp. 765--770, January 2013.

Performability analysis considering debugging behaviors for open source solutions

Tamura, Y.*, Yamada, S. (*山口大学)
International Journal of Performability Engineering, Vol. 9, No. 1, pp. 13--21, January 2013.

Reliability assessment based on hazard rate model for an embedded OSS porting phase

Tamura, Y.*, Yamada, S. (*山口大学)
Software Testing, Verification and Reliability, Vol. 23, No. 1, pp. 77--88, January 2013.

A bootstrapping approach for software reliability measurement based on a discretized NHPP model

Inoue, S., Yamada, S.
Journal of Software Engineering and Applications, Vol. 6, No. 4A, pp. 1--7, April 2013.

Lognormal process software reliability modeling with testing-effort

Inoue, S., Yamada, S.
Journal of Software Engineering and Applications, Vol. 6, No. 4A, pp. 8--14, April 2013.

ソフトウェア・サービス性能評価モデルに基づくオープンソースソリューションのための品質評価法

田村慶信*, 山田茂 (*山口大学)
日本経営工学会論文誌, Vol. 64, No. 1, pp. 21--27, 2013年4月.

Reliability modeling and analysis for open source cloud computing

Tamura, Y.*, Kawakami, M., Yamada, S. (*山口大学)
Journal of Risk and Reliability, (Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part 0), Vol. 227, No. 2, pp. 179--186, April 2013.

Extended hazard rate models for software reliability assessment with effect at change-point

Inoue, S., Hayashida, S., Yamada, S.
International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol. 20, No. 2, pp. 1350009 (11 pages), April 2013.

ソフトウェア品質会計による高品質ソフトウェア開発の実現

誉田直美*, 山田茂 (*日本電気(株))
日本ソフトウェア科学会誌 (コンピュータソフトウェア), Vol. 30, No. 2, pp. 21--27, 2013年4月.

Optimal price and release time of a software under warranty

Kapur, P.K. *, Yamada, S., Aggarwal, A.G. *, Shrivastava, A.K. * (*Amity University)

International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 1340004 (14 pages), June 2013.

Reliability analysis tool based on stochastic differential equation models for an open source solution

Tamura, Y.* , Yamada, S. (*山口大学)

International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Vol. 3, No. 6, pp. 78--85, June 2013.

Reliability analysis based on traffic density for cloud computing

Tamura, Y.* , Yamada, S. (*山口大学)

Lingaya's Journal of Professional Studies, Vol. 7, No. 1, pp. 1--8, July--December 2013.

Software optimal release problem considering the environment for usage of mobile device

Tamura, Y.* , Yamada, S. (*山口大学)

International Journal of Performability Engineering, Vol. 9, No. 4, pp. 367--374, July 2013.

Quantitative project management assessment for quality-oriented software management

Yamada, S.

International Journal of Computer Applications, Special Issue on International Conference on Reliability, Infocom Technology and Optimization (ICRITO), pp. 14--20, August 2013.

Nonparametric bootstrap interval estimation of software reliability and its application to optimal release problem based on a discrete model

Inoue, S., Yamada, S., Matsuno, H.

International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol. 20, No. 5, pp. 1350019 (14 pages), October 2013.

AIR application for reliability assessment based on human factor analysis by using OSS historical data

Tamura, Y.* , Miyahara, H., Yamada, S. (*山口大学)

Statistics Research Letters (SRL), Vol. 2, No. 4, pp. 106--113, November 2013.

Bivariate change-point model and extension for software reliability assessment

Inoue, S., Yamada, S.

Asia-Pacific Journal of Industrial Management, Vol. IV, Issue 1, pp. 15-24, 2013.

Toward practical software reliability assessment with change-point based on hazard rate models

Inoue, S., Hayashida, S., Yamada, S.

Proceedings of the 37th Annual International Computer Software & Applications Conference (COMPSAC 2013), Kyoto, Japan, July 22--26, 2013, pp. 268--273.

Service-oriented maintainability modeling and analysis for a cloud computing

Tamura, Y.* , Yamada, S. (*山口大学)

Proceedings of the 10th IEEE International Workshop on Software Cybernetics (IWSC 2013), held in conjunction with COMPSAC 2013, July 22--26, 2013, Kyoto, Japan, pp. 53--58.

NHPP models with change-point for software reliability assessment and its application to an optimal software release problem

Fukuta, Y., Inoue, S., Yamada, S.

Proceedings of the Nineteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Honolulu, Hawaii, U.S.A., August 5--7, 2013, pp. 93-97.

Optimal maintenance problems based on jump diffusion models considering the operating phase of cloud OSS

Miyaoka, K., Tamura, Y.* , Yamada, S. (*山口大学)

Proceedings of the Nineteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Honolulu, Hawaii, U.S.A., August 5--7, 2013, pp. 98-102.

A software optimal release problem based on a hazard rate model with change-point

Inoue, S., Nakagawa, Y., Yamada, S.

Proceedings of the Nineteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Honolulu, Hawaii, U.S.A., August 5--7, 2013, pp. 103-107.

Bootstrapping interval estimations for software reliability assessment based on a discrete NHPP

model

Inoue, S., Matsuno, H., Yamada, S.

Proceedings of the Nineteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Honolulu, Hawaii, U.S.A., August 5--7, 2013, pp. 108-112.

An interval estimation approach of optimal software release time based on a nonparametric bootstrap method

Inoue, S., Yamada, S.

Proceedings of the Nineteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Honolulu, Hawaii, U.S.A., August 5--7, 2013, pp. 113-117.

Trend analysis based on historical data for OSS reliability assessment

Miyahara, H., Tamura, Y.* , Yamada, S. (*山口大学)

Proceedings of the Nineteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Honolulu, Hawaii, U.S.A., August 5--7, 2013, pp. 165--169.

Data analysis for decreasing mold defective fraction in automotive rubber products based on orthogonal array experiments

Yamada, S., Takabatake, G.

Proceedings of the Nineteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Honolulu, Hawaii, U.S.A., August 5--7, 2013, pp. 170--174.

On change-point detection and its application to software reliability measurement base on hazard rate models

Hayashida, S., Inoue, S., Yamada, S.

Proceedings of the Nineteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Honolulu, Hawaii, U.S.A., August 5--7, 2013, pp. 175--179.

Quantitative assessment for software safety integrity level with optimal software release policies

Nishikawa, T., Yamada, S.

Proceedings of the Nineteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design,

Honolulu, Hawaii, U.S.A., August 5--7, 2013, pp. 180--184.

AIR application based on jump diffusion models for cloud computing

Tamura, Y.* , Yamada, S. (*山口大学)

Proceedings of the Nineteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Honolulu, Hawaii, U.S.A., August 5--7, 2013, pp. 185--189.

A neural network approach to reliability assessment for a cloud computing

Tamura, Y.* , Yamada, S. (*山口大学)

Proceedings of the 17th International Conference on Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice (IJIE 2013), Busan, Korea, October 6--9, 2013, pp. 123--128.

Cost-reliability optimal software testing-effort expenditure problems based on a two-dimensional reliability growth model

Inoue, S., Yamada, S.

Proceedings of the 17th International Conference on Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice (IJIE 2013), Busan, Korea, October 6--9, 2013, pp. 481--487.

Bootstrap interval estimation methods for cost-optimal software release planning

Inoue, S., Yamada, S.

Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2013), Manchester, England, October 13--16, 2013, pp. 621--626.

Nonparametric bootstrapping interval estimations for software release planning with reliability objective

Inoue, S., Yamada, S.

Proceedings of the IEEE 24th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE 2013), Pasadena, California, U.S.A., November 4--7, 2013, pp. 81--89.

Reliability analysis based on network traffic for a mobile computing

Tamura, Y.* , Yamada, S. (*山口大学)

Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2013), Bangkok, Thailand, December 11--12, 2013, pp. IEEM13-P-0088 (5 pages).

Interval estimation of software reliability and optimal release time based on better bootstrap confidence intervals

Inoue, S., Yamada, S.

Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2013), Bangkok, Thailand, December 11--12, 2013, pp. IEEM13-P-0093 (5 pages).

ソフトウェア信頼性評価のための2変量チェンジポイントモデルと最適テスト労力量に関する一考察

井上真二, 山田茂

統計数理研究所共同研究レポート 306「最適化：モデリングとアルゴリズム 25」, pp. 135--140, 2013年3月.

OSS 信頼性評価のためのジャンプ拡散過程を考慮した確率微分方程式モデルとその応用

田村慶信*, 山田茂 (*山口大学)

統計数理研究所共同研究レポート 306「最適化：モデリングとアルゴリズム 25」, pp. 141--149, 2013年3月.

オープンソースソリューションの最適メンテナンス時刻推定のためのAIRアプリケーションの開発

足立翔人*, 田村慶信*, 山田茂 (*山口大学)

数理解析研究所講究録「不確実性下での数理的意思決定の理論と応用」, pp. 144--150, 2013年11月.

離散時間ソフトウェア信頼性モデルに基づいた最適リリース時刻の区間推定に関する一考察

井上真二, 山田茂

数理解析研究所講究録「不確実性下での数理的意思決定の理論と応用」, pp. 151--156, 2013年11月.

A distribution of quick chargers used by electric vehicles on an expressway considering with the type of charging place

Koyanagi, J.

Proceedings of the 19th ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design,

Honolulu, U.S.A., August 5-7, 2013, pp. 470-473.

共分散構造分析を用いたノーマイカーデーへの参加意識の分析

藤武麻衣*, 佐野可寸志*, 土屋哲, 三本諒* (*長岡技術科学大学)

社会技術研究論文集, Vol.10, pp.65-74, 2013年4月

人口減少・高齢化に適応した地域社会づくりの戦略 — 公共交通に着目して

谷本圭志

都市計画研究講演集 11, 日本都市計画学会中国四国支部, pp.1-6, 2013年4月

高齢者の機能的健康と公共交通に関する研究

谷本圭志

土木計画学研究・講演集 Vol.47, CD-ROM, 2013年6月

Global Economic Impact Analysis due to Malfunction of International Ports: Spatial Computable general Equilibrium Approach

Tsuchiya, S., Kitano, Y., Tanimoto, K., Tatano, H. * (*Kyoto University)

Proceedings of the 21st International Input-Output Conference, Kitakyushu, July 2013.

A Fundamental Survey on Personal Mobility Needs in an Aging Society

Tsuchiya, S., Tanimoto, K., Iwata, C., Hayashibara, S. * (*Daisen Town)

Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9, P32, September 2013.

中山間地域における高齢者のパーソナルモビリティニーズに係る調査・分析

土屋哲, 谷本圭志, 岩田千加良, 林原壮太* (*大山町)

第33回交通工学研究発表会論文集, pp.473-476, 2013年9月

災害時の農産品流動量推計からみた地方の重要性に関する基礎的研究

土屋哲, 谷本圭志, 橋本悠真

土木計画学研究・講演集 Vol.48, CD-ROM, 2013年11月

高齢者の活動能力を踏まえた公共交通サービスの阻害要因に関する考察

谷本圭志

土木学会論文集 D3, Vol.69, No.4, pp.276-285, 2013年 11月

Statistical Analysis on Multivariate Expressway Time Series Traffic Under the Different Toll Policies

Tsukai, M.^{*1}, Inoue, S.^{*1}, Kuwano, M., Okumura, M.^{*2} (^{*1}Hiroshima University, ^{*2}Tohoku University)
Asian Transport Studies, Vol.2, No.4. pp.411-420, Sep. 2013.

低公害車普及による長期 CO₂ 管理システムの開発

桑野将司, 塚井誠人*, 岩本真由子* (*広島大学)
土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5, I_479-I_488, 2013年 12月.

The Influence of Social Conformity in Promoting Electric Vehicle Sales

Kuwano, M., Tsukai, M.*, Matsubara, T.* (*Hiroshima University)

Travel Behaviour Research: Current Foundations, Future Prospects ed. by M.J. Roorda & E.J. Miller, Toronto: Lulu Press, pp.369-386, 2013.

Taxation Policies for Promoting Fuel-efficient Vehicle Ownership and Use

Kuwano, M., Fujiwara, A.*, Zhang, J.*, Tsukai, M.* (*Hiroshima University)
Sustainable Transport Studies in Asia ed. by Fujiwara, A. & Zhang, J., Springer, pp.192-210, 2013.

Analysis of Household Vehicle Usage and Ownership under Different Taxation Policies

Kuwano, M., Fujiwara, A.*, Zhang, J.*, Tsukai, M.* (*Hiroshima University)
92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, DVD-ROM, Jan. 2013.

Functionings Enhanced by Social Networks in Elder's Activity Participations: The Capability Approach

Chikaraishi, M.*, Fujiwara, A.*, Kuwano, M., Zhang, J.* (*Hiroshima University)
92nd Annual Meeting of the Transportation Research

Board, DVD-ROM, Jan. 2013.

Copula Modeling Approaches to Jointly Represent Tourists' Time Use and Expenditure Behavior

Kuwano, M., Nakagawa, T.^{*1}, Zhang, J.^{*2} (^{*1}Kobe University, ^{*2}Hiroshima University)
Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, USB, Jul. 2013.

An Analysis of Personal Mobility Promoting Factors considering the Social Network in Old Newtown

Kuwano, M., Chikaraishi, M.*, Fujiwara, A.* (*Hiroshima University)
Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9, USB, Sep. 2013.

外出活動と都道府県特性を考慮した部門別エネルギー消費原単位に関する研究

桑野将司, 塚井誠人* (*広島大学)
土木計画学研究・講演集, Vol.48, CD-ROM, 2013年11月.

Conflict Analysis on the Enforced-Move-by-Majority Rule in a Group Decisionmaking Situation

Fukuyama, K., Kawabata, T., Na, J.
Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 2031-2036, (2013) [IEEE Catalog Number: CFP13SMC-POD, ISBN: 978-1-4799-0650-5]

Utilization of the Yonmenkaigi System Method for Sand Mining Management of Community Building at the Local Community Level of Merapi Volcano, Indonesia

Na, J., Okada, N.* (*Kwansei Gakuin University)
Proceedings of the 12th International Symposium on River Sedimentation, Kyoto, Japan, Sept. 2-5, pp. 2093-2105, 2013

韓国被災地四面会議 WS 事例から見る参加型計画手法の実践的な適用とその効果

羅貞一
日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会論文報告集 2013年秋号, pp16-17, 2013

地域防災力の強化及び体験教育プログラムの開発-：日本事例調査-（報告書）

羅貞一

江原発展研究院，2013（韓国語）

キャンパスにおける安全・安心な避難誘導対策に関する数値的検証実験

楊 勇，達川 剛，松見吉晴，太田隆夫

土木学会論文集 F6（安全問題），Vol.69，No.2，pp.I_7-I_12，2013年12月

高波の発生回数を考慮した消波工のライフサイクルコスト算定太田隆夫，平山隆幸^{*1}，安田誠宏^{*2}，辻尾大樹^{*3}，松見吉晴，間瀬 肇^{*2}（^{*1}三省水工，^{*2}京都大学，^{*3}パシフィックコンサルタンツ）

土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.69，No.2，pp.I_173-I_178，2013年6月

波候特性を考慮した混成堤の総滑動量の推定木村 晃^{*}，太田隆夫（^{*}鳥取大学名誉教授）

土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.69，No.2，pp.I_239-I_244，2013年6月

Modeling of damage progression for rubble mound revetment

Ota, T., Matsumi, Y., Hatono, A., Satow, T.

Proc. of 7th Int. Conf. on Asian and Pacific Coasts, pp. 332-337, Sep. 2013.

波候の統計学的特性とその応用について木村 晃^{*}，太田隆夫（^{*}鳥取大学名誉教授）

土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.69，No.2，pp.I_116-I_120，2013年11月

傾斜護岸の複合被災に伴う消波性能変化の予測モデル太田隆夫，松見吉晴，吉木弘軌，平山隆幸^{*1}，大野賢一^{*2}（^{*1}三省水工，^{*2}鳥取大学大学評価室）

土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.69，No.2，pp.I_761-I_765，2013年11月

Sensitivity study of real time storm surge forecast system to meteorological and hydrodynamic fields along the Sanin Coast, Japan

Kim, S., Shiozaki, S., Matsumi, Y.

Proc. of 7th Int. Conf. on Asian and Pacific Coasts, pp. 555-560, Sep. 2013.**Consideration of applicability of stochastic tropical cyclone model for probability assessment of storm surge**Nakajo, S.^{*1}, Mori, N.^{*2}, Kim, S., Yasuda, T.^{*3}（^{*1}Kumamoto University, ^{*2}Kyoto University）

Proc. of 7th Int. Conf. on Asian and Pacific Coasts, pp.613-619, Sep. 2013.

Sensitivity Analysis of Typhoon-induced Meteorological Fields along the Sanin Coast of Japan by WRF Parameter SettingsKim, S., Matsuura, T., Matsumi, Y., Tom, T.^{*1}, Yasuda, T.^{*2}, Mase, H.^{*2}（^{*1}Surf Legend, ^{*2}Kyoto University）

Proc. Int. Offshore and Polar Eng. Conf., pp.1027-1032, July 2013.

ニューラルネットワークを用いたリアルタイム高潮予測における学習パラメータの感度分析に関する研究金 洙列，塩崎信一，松見吉晴，玉井和久^{*}，福岡宏人（^{*}国土交通省）

土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 69，No. 2，pp.I_246-I_250，2013年11月

確率台風モデルと観測台風資料を組み合わせた高潮イベントアトリビュション -八代海を対象とした最悪台風経路の基礎的検討-中條壯大^{*1}・金 洙列・森 信人^{*2}・安田誠宏^{*2}・間瀬 肇^{*2}・山田文彦^{*1}（^{*1}熊本大学，^{*2}京都大学）
土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 69，No. 2，pp.I_366-I_370，2013年11月**中緯度の気象解析に対する WRF のパフォーマンス解析 - 惑星境界層スキームと雲物理モデルの影響 -**金 洙列・松浦智典・松見吉晴・玉井和久^{*1}・安田誠宏^{*2}・Tom, T.^{*3}，間瀬 肇^{*2}（^{*1}国土交通省，^{*2}京都大学，^{*3}サーフレジェンド）

土木学会論文集B2（海岸工学），Vol. 69，No.2，pp.I_516-I_520，2013年11月

管路情報が少ない中小事業体における配水管の破損予測方法

細井由彦，増田貴則，赤尾聡史

土木学会論文集 G（環境），第 69 巻，7 号，pp. III_345-III_353

面的水管理・カスケード型資源循環システムの統合評価

増田貴則, 山田正人^{*1}, 石垣智基^{*1}, 松岡真如^{*2},
藤原 拓^{*2}, 長谷隆仁^{*3} (*¹国環研, *²高知大, *³
埼玉県環境科学国際センター)
環境衛生工学研究, 第 27 卷, 第 3 号, pp.44-47,
2013 年

Cascade Utilization of Water Chestnut: Recovery of Phenolics, Phosphorus, and Sugars.

Akao, S., Maeda, K., Hosoi, Y., Nagare, H. ^{*1}, Maeda, M. ^{*1}, Fujiwara, T. ^{*2} (*¹Okayama University, *²Kochi University)
Environ. Sci. Pollut. Res, Vol.20, No.8, pp.5373-5378,
2013.

Seasonal Changes in the Performance of a Catch Crop for Itigating Diffuse Agricultural Pollution.

Kondo, K. ^{*1}, Inoue, K. ^{*1}, Fujiwara, T. ^{*1}, Yamane, S. ^{*1}, Yasutake, D. ^{*1}, Maeda, M. ^{*2}, Nagare, H. ^{*2}, Akao, S., Ohtoshi, K. ^{*1} (*¹Kochi University, *²Okayama University)
Water Sci. Technol., Vol.68, No.4, pp.776-782, 2013

Utilization of Nutrients Extracted from Plant Biomass in Thermophilic L-Lactic Acid Fermentation.

Akao, S., Nagare, H. ^{*1}, Maeda, M. ^{*1}, Hosoi, Y., Fujiwara, T. ^{*2} (*¹Okayama University, *²Kochi University)
Proc. 13th World Congress on Anaerobic Digestion, Santiago de Compostela, CD-ROM, 2013

講座による編集

応 用 化 学 講 座 85

海岸一帯の漂着ごみ量や堆積ごみ量の指標値を得るために必要な調査範囲

岡野多門・森田 晃
鳥取大学大学院工学研究科，化学・生物応用工学専攻

A Method of Determining a Suitable Survey Area for Measuring the Reliable Quantities of Beached Litter and Accumulated Litter on Sandy Beaches

Tamon OKANO and Akira MORITA
Department of Chemistry and Biotechnology, Graduate School of Department of Engineering,
Tottori University, Tottori, 680-8552 Japan
E-mail: okano@chem.tottori-u.ac.jp

Abstract: The quantity of accumulated litter on a beach indicates the pollution level, whereas the quantity of beached litter relates to the density of floating marine litter and the amount of inappropriate waste disposal. The purpose of investigating either accumulated litter or beached litter is to obtain the index quantity of litter for an entire beach, and to research the changes of quantity or the differences between other beaches. For this purpose, it is essential to investigate several representative items on a long beach area, with the exclusion of small debris. The reliabilities for the survey area and the measured value can be evaluated with an excess quantity, which is represented by the equation $[100 \times (Q1 - Q2) / (Q1 + Q2)]$ where Q_N is the quantity of litter on Site N. In order to reduce the influence of irregular data of survey areas, it is important to investigate several locations. Assuming that the excess quantity is about 10%, in order to obtain the reliable quantity of the beached litter on the beaches facing the Sea of Japan, it is necessary to investigate at least 500 m of beach-line area of 6 beaches every month.

Key Words: Suitable survey area, Beach litter quantity excess, Accumulated plastic debris, Beached litter, Floating marine debris

1. はじめに

プラスチックなどの人工素材で作られた製品の消費が急増し、その一部が不適切に放置や投棄され、その結果、浮遊性のごみが海に流出し、排他的経済水域を越え、海洋全体に広がりながら蓄積を続けている。このため世界各地で難分解性の浮遊ごみの流出防止が叫ばれ、海岸のごみ清掃が行われているが、海洋浮遊ごみの漂着が続いている^[1,2]。この事実は、有効な排出抑制策が未だに実施されていないことを示す。日本でも啓発活動や^[3,4]、不法投棄が重罰であることを示す表示、不法投棄を防ぐ防犯カメラの設置などが盛んに行われているが、しかし、ごみの流出は止まらない^[5,6]。流出防止の実効性を上げるためには、流出しているごみ種と量を調べ、個別のごみ種の排出原因に応じた、具体的な対策が不可欠で、その後実施された対策の実効性を評価する調査法も必要である。

海岸に流れ着くごみは海洋浮遊ごみの一部にすぎないが、それでも環太平洋アジア地域の海流

の下流に位置する日本には、近隣諸国から大量のごみが流れ着く^[7]。しかし、それは日本が環太平洋アジア地域からの浮遊ごみを測定する適地であることを示す。日本での測定結果はアジア諸国での排出抑制策を考える上で有用である。海岸に流れ着くごみ量の変化は各国から流出する海洋浮遊ごみの増減を反映し、ごみの由来国は海浜での調査から正確に決められる。ただし、その調査には客観性が重要で、科学的に検証できる調査法で行われなければならない。しかし、科学的な調査法の検討は不十分で、統一された基準による調査は行われてこなかった。事実として、例えばアメリカでは汀線距離 500m^[8]、イギリスや韓国では 100 m^[9,10]、日本では 10m^[3]と 5m^[4]の範囲の調査が今でも推奨されている。しかし、数の少ない中大型ごみでは数十kmまでの長い汀線区間での調査も行われている^[11,12]。さらにごみ量の単位に、面積当たりと汀線長さ当たりの 2 種が今でも混用されている^[13]。

信頼される海浜ごみ調査のためには科学的で定量的な測定が必須である。そのため、著者らは

人口が少なく、直線的な砂浜が多く、潮汐変化による海浜ごみ量の変動が小さい鳥取県の海岸の特徴を利用して、海浜ごみ量の単位の検討から始め、既に汀線長さ当たりで示すことが正しいことを報告してきた^[14,15]。ここでは、訪問者による現場での投棄ごみが少ない砂浜を選び、新しく流れ着いた漂着ごみと、既に溜まっている堆積ごみについて、海岸一帯の広い範囲のごみ量の指標値とみなせる測定値を得るために必要な抽出範囲について検討を行った。

2. 調査と分析の方法

詳細な調査海浜の位置や調査法は既に報告している^[14,15]ので、ここでは概要を記す。漂着に由来する海浜ごみは、二次元の海浜面上への投げ捨てごみと異なり、海面と海浜面の一次元の交線で起こる。ただし、海浜上のごみは汀線の垂直方向に不均一に分布するが、それは汀線が潮汐や波の遡上で上下するためである。したがって現象論的な単位は1次元の汀線の長さ当たりで、実際の調査結果からも証明されている^[14,15]。一定期間に流れ着いた漂着ごみ量は、量/(汀線距離・期間)が単位であるが、漂着由来であっても堆積ごみ量は調査時点のごみ量で、期間の次元を含まない量/汀線である。ここでは訪問者の少ない砂浜での測定であり、すべてが漂着由来とみなし、単位を汀線の距離当たりで記す。

汀線距離5m区間の堆積ごみ量の調査は、NPECとマリーンプルー21の調査法に準じて行い^[3,4]、その詳細は既に報告している^[14,15]。海浜の選定はカスピの影響がなく、また上記団体の指針に従い、大河川の河口から離れた直線的な汀線をもつ砂浜を選んだが、指針とは逆に訪問者の少ない砂浜と季節を選んだ。調査対象は0.02gのレジンペレットから0.5kg程度までの浮遊移動可能な人工合成高分子、金属、ガラス、紙ラミネート素材ごみとして、これらを前記2団体と著者らの分類法⁷⁾を併用し、一部は個数調査から重量を推定する目的で、百余種に分けて調査した。砂水を除きやすい破片や部品は現場で個数と重量を測定したが、海藻や貝が付いたフロートやロープ類、異物を含む容器類は、当初は持ち帰り、洗浄と乾燥後に重量を測定していた。しかし多大な労力と時間が必要なため、後の調査では前記のようにごみ種を細分化し、個数調査にとどめて、各ごみ種の推定平均重量から合計重量を計算した。また、ロープは太さと長さの本数を測り、平均比重を 0.67g/cm^3 として重量を計

算した^[16]。

前記の0.02gから0.5kg程度までの浮遊移動可能な人工素材ごみをここでは中小微細ごみと定義し、それらを製品ごみと破片の2種に分けて集計した。製品ごみとは部品や付属品を含む原形の半分以上の形状を残す2次元以上の相似形ごみである。3次元の相似形の定形ごみは容器類やキャップ、レジンペレットなどで、2次元の相似形ごみは長さが不定な細管、ストロー、紐・ロープなどである。ただし直径6mm以上のロープについては、中小微細ごみの調査では原則的に長さ5m以上のロープのある地点を調査対象としなかったが、その理由は引用文献で記した^[14,16]。破片とは原形の半以下のごみと、1次元の厚さが一定でも2次元の形状が不定な成形品や袋、シートなどの板状破片、3次元の形状が不定な塊状や発泡体の破断物、プラスチックの焼却後の熔融固化物^[14,15]などである。

図1に2区画および4区画の同時調査法を示す。隣接するA, Bで比較する2区画調査は2005年5月から2010年4月までに48回、汀線方向に5mの間隔を空けたC, D, E, Fの4区画の同時調査での比較は2010年5月, 7月, 10月, 12月, 2011年3月に9回行った。汀線距離の異なる調査も含め、いずれも結果の評価は式1で示すような過剰率で行った。ただし両区画の量がいずれもゼロの場合は分析の対象外とした。

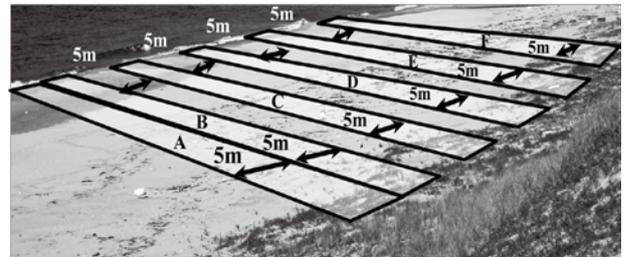


図1 汀線方向5mでの隣接2区画および4区画調査の方法

中型製品ごみの堆積数は鳥取県の三大河川の天神川河口から西に4.8km離れた北条砂丘海岸の $35^{\circ}30'3.9''\text{N}$, $133^{\circ}48'21.2''\text{E}$ から $35^{\circ}30'1.6''\text{N}$, $133^{\circ}46'35.5''\text{E}$ の範囲内の2000mの汀線区間で2010年4月, 7月, 10月, 2011年2月に調査した。中型製品ごみとは原形の半分以上をとどめた定形ごみで、ペットボトル^[17]、液体の界面活性剤用プラスチック容器^[6]、栄養ドリンク瓶^[5]、一升瓶を除く容積300mL以上の中容量の酒瓶^[5]、ライター^[18]、長径15cm以下の外縛り、中通し、外穴型の3種の小型

漁業用フロートで、これらの品目の定義および3種のフロートの写真^[19]は引用文献にある。また小型漁業用フロートより大きな中空および発泡体フロート^[19]も同時に調査し、分けて分析した。調査の実施法は長さ10.00mのロープの両端に棒を取り付け、デバイダーのように片側の棒だけを交互に移動し、100m毎にGPSで位置の再確認を行い、汀線10m区間の見られるごみを撤去せずに個数だけを調べ、一定の汀線距離の堆積数として分析した。

漂着ごみ量は調査期間中の砂浜の奥行幅が25m以上であった6海岸の調査地で、それぞれ隣接250mの2区画に分けて調査した。各調査地の西側の位置は弓ヶ浜の35° 29′ 9.2″N, 133° 16′ 48.7″E, 北条砂丘西の35° 30′ 5.7″N, 133° 44′ 13.3″E, 浜村砂丘の35° 31′ 5.2″N, 134° 2′ 6.6″E, 伏野海岸の35° 31′ 44.3″N, 134° 8′ 17.1″E, 鳥取砂丘西は35° 32′ 25.6″N, 134° 11′ 54.6″E, 鳥取砂丘東は35° 33′ 22.8″N, 134° 15′ 47.2″Eで、西端の各点から東に500mの区間を2等分して隣接2区画とした。これらの海岸の略地図は既に報告しているが^[5], 調査地の中央の位置と鳥取の三大河川の河口との直線距離は、弓ヶ浜で日野川河口から西約9.1km, 北条砂丘西は天神川河口の西約10.7km, 浜村砂丘は千代川河口の西約14.4kmで伏野海岸は西約5.6km, 鳥取砂丘西は千代川河口の東約0.6kmで鳥取砂丘東は東約6.7kmである。調査したごみ種は、前記の6種の中型製品ごみに農薬用の紛体および液体用プラスチック容器^[6], 喘息薬容器を除く化粧品, 殺虫剤, 塗料, プタンガス用などの耐圧金属缶^[6]の2種を加えた8種の中型製品ごみと, 大型ごみとして長径15cm以上の中空と発泡体フロート^[19], および直径6mm以上で長さ約0.3m以上のロープ^[16]で、撤去を伴う毎月の調査を2010年4月から2013年3月まで行った。

3. 結果と考察

3.1 漂着量と堆積量の相違, および調査範囲と測定値の評価法

海浜ごみには、観光客や釣り人などによる海浜での現場投棄ごみと、遠方の陸上や海上で投棄され、海を経る漂着由来ごみに大別される。漂着由来ごみと現場投棄ごみの比率の推測法については屋内用の1L以上の大型ペットボトルと漂流中に沈むため海浜で投棄されたタブ型飲料缶を要素とする重回帰分析によって^[20], これらの砂浜での海浜ごみは主に漂着ごみであることを確認している。

海洋浮遊ごみは断続的に漂着するが、漂着したごみは海水面の上下や風などで断続的に海浜から流出する。潮汐による海水面の変化が大きい海浜では、海水面が低下する過程で漂着したごみが、海水面が上昇するにつれて浮き上がって流出する。このため干満差の大きな海浜では、1日の内でも海浜ごみ量が大きく変化する^[9, 21]。しかも流出速度はごみ種によって相違するため^[22], 時間の経過と共にごみ量も組成も変化する。すなわち堆積ごみ量とは、調査時点で海浜上に残っているごみ量で、海浜の汚染度を示すにすぎない。したがって堆積ごみ量の単位に時間の次元は含まれず、汀線長さ当たりとなる^[14]。

漂着量とは、流れ着くごみ量の一定期間の積算値で、積算時間と汀線長さ当たりが単位となる^[5]。流れ着くごみ量であるため、流出速度が速い潮汐の大きな海岸での測定は困難である。また風によっても容易に流出する発泡ポリスチレン破片などの測定も困難で、風移送を容易に受けるごみ種を除くと、潮汐変化の小さな日本海側では、1ヶ月間に新しく堆積する漂着由来ごみ量が、1ヶ月間の漂着量の近似値となる^[21]。1ヶ月ごとの調査の間に予期しない海岸清掃があっても、それが調査の直後であれば、次月の調査値に大きな影響を与えない。したがって、連続12ヶ月間の調査量の合計はほぼ1年間の漂着量とみなせる。このため、ここでは1ヶ月間の新しい堆積ごみ量を月間漂着量、12ヶ月の連続調査による月間堆積量の積算値を年間漂着量と略記した。

漂着ごみ量や堆積ごみ量の定量的な科学調査の目的は、調査地のある海岸一帯に流れ着くごみ量、すなわち漂着量や、海岸一帯のごみ汚染度の指標値、すなわち堆積ごみ量を得ることである。ただし、これらの海浜ごみは汀線方向に不均一に分布している。このため任意の範囲の測定値が海岸一帯のごみ量の指標値として、どの程度の信頼性を持つかを評価する方法が必要となる。しかし、調査範囲や調査値の妥当性を評価する方法は今まで報告されていない。そこで著者らは図1のように複数の調査区画で、同日に同じ基準でごみ量を測り、その内の2区画でのごみ量から、式1で示す過剰率を計算し、それによって信頼度を評価することを提案する。すなわち、2区画でのごみ量の偏りが小さいと過剰率が小さくなり、調査範囲は適切で、その調査値は調査地を含む海岸一帯のごみ量の指標値として信頼性が高いとみなすこととする。ただし、海岸の範囲は様々で海浜ごみの種類も多く、ごみ量は季節や調査海岸によって大き

く異なるため、常識的な分析手法の導入は不可能で、ここでは過剰率で測ることが適切と判断している。この過剰率での比較は、ごみ量の偏りが分かりやすい利点を持つ。

$$\text{過剰率(\%)} = \left| \frac{\text{A区画の量} - \text{B区画の量}}{\text{A区画の量} + \text{B区画の量}} \right| \times 100 \quad (1)$$

(A区画の量=B区画の量=0 の場合は分析から除外)

3.2 中小微細な人工素材堆積ごみの汀線距離 5m の同時調査

汀線距離が5mあるいは10mでの堆積ごみ量の調査が主に日本で行われているが、この調査範囲の妥当性の評価を試みた。汀線距離5mの範囲における0.02gのレジンペレットから0.5kg程度までの人工素材ごみの堆積量は図1の方法で同時に調査した。この調査での総数は110,328個、総重量は268,025g、1個当たりの重量は2.4gである。この調査は1月から12月までのすべての月に行ったので、年平均の堆積数(cps)を100m(hm)当たりで記すと 17×10^3 pcs/hm、年平均の堆積重量は41kg/hmとなる。この内の製品ごみの堆積数は46,270個で総数の半分以下の42%であるが、重量は181,472gで総重量の68%を占める。製品ごみから平均重量が0.02gのレジンペレットを除くと、堆積数は総数の9.7%の10,684個と著しく少なくなるが、重量は180,760gであまり減少しない。1個当たりの重量は、破片で1.4g、製品ごみで3.9g、製品ごみからレジンペレットを除くと1個当たりの重量は17gである。

表1 汀線距離5mの2区画における中小微細な人工素材堆積ごみ

2区画の間隔	0m(隣接)	5m	15m	25m
2区画比較の組数	48	27	18	9
合計個数	95,245	23,261	15,083	7,448
合計重量(g)	208,971	91,016	59,054	30,354
製品ごみ合計個数 ¹⁾	41,866 (44)	6,758 (29)	4,404 (29)	2,191 (29)
製品ごみ合計重量(g) ¹⁾	140,789 (67)	61,068 (67)	40,683 (69)	22,622 (75)
平均個数過剰率(%) ²⁾	16 (0.60)	9 (0.68)	15 (0.62)	20 (0.63)
平均重量過剰率(%) ²⁾	22 (0.55)	27 (0.67)	25 (0.49)	36 (0.65)
製品ごみ平均個数過剰率(%) ²⁾	19 (0.67)	12 (0.56)	21 (0.44)	28 (0.53)
製品ごみ平均重量過剰率(%) ²⁾	26 (0.57)	34 (0.70)	31 (0.56)	46 (0.62)
破片平均個数過剰率(%) ²⁾	6 (0.67)	8 (0.75)	15 (0.54)	19 (0.55)
破片平均重量過剰率(%) ²⁾	14 (0.71)	21 (0.62)	24 (0.58)	19 (0.44)

1) 括弧内の数値は合計個数あるいは合計重量の内のパーセント

2) 括弧内の数値は変動係数

表1に2区画同時調査の結果と平均の過剰率を

まとめた。大きさや重量がさまざまな海浜ごみの比較は個数ではなく、重量で行うべきである。しかし個数に比べて重量の平均過剰率は大きい。さらに破片より製品ごみで大きく、隣接2区画調査での製品ごみの重量過剰率の平均は26%で、これは両区画のごみ重量がかなり異なる63:37の比を示すが、破片の個数過剰率の平均は6%と小さく、これは53:47の個数比の偏りを意味する。平均の重量過剰率は調査間隔を広げると大きくなり、25m間隔の調査では46%となる。したがって、汀線距離5m範囲の1地点からの調査値には、調査地のある海岸一帯の指標値としての信頼性はない。

製品ごみの重量過剰率は大きいですが、製品ごみに含まれるレジンペレットの重量は著しく少ない。この結果は製品ごみの大きな重量過剰率の原因はレジンペレット以外の製品ごみにあることを示す。レジンペレットを除く製品ごみの1個当たり17gと重く、数は著しく少ない。すなわち狭い範囲での調査では、数の少ない重いごみの分布の偏りが重量の過剰率を大きくしていることが分かる。したがって、重量過剰率を小さくするためには、数の少ない重いごみの分布の偏りが小さくなるように、十分に広い範囲の調査を行うことが必要である。

レジンペレットを調査の下限とすると、膨大な数の微細ごみの調査が必要で、労力が過大となり、調査範囲を大きく広げることができない。これは調査する対象に微細ごみを加えると、調査地を含む海岸一帯の信頼できるごみ量の測定値が得られないことを意味する。この調査でのレジンペレットは総数の32%を占めるが、合計重量はわずかに712gで、総重量の0.3%にすぎない。さらにプラスチックの成形品・袋・シートなどの微細な破片数は膨大で、ストロー、キャップ、発泡ポリスチレンの破片などにも小型の軽量物が多く含まれる。これらは重量への寄与が小さく、しかも排出由来国の同定率は低く、飛砂埋没や風移送を受けやすい。これらの5品目を除くと、総個数の18%の 3.0×10^3 pcs/hmまで少なくなる。それでも総重量の78%の32kg/hmが残る。しかも微細なレジンペレットや民生ごみから多く発生する浮遊性のプラスチック破片の素材はポリオレフィンで、漁業用品の素材として多いポリ塩化ビニルの破片は海底下にある。したがって、重要性のない破片や部品などを調査からの除き、製品ごみ種に限ることで、調査地を含む海岸一帯の信頼できる測定値を得ることができる。ここでは調査対象として適切な具体的なごみ種についての論及は行わないが、それぞれ

の排出分野を代表し⁷⁾、定義が明快で、3次元の相似形の定形ごみ種を調査対象に選ぶことが重量の推定に重要である。なお、プラスチックの微細破片や野焼きからの熔融固化物や工場からのレジンペレットには生物による誤食や有機塩素化合物の濃縮などの指摘があるが、ここではそれらの個別の調査法は検討していない。

3.3 汀線距離 2000m の砂浜における中型製品堆積ごみ 6 種の分布

数が少なく重い製品ごみの分布の偏りが、前記の重量過剰率を大きくする主因であるが、それらの製品ごみの多くは相似形で、個数調査による堆積数と平均推定重量から堆積重量を計算できる。製品ごみの多くは容器類で、それらには内容物を含むものが多い。したがって、それらの正確な重量を海浜現場で測るより、上記の方法による測定精度の精度がはるかに高く、さらに個数調査に要する時間は著しく短く、十分に長い汀線距離の調査が可能となる。ここでは中型で個数の多い代表的な製品ごみを選び、1個当たりの平均重量が約11gのライターから、それより重いペットボトル、3種の小型漁業用フロート、液体の界面活性剤用プラスチック容器、栄養ドリンク瓶、最大約0.5kgまでが含まれる中容量の酒瓶までの6種についての堆積数の調査を、北条砂丘海岸の2000mの砂浜で4月、7月、10月、2月の四季に行った。前記の汀線距離5mの調査でのこれらの中型製品ごみ6種は、堆積ごみ総数の0.5%の509個で、年平均堆積数は77pcs/hm、総重量の16%の43,369g、1個当たりの平均重量は85gである。ここでの4回の延べ8000mの調査での合計堆積数は7071個で、6種のごみ組成に大きな相違はなく、平均堆積数は88 pcs/hmで、これらは汀線距離5m調査の年平均堆積数と大きく相違しない。両調査での堆積数とごみ種の組成が近いことは、これらの中型製品ごみの信頼できる堆積量の測定には、汀線5mの延べの調査距離、すなわち隣接2区画と4区画同時調査のそれぞれ48回と9回の調査範囲を合計した汀線距離の660m程度の調査が必要であることを示唆する。

中型製品ごみ6種の四季の堆積数の分布を連続した汀線距離50mごとの40区画で並べ、図2に示す。いずれの季節の調査でも、区画ごとの堆積数もごみ組成も変動が大きく、調査する汀線距離を50mとしても、その海岸全域の堆積数の信頼できる指標値が得られない。春期では第16区画前後に

低比重ごみの異常に多い地点があり、これは数カ所のすり鉢状に窪んだ地形に空のペットボトルが吹き寄せられていたことによる。漂着後の堆積ごみは通常、強風や波の遡上で排水口下の窪地やコンクリート残骸、太い木や大型重量ごみの周囲に集められる。さらに、その分布はカスプや浜崖基部の地形にも依存する。したがって、堆積ごみ量の測定ではこれらの影響を小さくするために、50mをこえる十分に長い汀線距離の調査が必須である。

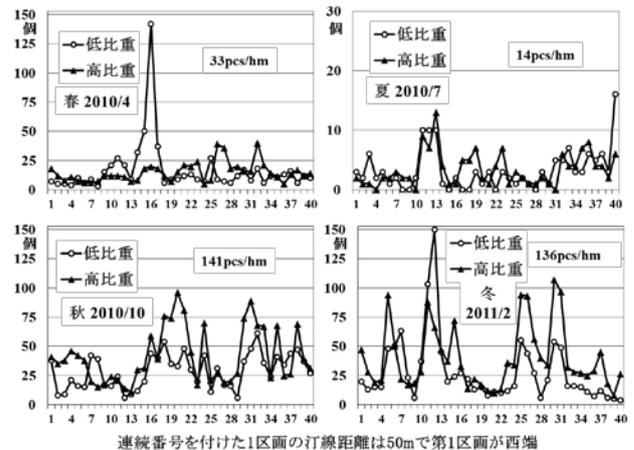


図2 北条砂丘海岸での低比重および高比重の中型製品ごみの堆積分布

秋期の堆積数は141pcs/hmで、秋以降も漂着の多い季節であるが^[5, 16-18]、翌年の冬は136pcs/hmで堆積数は増えていない。これは漂着したごみが単純に蓄積して増加を続けるのではなく、漂着と海への再流出が同等に起こっていることが分かる。この事実は、堆積ごみ量とは調査時点の海浜に残っている量で、漂着量と異なる値であることを示す。

風だけで動く可能性のあるペットボトルと界面活性剤容器を低比重ごみとみなし、強風でも移送されにくいライター、小型フロート、ドリンク瓶、中型酒瓶を高比重ごみとすると、春期の14区画から17区画までを除いても、低比重ごみと高比重ごみの堆積数の相関係数は0.01と低く、晩冬の強風で低比重ごみだけが移送を受けていると思われる。他方で、多漂着期の秋と冬期の低比重ごみと高比重ごみの40区画での堆積数の相関係数はそれぞれ0.64と0.61と高い。秋と冬期の低比重ごみの割合はいずれも同じ41%であるが、秋と冬期の低比重ごみの堆積数の変動係数はそれぞれ0.44と0.70である。ただ一見して分かるように、冬期は低比重ごみも高比重ごみも堆積数の偏りが大きく、

それらの位置のパターンは秋期と大きく異なっている。すなわち、すなわち、図2の漂着数の不均一性は、汀線距離が50mの調査では、その海岸一帯の漂着数に近い指標的な値が得られないことを示している。

汀線距離を250mと500mと広げて比較した結果を表2で示す。すなわち、起点から250m地点までと250mから500m地点までを隣接2区画同時調査とみなし、250mから500mまでと500mから750mまでを次の調査とみなし、終点までの7比較の過剰率の平均値、さらに同様なやり方で500mに広げた過剰率を示した。隣接250m区間では春期以外の平均過剰率が20%より高く、調査距離が不十分である。隣接500mとして比較した過剰率は風や清掃の影響を受けた春夏期で高いが、多漂着期の秋と冬期の調査で小さい。それでも平均が10%を超えることから、中型製品ごみ6種の調査地を含む海岸一帯の堆積数の信頼できる指標値を得るためには、汀線距離500mの調査では十分とは言えないと結論できる。

表2 北条砂丘海岸の中型製品堆積ごみの隣接2区間での過剰率

調査季節	中型製品ごみ6種の堆積数	隣接250m区間の過剰率の平均(%) ¹⁾	隣接500m区間の過剰率(%)			
			0m-1000m	500m-1500m	1000m-2000m	平均
春	1255	17 (0.66)	44	18	8	23
夏	270	32 (0.67)	43	40	45	43
秋	2828	23 (0.63)	15	5	16	12
冬	2718	28 (0.61)	14	4	24	14

1) 隣り合う250mごとの区間の堆積数を比較した過剰率の平均値で括弧内は変動係数

3.4 大型フロートの堆積数の分布

中型製品ごみ調査と同時に長径15cm以上の大型フロートの調査も行った。4月の大型フロートの堆積数は165個であるが、図3で示すように、その内の117個が東側の汀線1000mの範囲に見られる。これは東側の清掃を担当する集落が大型フロートの撤去を怠っていたことを示す。ただし大型重量ごみの撤去が困難なほどに高齢化している地域もあるが、7月の調査では15個に減った。秋以降は多漂着期で、10月は33個の1.7 pcs/hm、2月は71個の3.6 pcs/hmと堆積が増えている。ところで、同時に行った中型製品ごみ6種の秋冬期の堆積数はほぼ同等で、漂着数と流出数は同程

度であったが、大型フロートは冬期で増えた。この結果はごみ種によって漂着数と流出数が異なることを示す^[22]。

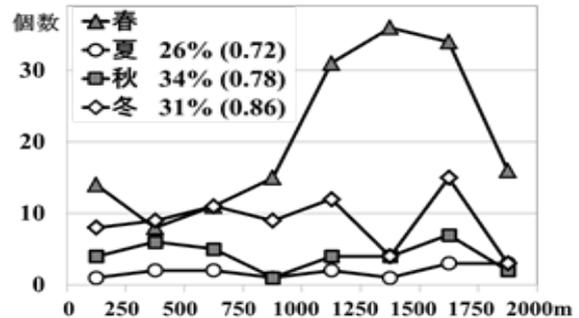


図3 大型フロートの汀線250m区画毎の分布と過剰率

隣接250mの同時調査とした場合の過剰率の平均と変動係数を図3の凡例内に示した。春期は除いてあるが、いずれも平均過剰率が30%前後で、調査する汀線距離が250mでは不十分であることを示す。汀線距離を500mとすると、夏、秋、冬期の平均過剰率はそれぞれ11%、15%、8%に低下する。堆積ごみについては、これ以上の検討を行っていないが、調査地を含む海岸一帯の堆積ごみ量の信頼できる指標値を得るためには、中型製品ごみ6種と同様に、少なくとも500mの汀線距離、望ましくはそれ以上の調査範囲が必要である。ただし、予期せぬ人為的な乱れや、時々見られる異常な大量漂着があった海岸もあるため、下記の漂着ごみ量の測定と同じように複数の海浜で汀線距離500m程度の調査を行うことが適切であると思われる。

3.5 中型製品ごみの漂着数と調査範囲

海への浮遊ごみの排出量が増すと、海洋浮遊ごみの密度が上がり、漂着が増加する。ただし、国や地方によって製品の消費に偏向があることにも注意が必要である^[7]。また消費や投棄の季節性、漂流経路や漂流に必要な時間もそれぞれの排出地とごみ種によって異なる^[5, 17, 18]。したがって、各地での投棄から漂着に至る経緯を探るためには、短期間あるいは月ごとに変化する漂着ごみ種の量と由来地域を調べることが重要となる^[17, 18, 20]。すなわち、各国からの漂着量の季節変化を測り、排出量の増減は1年間の漂着量で比較しなければな

らない。ここでは6海岸の汀線距離500m区間をそれぞれ東西250m区間に2分し、両区間への毎月の漂着数を3年間にわたって調べた。調査地の6海浜のすべてが北向きの砂浜であるため、東側250m区間と西側250m区間のそれぞれへの漂着数の合計から過剰率を求めた。各調査地での3年間での同じ月の調査は延べ750mの汀線距離の調査に相当する。各月の6調査地の漂着数の合計は延べ1500m区間の調査に相当し、各調査地の12ヶ月の各年度の調査は延べ3000m、3年間では9000m、6調査地合計での各年度は延べで18000m、3年間では延べ54000mの汀線区間の調査に相当する。

表3 隣接東西250m区間の36回の中型製品ごみの月次調査の漂着数での過剰率

調査海岸	鳥取砂丘東	鳥取砂丘西	伏野海岸	浜村砂丘	北条砂丘西	弓ヶ浜	6海浜計
平均過剰率(%) ¹⁾ (変動係数)	16 (0.94)	22 (0.94)	24 (0.77)	19 (0.83)	24 (0.84)	27 (0.62)	13 (0.75)
10年度 ²⁾	0	8	4	14	2	17	1
11年度 ²⁾	3	2	12	3	10	32	7
12年度 ²⁾	8	1	0	12	2	9	4
3年間 ²⁾	6	1	2	7	4	19	2
日本由来物 ³⁾	6	3	8	7	7	14	2
朝鮮半島由来 ³⁾	2	7	2	4	1	17	1
中国・台湾由来 ³⁾	2	9	6	5	3	22	3

- 1) 36回の月間漂着量の過剰率の変動係数と平均過剰率
- 2) 東と西区間のそれぞれへの漂着数の合計数からの過剰率
- 3) 3年間の東と西区間のそれぞれへの漂着数の合計数からの過剰率

ごみ種は前記の北条砂丘海岸で調べた中型製品ごみ6種に農薬プラスチック容器と耐圧金属缶を追加した。これら8種の中型製品ごみの、6調査地の500m区間に漂着した36ヶ月間の総数は45,257個で、汀線100m区間への1年間当たりの漂着数は503pcs/(hm・Y)、2品目を加える前の6種に限ると総数は42,924個で、平均年間漂着数は477pcs/(hm・Y)である。中型製品ごみ8種の総数の日本由来数の割合は27%、朝鮮半島由来は17%、中国・台湾由来は20%、由来地域不明は36%、ロシアと東南アジア由来ごみ数は合計で0.5%である。

表3にまとめた結果を示す。各調査地での各月の漂着数の過剰率は平均で16%から27%で、変動係数も小さくない。したがって汀線距離250mの1地点の1ヶ月間の漂着数の調査では、調査地のある海岸の月間漂着数の指標としての信頼性は高くない。汀線距離1500mの調査に相当する6調査地の

月間漂着数の合計では、平均の過剰率が13%で、この偏りは56.5:43.5である。信頼度は十分に高くはないが、ここでの実際の調査は汀線距離500mの6調査地で、延べ3000mの調査であるため、信頼度は上記より高い。月間漂着数は漂着数の季節変化を知るために重要で、それについては後記する。

連続12ヶ月の月間漂着数の合計である年間漂着数での過剰率は、弓ヶ浜を除くと0%から14%の範囲で、大半の過剰率は10%以下である。これは、調査地のある海岸一帯への年間漂着数の指標として、ほぼ信頼性のある調査値が得られることを示している。ただ、弓ヶ浜での高い過剰率の原因は不明であるが、予期せぬ海岸清掃などの影響も軽減するためには、複数の海岸で調査をすることが重要である。弓ヶ浜を加えた6海浜の合計漂着数では、2010年度から2012年度までそれぞれ過剰率が1%、7%、4%で、いずれも信頼性があると評価できる。また3年間の合計では2%の過剰率である。

3.6 中型製品ごみの由来国別および月別の漂着数

漂着量の由来国別割合の調査には高い信頼性が必要である。各調査地の日本、朝鮮半島、中国・台湾の由来国別の3年間の漂着数で比較した過剰率は、弓ヶ浜を除き、1%から9%の範囲の信頼度で、3年間の6調査地の合計で比較した過剰率は1%から3%と信頼度は高い。6調査地の合計での月間漂着数の信頼性はあるが、1海岸の汀線距離250mへの月間漂着数での過剰率が高く、その結果の信頼性は不十分である。

表4 中型製品ごみ8種の6調査地の3年間の隣接東西250m区間への月別合計漂着数と過剰率

過剰率(%)	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
平均月間漂着数 ¹⁾	27	28	21	18	17	69	43	101	60	52	35	31
隣接区間漂着数 ²⁾	4	1	4	12	19	18	1	7	2	8	19	25
当月-翌月間 ³⁾	2	14	10	2	61	23	41	26	7	19	6	6 ⁴⁾

- 1) 単位はpcs/(hm・M)
- 2) 3年間の各月の6海岸の調査地のそれぞれ東および西区間の合計漂着数での過剰率
- 3) 該当月の東西2区間の合計漂着数と翌月の合計漂着数で比較した過剰率
- 4) 3月-4月で比較した過剰率

表4に6調査地での各月の3年間の東西2区画への合計数から求めた過剰率と当月-翌月間の変化による過剰率で示した。多くの月で当月-翌月間の過剰率より、東西2区画での過剰率が小さい。すなわち、これらの月の調査値は海岸一帯の漂着数としての信頼性が高く、それに比べて前後の月

の漂着数の変化が大きいことから、漂着数の月変化に対する信頼性は高い。他方、晩冬から初夏の4ヵ月で当月-翌月間の過剰率より、東西2区画での過剰率が大きい。しかし、これらの期間の合計漂着数は総数の22%にすぎない。漂着数の少ない季節の月間漂着数の変化に対する信頼性は高くないが、漂着数が少ないため、季節変化の全体の傾向としての信頼性は高いと判断できる。同じように、各年の6海浜での漂着数の調査でも、季節変化の傾向を示す指標の信頼性は損なわれていない。なお500m区間への主要ごみ種の月間漂着数の標準誤差について報告しているので^[5,18]、ここではこれ以上の論及はしない。

3.7 大型フロートとロープの汀線距離250mでの漂着量

大型フロートや長いロープの漂着数は少ないが、極めて年間漂着重量の大きなごみ種である^[16,19]。ここでは中型製品ごみの調査と同時に長径15cm以上の大型フロートと直径6mm以上のロープの調査も行った。その結果を表5に示す。大型フロートの6調査地での3年間の総漂着数は1,096個で、年間平均漂着数は12pcs/(hm・Y)と少ない。調査地ごとの各月の平均の過剰率は38%から66%で、漂着数の少ないごみ種には250mより十分に長い汀線距離の調査が必要である。延べ1500mの汀線距離の調査に相当する6調査地の合計数からの平均過剰率は21%と低くなるが、この地域の海岸への月間漂着数の指標としての信頼性は不十分である。単一の海浜での12ヶ月の調査は汀線距離3000mの調査に相当するが、各年の18組の過剰率の値の半数は11%以下となる。しかし、弓ヶ浜や伏野海岸では40%以上の年度もあった。3年間の値では4地点で11%以下となるが、伏野海岸と弓ヶ浜はそれぞれ22%と41%である。訪問者が大型フロートを移動することも原因として否定できないが、なるべく多くの海岸で調査することが肝要である。6調査地の合計でみると、各年度の年間漂着数の過剰率は2%から12%で、3年間の合計での過剰率は9%となる。これは汀線距離250mの調査であるが、実際には2区間合計の500mの調査であるため、その調査結果の信頼性はあるとみなせる。

ロープの総漂着数は3年間で11,537本、総重量は3,382kgである。年間の平均漂着数は128pcs/(hm・Y)で、年間の平均漂着重量は38kg/(hm・Y)である。本数の大半は短いロープであるため、調査地ごとの36回のロープの漂着本数の平

均の過剰率は大型フロートより小さい。しかし調査地を含む海岸一帯への月間漂着数の指標としての信頼性は不十分である。6調査地の合計での月間漂着数での過剰率は平均17%で、この地域の海岸の月間漂着数の指標としての信頼性は足りない。しかし既報の図で示したように、おおまかな季節変化の傾向についての信頼性はある^[13]。各年度でみると、本数の過剰率は調査地によって著しく異なり、鳥取砂丘東や北条砂丘西では小さいが、鳥取砂丘西や伏野海岸で大きい。ロープは比重がほぼ同じ特長を持つが、特定の海岸で過剰率が大きい原因は不明である。したがって、複数の海岸で調査することが重要で、6調査地の1年間の合計からみた過剰率は0%から6%で、3年間の合計数での過剰率は4%である。

表5 大型フロートとロープの隣接東西250m区間の月次調査量で比較した平均過剰率(変動係数)と各年度の合計量と3年間の合計量からの過剰率

ごみ種	大型フロート	ロープ本数 ¹⁾	ロープ重量 ²⁾
鳥取砂丘東	平均過剰率(変動係数) 45(0.90)	20(0.95)	39(0.68)
10年度	11	1	26
11年度	5	1	46
12年度	24	2	9
3年間合計	11	1	25
鳥取砂丘西	平均過剰率(変動係数) 42(0.94)	31(0.70)	55(0.57)
10年度	5	22	23
11年度	29	20	34
12年度	25	13	24
3年間合計	2	10	7
伏野海岸	平均過剰率(変動係数) 52(0.72)	31(0.72)	53(0.57)
10年度	5	22	13
11年度	40	33	40
12年度	28	20	76
3年間合計	22	13	49
浜村砂丘	平均過剰率(変動係数) 53(0.79)	30(0.78)	55(0.49)
10年度	5	10	54
11年度	5	5	30
12年度	21	11	29
3年間合計	11	4	6
北条砂丘西	平均過剰率(変動係数) 38(0.92)	22(0.81)	40(0.72)
10年度	6	5	21
11年度	17	6	24
12年度	3	2	2
3年間合計	9	3	3
弓ヶ浜	平均過剰率(変動係数) 66(0.54)	38(0.89)	55(0.59)
10年度	16	16	51
11年度	54	31	60
12年度	10	0	66
3年間合計	41	13	25
6海浜計	平均過剰率(変動係数) 21(0.94)	17(0.65)	32(0.67)
10年度	2	6	21
11年度	11	0	2
12年度	12	4	15
3年間合計	9	4	12

1) 直径6mm、長さ0.3m以上を調査

2) 比重を0.67g/cm³として長さから重量を算出

ロープの漂着重量の過半は太くて長いロープが占める。しかも、長いロープは互いに絡まり、塊状で漂着することが多い。その結果、各調査地の

月間や年間の漂着重量の過剰率は著しく大きい。延べ1500mに相当する6調査地の合計での月間漂着重量の過剰率の平均は32%と大きいですが、それでも既報で示したようにおおまかな季節変化の傾向を見みることにはできる¹³⁾。調査地ごとの12ヶ月の調査値の過剰率も高いが、3年間の調査では調査地によるばらつきが大きく、3調査地では10%以下となるが、他の3調査の値は25%から49%であった。6調査地での12ヶ月の調査は延べ18000mの汀線距離の調査に相当するが、各年度の過剰率は2%から21%で、3年では12%で、その重量比は56:44である。ここでは信頼度の目安を過剰率10%としたが、実際の調査は汀線距離500mで行われているため、この調査結果はこの地域の海岸への年平均の漂着重量の指標としての信頼性があると考えている。ただし、各年の漂着量の変化を確認できるほどの信頼性はない。各年の漂着重量の変化を知るためには、さらに調査地点を追加するか、調査範囲を広げることが必要と思われる。

4. 結論

今まではボランティアによる定性的な調査が主であったが、海洋浮遊ごみと海浜ごみの監視と管理には定量的な調査が不可避である。特定の狭い範囲の海浜のすべてのごみの量を正確に測っても、それがその海岸一帯のごみ量の指標値となる保証はなく、他の海岸のごみ量と比較することはできない。したがって、調査地のある海岸一帯のごみ量の指標値として信頼できる測定値を得ること必須で、それによってその海岸一帯のごみ量の季節変動や経年変化、あるいは他の海岸のごみ量との比較が可能となる。ここでは信頼度を測る方法として過剰率を導入した。過剰率を10%以内にするためには、十分に長い汀線距離の調査が必要で、測定に時間を要する微細ごみを除くことが必須であった。したがって、調査するごみ種は排出国や排出産業を代表するごみ種から、定義が明確で個数調査から重量を計算できる定形製品ごみに限ることを提案する。堆積ごみ量の信頼できる指標値を得るためには、日本海側の海岸の複数の地点で少なくともそれぞれ汀線距離500mの調査を行うことが必要である。

漂着由来の海浜ごみ調査の目的は海洋浮遊ごみの削減である。各国での不適切なごみ処理によって浮遊ごみの流出が増すと、海洋浮遊ごみが増え、漂着量が増える。したがって日本での漂着ごみ調査から各国での不適切なごみ処理の状態や、新し

く実施された流出防止対策の実効性を評価できる。中型製品ごみの一部には製造年月日¹⁷⁾や詳細な地名情報¹⁸⁾があり、それらの情報を利用するとごみ流出地からの季節に依存する漂流経路も推測できる。ただし、漂着ごみ量の調査は環太平洋アジア諸国が一致して流出防止に向うために行われるべきである。そのためには調査に対する客観性と信頼性が不可欠で、漂着量と堆積量を分け、測定値の客観的な評価の可能な、科学的に検証された調査法が必須である。漂着量の季節変化までを知るためには、潮汐の小さな日本海側で、汀線距離500mの範囲の調査を毎月6海浜以上で行うことが必須である。著者ら以外に漂着ごみ量の調査は行われて来なかったが、この調査法の改良と調査地の拡大を行い、環太平洋アジア諸国の協調的な浮遊ごみ流出防止体制を構築することが、太平洋の浮遊ごみ汚染を軽減する喫緊の課題である。

謝辞

この漂着ごみ調査において撤去したごみについて、その処分を行った米子市、北栄町（合併以前は北条町と大栄町）、鳥取市（合併以前は気高町、鳥取市、福部村）、および岩美町に感謝いたします。

参考文献

- [1] UNEP: Regional Seas Programme, Marine litter, http://www.unep.org/regionalseas/marine_litter/ (accessed 2014-October-31).
- [2] Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C. and Barlaz, M.: Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments, *Philos. Trans. R. Soc., B, Biol. Sci.*, 364, pp. 1985-1998, 2009.
- [3] 環日本海環境協力センター: 各種報告書, http://www.npec.or.jp/3_report/hk-tp.html (accessed 2014-October-31).
- [4] 公益財団法人 海と渚環境美化・油濁対策機構: 発行物, <http://www.umitonagisa.or.jp/html/syuppan.html> (accessed 2014-October-31)
- [5] 岡野多門, 安東重樹: 海岸漂着ごみに与える地元投棄ごみと河川の影響, *廃棄物資源循環学会論文誌*, 23, pp. 232-239, 2012.
- [6] 岡野多門, 安本 幹, 安東重樹: 人工素材海浜ごみに対する台風の影響, *廃棄物資源循環*

- 学会論文誌, 21, pp.226-235, 2010.
- [7] 岡野多門, 安東重樹, 安本 幹: 難分解性海浜堆積漂着ごみの性質と分類, 棄物資源循環学会論文誌, 21, pp.94-105, 2010.
- [8] National Marine Debris Monitoring Program Rreport - UNEP:
http://www.unep.org/regionalseas/marine_litter/publications/docs/NMDMP_REPORT_Ocean_Conservancy__2_.pdf (accessed 2014-October-31).
- [9] Storrier, K. L., McGlashan, D. J., Bonellie, S., and Velander, K. : Beach Litter Deposition at a Selection of Beaches in the Firth of Forth, Scotland, *Journal of Coastal Research*, 23, pp.813-822, 2007.
- [10] Hong, S., Lee, J., Kang, D., Choi, H., and Ko, S.: Quantities, Composition, and Sources of Beach Debris in Korea from the Results of Nationwide Monitoring, *Marine Pollution Bulletin*, 84, pp.27-34, 2014.
- [11] 山口春幸: 深刻な海岸漂着ごみ汚染, 月刊廃棄物, 第3号, pp.2-23, 2003.
- [12] 小畑健一, 敷田麻美: 石川県における海外ごみの分布と季節変動に関する研究, のと海洋ふれあいセンター研究報告, 第7号, pp.43-50, 2001.
- [13] Plastic Debris in the World's Oceans,
http://www.unep.org/regionalseas/marine_litter/publications/docs/plastic_ocean_report.pdf (accessed 2014-October-31).
- [14] 岡野多門, 安東重樹, 築田哲也, 安本 幹, 宮崎義大: 漂着堆積人工素材ごみの砂浜上の分布とその調査法, 環境科学会誌, 25, pp.432-441, 2012.
- [15] 岡野多門, 築田哲也, 安本 幹, 池田圭吾, 安東重樹: 人工素材漂着ごみによる海浜汚染とそれを測る適切な単位, 環境化学, 21, pp.69-74, 2011.
- [16] 岡野多門, 森田 晃: 漁業や海運用のロープによる海浜の漂着ごみ汚染, 環境科学会誌, 26, pp.150-157, 2013.
- [17] 岡野多門, 安東重樹, 池田圭吾: 日本海に流入する海外からの飲料用ペットボトルの漂流経路, 棄物資源循環学会論文誌, 22, pp.285 - 292, 2011.
- [18] 岡野多門, 安東重樹, 安本 幹: 漂着ライターの地名情報からみた民生分野からの海域ごみの排出地, 環境科学会誌, 24, pp.521-530, 2011.
- [19] 岡野 多門, 加藤 郁美: 東アジアからの漁業用フロートの漂着実態, 棄物資源循環学会論文誌, 24, pp.88 - 96, 2013.
- [20] 岡野 多門, 加藤 郁美: 漂着ごみからみた日本から流出する海洋浮遊ごみ, 棄物資源循環学会論文誌, 印刷中.
- [21] Velander, K. and Mocogni, M. : Beach Litter Sampling Strategies: is There a Best Method?, *Marine Pollution Bulletin*, 38, pp.1134-1140, 1999.
- [22] 岡野多門, 池田圭吾, 築田哲也, 鷹取正基, 安東重樹, 安本 幹: 海浜漂着人工素材ゴミの調査方法(2) 漂着ゴミの埋没と再露出および流出, 第18回廃棄物学会研究発表会講演論文集I, pp.273-275, 2007.

(受理 平成26年11月25日)

漂着ごみ量の測定に必要な海浜ごみの砂浜からの流出による消失半減期

岡野 多門・森田 晃
鳥取大学大学院工学研究科, 化学・生物応用工学専攻

Elimination Half-life Measurement of Beach Litter in Order to Estimate
the Amount of Floating Marine Litter That is Washed Ashore

Tamon OKANO and Akira MORITA
Department of Chemistry and Biotechnology, Graduate School of Department of Engineering,
Tottori University, Tottori, 680-8552 Japan
E-mail: okano@chem.tottori-u.ac.jp

Abstract: The amount of marine litter released from each country is reflected in the amount of beached litter originating from each corresponding country. Therefore, the monitoring results are instrumental in improving the measures to prevent the outflow of waste. However, the actual quantity washed ashore minus the quantity of outflow is the change of accumulated quantity on beach. Therefore, we measured the elimination half-life of litter items on eight beaches facing the Sea of Japan, and classified the items the beached quantity of which are possible to be measured. Consequently, it is impossible to measure the beached quantities of debris of polystyrene foam and plastic bags because of their instant transport even by weak wind. The elimination half-life of PET bottles from the beaches is about one month, because some of them contain residues or sand. Therefore the beached quantities of most of plastic bottles are considered possible to be measured by monthly monitoring. Disposable lighters and glass bottles are not affected by wind transport, and their elimination half-lives are around three months. However, it is difficult to measure the beached quantity of plate-like debris thinner than disposable lighters, because they are buried and exposed by blown sand.

Key Words: Floating marine litter, Elimination half-life, Beached PET bottle, Washed-up lighter, Beach debris

1. はじめに

人工素材ごみが世界中の海岸に大量の堆積していることが知られるようになり、海岸清掃が広く奨励されている^[1, 2]。しかし世界の海岸線は78万kmをこえ、人員的にも費用からも清掃は困難で、また清掃だけで海洋浮遊ごみを減らすことはできない。最も重要なことは、ごみの流出防止である^[1]。とりわけ、急速に消費水準を上昇させている環太平洋アジア諸国にとって、流出防止は喫緊の課題である^[3]。しかし、先進国の対策も不完全で、例えば日本や韓国では幾つもの対策が講じられているが、ごみは流出を続け、海岸に大量のごみが流れ着き、溜まっている^[4-8]。ごみが隠れて捨てられたり^[8]、過失から流出したりするため^[9]、予期できないごみ種も多く、机上の対策では十分に機能しない。流出防止の実効性を上げるためには、まず流れ着くごみ種とその量を認識し、流出や排出の原因の排除を行い、さらに投棄や排出を抑止する射的対策が必要である。

流れ着く量は漂着ごみ量で、海岸に溜まっている量が堆積ごみ量である。漂着量の調査は著者ら以外に行われていないが、堆積ごみ量の調査は広く行われている。しかし現在でもアメリカでは汀線距離500m^[10]、イギリスや韓国では100m^[11, 12]、日本では10m^[4]と5m^[13]の堆積ごみの調査範囲が推奨され、さらにごみ量の単位は面積当たりと汀線長さあたりが混用されている。さらに堆積ごみ調査の多くは観光地海岸で行われ、観光客の投げ捨てごみを含むすべての海浜ごみを調査の対象としている。しかし各国から漂着するごみ種と量は季節によって異なり、漂着したごみは海岸から流出して行く。その流出速度はごみ種によって異なり^[14, 15]、漂着量が多くても流出の速いごみの堆積量は少なく、漂着量が少なくても流出の遅いごみの堆積量は多くなる。すなわち、特定の季節の各国からの各ごみ種の堆積量は海浜の汚れを示す尺度であり、各国からの年間の排出量を反映しないため、各国での射的を射た排出抑制策に寄与しない。海岸ごみはごみ種の数だけある“入水と出水量

が異なる穴あきバケツモデル”にたとえられる。バケツに溜まっている水量が堆積ごみ量に相当し、それは入水量に当たる漂着ごみ量ではない。したがって、各国からの年間の漂着量を測るためには、流れ着く量に対して流出する量が十分に少ない期間の量を測り、それを連続して続け、その1年間の積算値が年間漂着量となる。最近、浮遊ごみの漂着と流出を連続的にモニターできるカメラの使用が行われているが^[16]、しかし遠方のカメラから流れ着いたごみ種の排出国を示す文字やバーコードをすべて正しく識別することは不可能である。したがって、カメラを用いる方法は各国での固形廃棄物の管理体制の改善を目的とする調査には適さない。

ごみ種と由来国の正確な同定には、海岸での観測者による文字や記号の確認が不可避である。しかし、カメラと異なり、観測者による海浜での連続の繰り返し調査の間隔には限度があり、それによって漂着量を測定できるごみ種に限られる。流出速度はごみの存在地点までの海水面の遡上に関係する。そこで、干満差が小さく、広い砂浜の多い鳥取県の砂浜の特徴を利用し、主要ごみ種の流出による砂浜からの半減期についての測定を行い、日本海側で漂着量が測定できるごみ種の決定と、連続調査に必要な時間間隔について報告する。

2. 調査と測定の方法

2.1 陸向きの強い季節風による漂着由来ごみの後背樹林帯への移送

定性的調査は風移送されやすいごみ種の流出速度が風移送されないごみ種より流出速度が速いと想定して行った。調査地は鳥取県の北条砂丘海岸の $35^{\circ}30'0.5''N$, $133^{\circ}46'30.3''E$ と $35^{\circ}30'0.4''N$, $133^{\circ}46'38.3''E$ の2点の汀線方向の200mを基準に、汀線から垂直方向に100mの後背松林までの範囲で、2005年12月9日に調査予定のごみ種を撤去し、2006年3月10日に漂着由来ごみの分布状態を調べた。ごみ種は目測で体積が 100cm^3 以上の発泡ポリスチレン、短辺が5cm以上のプラスチック袋類、原形の半分以上をとどめるペットボトルとライター、割れていないガラス瓶である。

2.2 粗粒の砂浜での海浜ごみの風と波の遡上による移送

鳥取空港の西側の $35^{\circ}31'42.3''N$, $134^{\circ}8'8.5''E$

を中心とする砂浜で、2007年5月下旬から7月初旬まで、および9月から12月中旬まで、風と波の遡上による海浜ごみの移送について毎日の調査を行った。この海岸は汀線から垂直方向に約30mまでの範囲が砂浜で、平均斜度は約5度、砂の粗粒率は2.44で平均粒子径は0.3~0.6mm、その後背地はなだらかな草地である。上記の点から両側に40m余りの地点に、汀線に垂直方向のテトラポットの波止めがあるため調査期間中の地形変化は小さく、海水面と海浜面の交線の位置変化は2m余りであった。

周辺からライター、キャップ付きの小型ペットボトル(500~650ml容積)と栄養ドリンク瓶(100~120ml容積)を集め、容器の内容物は捨て、ドリンク瓶および重量が25gから34g程度の標準的なペットボトルは空のままキャップを閉め、他のペットボトルには約500mlの海水を入れ、すべてのごみに印を付けた。水入りボトルとドリンク瓶とライター1個はそのまま砂上に置き、他のライターは上面を砂面と同じ高さにして置き、それに0.5cm~1cm程度の砂をかけ、空ペットボトルは砂面を3cmほど掘った所に置いた。これらの5個を直径0.5m程度の範囲内にまとめて1組として、海面と海浜面の交線から上方24mの地点を起点に、汀線に垂直の下方に向けて2mごとに1組ずつを置き、さらに汀線方向の10mごとに3列並べた。低波時は汀線に垂直方向に12組の最大計36組、波の高い日の最少は6組で計18組となった。

調査は16時を目標に行い、位置の移動と飛砂による変化を調べ、その後位置や飛砂の影響を修正し、欠損部を補い、翌日の調査に備えた。設置日数は150日以上であるが、有効な調査回数は88回で、調査の完結後にごみを撤去した。風速は鳥取空港の値で、最大波高は鳥取空港沖のナウファスの値を用いた。

2.3 細粒の砂浜での飛砂によるライターの埋没と露出の影響

鳥取空港北側の奥行幅が約40mの砂浜の中央部の $35^{\circ}32'3''N$, $134^{\circ}10'19''E$ の周辺で2007年の11月から12月に飛砂によるライターへの影響を調べた。この砂浜の粗粒率は1.53で、平均粒子径は0.15mmから0.3mmである。砂浜上に1辺10mの正方形を書き、汀線に垂直方向の1mごとに11ヶ所、汀線と平行方向の5mごとに3列の計33ヶ所に、各2個のライターを設置した。1個は砂面上に置き、他の1個は砂面を1cmほど掘り、ライターの上面を砂面と同じ高さにして、それに0.5cm~1cmほどの砂をかけた。1

日後の16時すぎに調査を行い、各組の1個、あるいは2個のライター面の半分以上がそれぞれ埋没あるいは露出していた場合を変化として記録し、その後に変化を修正して翌日の調査に備えた。ただし、波の遡上を受けて位置が変化した場合は調査結果から除いた。なおこの調査では鳥取空港での最大風速と1mm以上の降雨の測定値を用いて分析した。

2.4 漂着ライターの8海岸での流出速度の測定と年平均の半減期

下記の8海岸の砂浜の汀線500m区間で、2006年6月から2008年9月まで調査を行った。2006年6月から2007年5月までの月ごとに12回、実際に漂着したライターの4面に海岸と漂着月が特定できる印を付け、漂着地点を変えず、人為的な影響を避けるために砂面から2cm程度の深さに埋めた。翌月に砂浜上に表出している印付けライターを調べ、そのライターを再度2cm程埋め込んだ。印付の終了後も表出ライターの調査を続け、2cm程の埋め込みを2008年9月まで繰り返した。これらの海岸はほぼ北向きで、その西端の位置はA; 35°29′9.2″N, 133°16′48.7″E, B; 35°30′5.7″N, 133°44′13.3″E, C; 35°30′12.4″N, 133°50′53.7″E, D; 35°31′5.2″N, 134°2′6.6″E, E; 35°31′44.3″N, 134°8′17.1″E, F; 35°32′25.6″N, 134°11′54.6″E, G; 35°33′22.8″N, 134°15′47.2″E, H; 35°36′0.1″N, 134°21′29.2″Eである。これらの位置の略図は図1に示す。

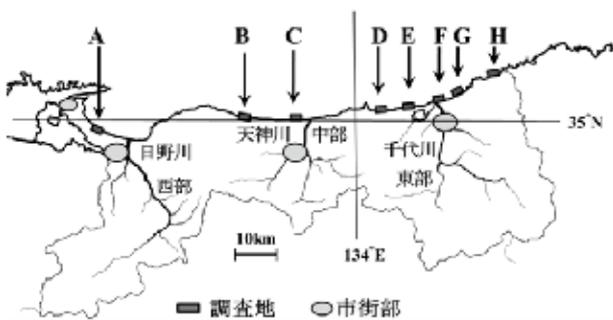


図1 鳥取県の主要市街部と河川と調査地の位置

2.5 漂着ペットボトルと栄養ドリンクの流出速度と半減期の決定

漂着した容積1L未満の小型ペットボトルと栄

養ドリンク瓶の流出速度の測定は2006年11月から2007年12月まで前記のC, E, Gの3海岸の各500m区間で、2012年12月から2014年1月まではB, D, E, Gの4海岸の500m区間で行った。これらの漂着ごみの内容物を捨てずそのまま、キャップのないペットボトルは容器本体にペンやスプレーで漂着月の印を付け、ふた付き容器は漂着月と場所を記した生分解性テープをふたと容器の間に挟み、漂着していた位置も向きも元の状態に戻して置いた。2006年からの調査では印付け後の月次調査において撤去したが、2012年からの調査では撤去までの日数を延長し、最長の放置日数は49日間とした。

3. 結果と考察

3.1 漂着ごみ量と堆積ごみ量の相違

海洋浮遊ごみの漂着は断続的であるが、海浜からの流出も断続的に起こっている。したがって、一定期間での漂着数と流出数および海浜上に残留しているごみの変化数、すなわち堆積数の変化との関係を個数で記すと式1となる。

$$\text{堆積数の変化数} = \text{漂着数} - \text{流出数} \quad (1)$$

あらかじめ海浜上の堆積数をゼロとして調査を始めても、一定期間後の堆積数は、漂着数から流出数を引いた個数となる。流出数の測定は、堆積ごみに印を付け、新しく漂着するごみと区別ができるようにして、一定期間の後に、印の付いたごみの減少数からできる。それによって測定できた流出数が十分に少ないとみなせる期間内に海浜上に溜まっているごみ数が漂着数と近似できる。続いて再度、海浜上に溜まっているごみを撤去し、また流出数が十分に少ない期間内に溜まった個数を漂着数と近似する。その調査を連続して繰り返すことで、各調査の漂着数の積算値が年間やある季節の期間の漂着数の近似値となる。

漂着数を測るための繰り返し調査の時間間隔は、そのごみ種の海浜からの流出速度によって決まる。各国の排出抑制策の改善を目的とする調査では、排出由来国の正確な帰属が必須で、観測者による調査が不可避である。観測者による調査の実施可能な間隔を1ヶ月程と仮定すると、流出による半減期がおおよそ1ヶ月より短いごみ種の漂着数の測定はできない。すなわち、流れ着くごみ種であっても、すべてのごみ種の漂着量を測ることはできない。

3.2 漂着ごみの風による影響

風による外力は対象物の投影面積に比例し、抗力は重量に比例する。このため比重が大きくても重量の小さな微小物は風で移送されやすく、他方で低比重でも体積の大きなごみは風移送されにくい。砂の比重は2~3程と大きい、一般的な浜砂は風速5m/sec前後から動き始める。他方で発泡ポリスチレンの比重は0.02前後と小さいが、1kg以上のフロートは風速5m/sec程度では、自然にできた凹凸のある砂浜上から動かない。そこで風移送されやすいごみ種の海浜からの流出は速いと仮定し、実際の海岸で、実際の漂着物の風移送を季節風の強い冬期に定性的に調べた。

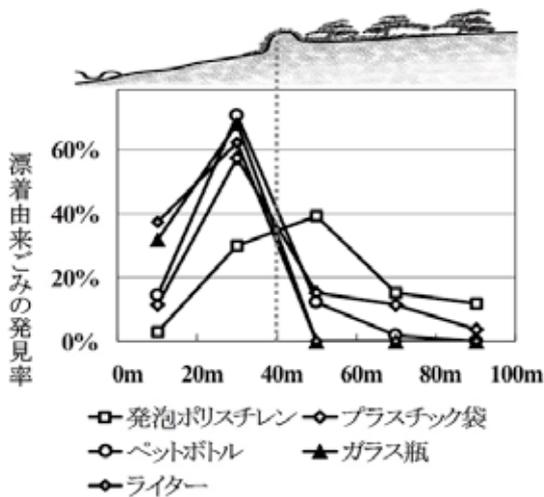


図2 主要ごみ種の砂浜と後背防風林内の分布

海浜と後背樹林帯を含む調査範囲のごみを12月にすべて撤去し、翌年の3月に漂着したごみの分布を調べた。この間の鳥取空港での最大風速は北北西21m/secで、調査地の海岸での最大風速も同程度と思われる。調査地の地形とごみの分布を図2に示す。発泡ポリスチレン破片は33個で、その内の22個が約2mの高さの土手をこえた防風林内で、プラスチック袋の26個の内の8個、ペットボトル48個中の7個が防風林内に見られた。他方でライター16個とガラス瓶22個はすべて海浜側で見つかった。したがって、ライターとガラス瓶の調査範囲を海浜に限ることができるが、土手をこえたごみ種では、調査範囲の限定が困難である。

防風林内のペットボトルは全数の15%で、そのすべてが空ボトルで、6個は土手の基部にあった。

防風林内には草木が多く、冬期の海向きの風（南風）は弱いため、防風林側から土手をこえて海浜側に戻る風移送は考えられない。したがって防風林内の個数が3ヵ月間に土手をこえた全数と判断できる。すなわち、調査間隔を3ヶ月より短くすることで、漂着数の測定を海浜の範囲だけで行うことができると思われる。

3.3 写真で見る漂着由来ごみの風移送

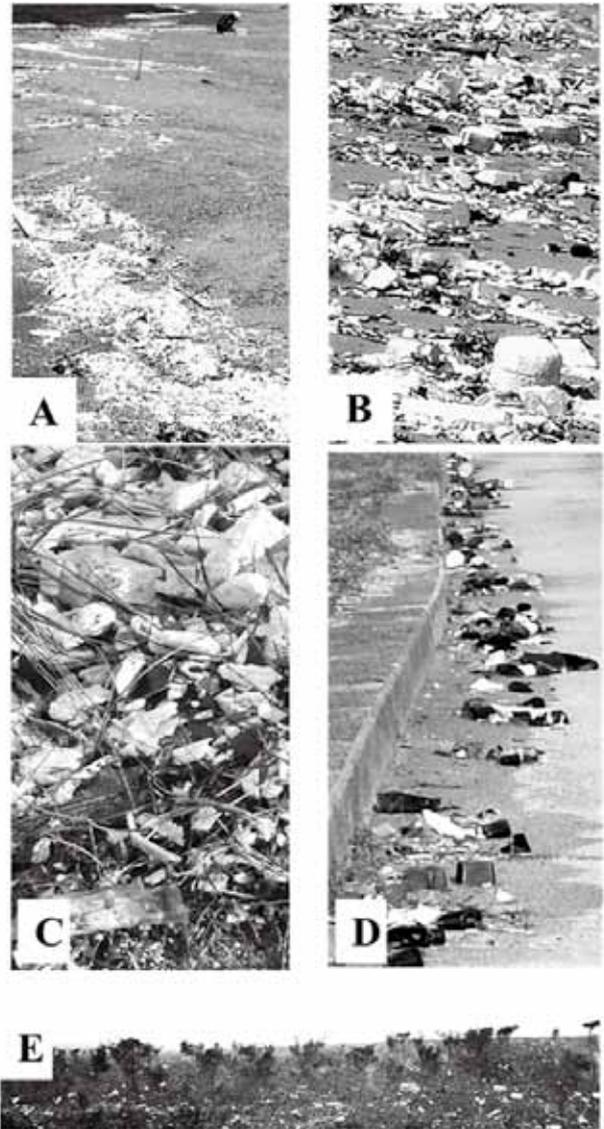


図3 発泡ポリスチレン破片の選択漂着と海浜から風で移送された低比重の軽量ごみ

最も風で移送されやすいごみ種は発泡ポリスチレンの微小破片で、特にビーズ法の発泡体は機械的強度だけでなく、ベンジル位の炭素の結合が光開裂しやすいために劣化が速く、容易に微細な破

片を生じやすい。図3Aの上方に釣り人が写っているが、ここで漂着した発泡ポリスチレン破片に大型物は見られず、発泡ビーズ1個から数百個程度の微小破片だけが選択的に漂着している。漂着帯と汀線との距離が1m~2mであることから、岸向きの風の弱い、波の低い日に打ち上げられたことが分かる。発泡ポリスチレンの破片が風で容易に移送されることはWeb-カメラで確認されて報告されているが^[16]、乾燥あるいは脱塩乾燥すると微風でも飛散する。他方で、図3Bは高波時の漂着で、微細破片は少なく、中型の発泡ポリスチレン破片が選択的に漂着している。重要な事は、図2Aでも2Bでも、発泡ポリスチレン以外のごみは極端に少ない。この事実は、発泡ポリスチレン破片と他のごみが海上で自然分離され、さらに発泡ポリスチレン破片の大小も、自然に分離されることが分かる。したがって、発泡ポリスチレンの量を測っても、それは排出を反映しない。

図3Cは波の達しない海浜最上部の吹き溜まりで、通常ビーズ法発泡ポリスチレン破片が大量に堆積し、少数のカップ麺や納豆、食品トレイなどの発泡ポリスチレンペーパーや、重量が5g前後のプラスチック製の空の袋や容器類、非発泡トレイなどが少数含まれている。図3Dは強風後の遊歩道に風移送された漂着由来ごみで、重量5g前後の黒い苗木ポットや10g程度までの四角の豆腐容器、小型の空袋などが見える。砂浜上にもこれらのごみ種は残っていたが、遊歩道上のごみとは異なり、それらには砂水が入っていた。

遊歩道にペットボトルと発泡ポリスチレン破片は少ないが、ペットボトルの多くは草地をこえた遊歩道まで達せず、発泡ポリスチレン破片はさらに後背樹林帯まで飛散していた。図3Eは松の植林のため、広葉樹が伐採された直後の写真で、5m余りの高さの浜崖上の稜線を飛び越えた数百g程度までの中小型の発泡ポリスチレン破片が多く見られ、これらが飛散する過程で、空中での風選を受け、帯状に堆積していることが分かる。これらの写真から風移送を受けやすいごみ種の順序を定性的に知ることができる。これらのように、海浜外に用意に風移送されるごみ種は流出速度だけでなく、調査範囲の設定からも漂着数量を測ることは不可能である。

3.4 空のペットボトルの風移送

ペットボトルは世界中で広く使用され、アジアの海域でも深刻なごみ種である^[5]。前記のように

空ペットボトルは冬期の強風でも、あまり空中飛散しないが、砂浜上を転がることはしばしば目撃される。そこで、原形をとどめた500ml前後の容量の漂着由来ボトルを拾い集め、比重が0.06前後の標準的な空ボトルを、漂着後に凹凸のある砂浜面に止まると想定し、砂面を3cm程掘ってボトルを置き、同時に海水を約500ml入れた漂着ボトルを一組として置き、24時間の内に風で動いたか否かを調べた。すなわち、水入りボトルは風で動かず、空ボトルだけが移動した場合を風移送とみなし、水入りも空ボトルも動かなかった組数に対する割合を、24時間の最大風速に対してプロットし、図4で示す。

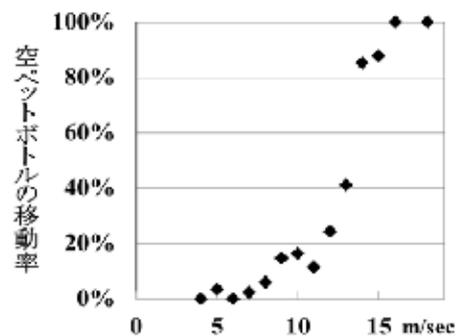


図4 設置後24時間における空ペットボトルの移動率と最大風速

水入りボトルが動かなかった全組数は2,371で、その内で最大風速が7m/sec以下の日の組数は727であった。最大風速が7m/sec以下の日の内の空ボトルだけが動いた組数は16であった。この移動率は非常に小さく、人や動物による移動も否定できないため、最大風速7m/sec以下では転がり移送は起こらないと判断した。最大風速が8~10m/secになると、風移送が明確に確認できるようになった。

図2や図3から、10g程度までのプラスチックの空の袋類やトレイ、苗木ポットなどの軽いごみは、空ペットボトルより風で動きやすいことが分かる。ところで最大風速が7m/secまでの日は週に複数回あり、最大風速10m/sec近くの日も月に複数回ある。したがって、ペットボトルの流出速度の測定は、他のごみ種の流出速度を推測するために重要である。

3.5 波の遡上と風による海浜ごみの移動

波の遡上位置が順次低下すると複数の漂着ごみ帯

が見られる場合がある^[17]。前記の水入りと空ペットボトルの調査はその漂着ごみ帯をモデルとした。ただし、実際にはさらに空ドリンク瓶とライター2個の計5個を1組とした調査である。ドリンク瓶とライターの1個は砂面上に置き、他のライターは少し埋めて上から砂をかけ、海水面と海浜面の交線から垂直方向に24mの地点から汀線に向かって1組ずつ、2mごと置き、24時間後の設置地点からの移動および飛砂によるライターの埋没と露出を変動と定義して調べた。有効な調査回数は88回で、変動した個数を設置数で除した値を変動率として、海水面と海浜面の交線からの距離でプロットして、図5で示した。

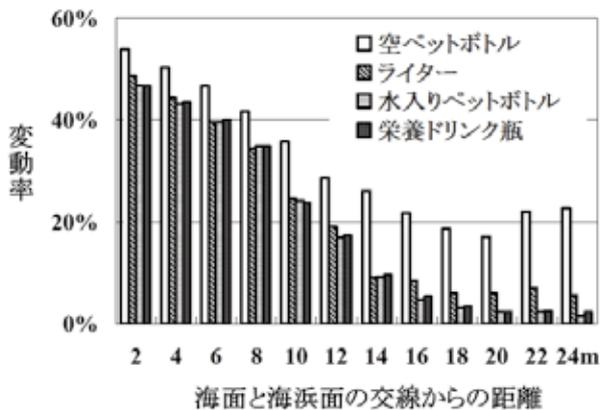


図5 設置後24時間における風と波の遡上による海浜ごみの変動

汀線から上方に向かうにつれて、すべてのごみ種の変動率が小さくなる。この主因は波の遡上で、砂浜の上部まで波が達する日は少ないからである。空ペットボトルの変動率が他のごみ種に比べて大きい原因は風移送による。下方では空ペットボトルと他のごみ種の変動率の相違が小さく、風移送より波の遡上による移送される日が多いことを示す。

水入りペットボトル、ドリンク瓶、ライターの3者の変動率はどの地点でもほぼ同じで、いずれのごみ種も調査期間中の最大風速18m/secまで、風移送を受けないことを示す。さらに波の遡上では、砂をかけて埋めたライターも他のごみ種と同時に動いている。すなわち、表出物も砂中の深さが浅い埋没物なら、いずれも同じように波の遡上で移送され、上記3種の高比重ごみ種に対しては、風に比べて波の遡上水の移送力が圧倒的に強いことを示す。遡上水の流速は通常、風に比べて遅い

が、比重は空気の約800倍で、風より大きな外力と、さらに海水の浮力によって抗力を弱めることで移送を容易していると考えられる。

ここでの調査では飛砂の影響を小さくするために、砂の平均粒子径の大きな0.3~0.6mmの鳥取空港西側の海岸を選んだが、それでも16m以上の地点でライターの変動率は水入りボトルやドリンク瓶より4%前後、すなわち88回の調査中で延べ3回ほど高い。その原因は背の低いライターが飛砂による埋没と露出の影響を受けているからである。この調査期間の最大風速は15m/secが6回、16m/secと18m/secが各1回で、ライターに影響をおよぼすこの海岸での飛砂の発生には15m/sec以上の風速が必要であることが分かる。

調査範囲の汀線方向の両側の各20mを含む計60mの範囲と上方の20mまで範囲内に、移動して残っていた個数を残留数として、10月31日より測定を始めた。その結果、空ペットボトル、ライター、水入りペットボトルと栄養ドリンク瓶の2者を合わせたそれぞれの積算変動数は300個、293個、251個で、積算残留数(残留率)は158個(53%)、202個(69%)、185個(74%)であった。空ペットボトルの設置数は後2群のごみ種の半数であるが、変動数は後2群よりむしろ多く、逆に残留数は少ない。ライター、水入りペットボトル、栄養ドリンク瓶の残留率はいずれも70%前後であるが、残りの約30%が調査範囲外に再漂着した可能性が否定できない。したがって24時間の波の遡上で沖合に流し出される確率は30%より低いことと言える。

調査期間中の最高の有義波高は4.54m、次いで3.77m、さらに3m以上の日が5回あった。これに対応して24mをこえて波が遡上した回数は2回、14mまで遡上した回数が8回あった。仮に、有義波高が3mで汀線から14mまで遡上したと仮定すると、砂浜の斜度が5度であるため、海水面から高度約1.2mまで遡上することになる。この1.2mの上昇は太平洋側の大潮での干潮と満潮の潮位差より、むしろ小さい。波の遡上と潮汐による海水面の上昇はいずれも海浜ごみの流出を促すが、両者の作用には大きな相違がある。波は岸向きの風で高まり、波が遡上する過程で海浜ごみを浜の上部に押し上げ、流れ下る過程で一部のごみを流し落とす。しかし、岸向きの風がごみの流下を押し留め、さらに遡上水は流れ下る過程で砂に浸み込み、水量の低下によって浮力と流し落とす力を弱める。それでも一部のごみは砕波帯に流れ落ちるが、再度岸向きの風と波で打ち上げられる。そのため、

24 時間での波の遡上で沖へ流出する確率は前記のように 30%より低い結果となる。他方で、潮汐変化の大きな海浜では、風が沖向きや無風に近くて波が低くても、潮汐で海面が上昇する。それによって海浜ごみは浮き上がる。しかし、上記のような風波による流出を止める作用がないため、引き潮になると大半のごみが沖に流出して行く。満潮は日に 2 回、大潮は月に 2 回あり、引き潮時のごみの流出を瀬戸内海では日常的に見ることができる。したがって、潮汐変化の大きい海岸ではすべてのごみ種の流出速度が速く、海浜ごみ量が少なくても漂着量が少ないとは言えない。

3.6 ライターの飛砂による埋没と露出

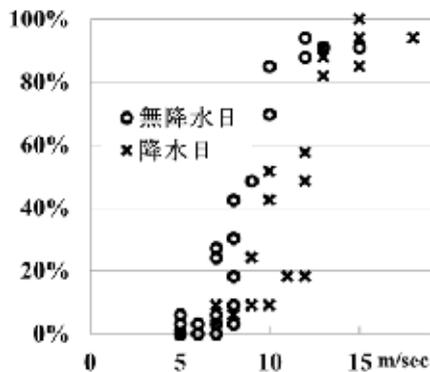


図 6 設置後の 24 時間における飛砂によるライターの変動率と最大風速

背の低いごみ種は飛砂による埋没と露出から、砂浜上への出現数を変化させる。その影響を鳥取空港北側の平均粒子径が 0.15mm~0.3mm の細かい砂浜で調査した。ライター 1 個は砂面上に置き、他の 1 個はライター上面を砂面と同じ高さに置いて、それに 0.5cm~1cm ほどの砂をかけて 1 組とした。24 時間後に砂面上に置いたライターの半分以上が埋没か、埋めたライターの半分以上が露出のいずれか、あるいは両方が起こった組を変化と定義し、波の遡上によって移送された組を除き、両者とも変化しなかった組数に対する変化した組数の割合を、無降雨日と降雨日に分け、最大風速に対してプロットした。図 6 から分かるように、この浜では最大風速 5m/sec 程度から飛砂が発生するが、ライターの埋没と露出に明らかな影響がみられるのは最大風速 7m/sec 程度からである。降雨日の飛砂は起こりにくい、最大風速 10m/sec 前後から降雨によらず飛砂の影響が明確となり、13m/sec 以上では激しくなった。しかしライター

自体はこの調査期間中の最大風速の 18m/sec でも風移送されなかった。

最大風速が 10m/sec 前後の日は月に数回あるため、飛砂はその度に発生し、背の低いごみは埋没と露出を繰り返していると推測される。多くの砂浜で、砂はレジンペレットやそれ以上の重量の板状ポリオレフィン破片より先に風移送される。実際に背の低いごみが埋没していることは良く知られているし^[4,17,18]、浅く砂中に埋没していたポリオレフィンのレジンペレットや破片が波の遡上水で浮き上がり、砂上に露出する現象は良く見られる。したがって、埋没と露出を繰り返すライターより背の低いごみ種の漂着量の測定は困難である。しかも浮遊性の破片類は主に民生由来のポリオレフィン製のごみから発生した古いごみで、漂着重量の多い漁業用品にはポリ塩化ビニルなどの比重が重い素材が多く用いられ、またロープは超極細の繊維状に劣化するため、いずれも海浜上で目視できない^[21]。製品ごみの流出を削減することは、ポリオレフィン破片を削減し、海域生物への脅威の削減することである。したがって、それらの漂着量や堆積量を測る意義は小さい。

3.7 漂着ライターの流出速度

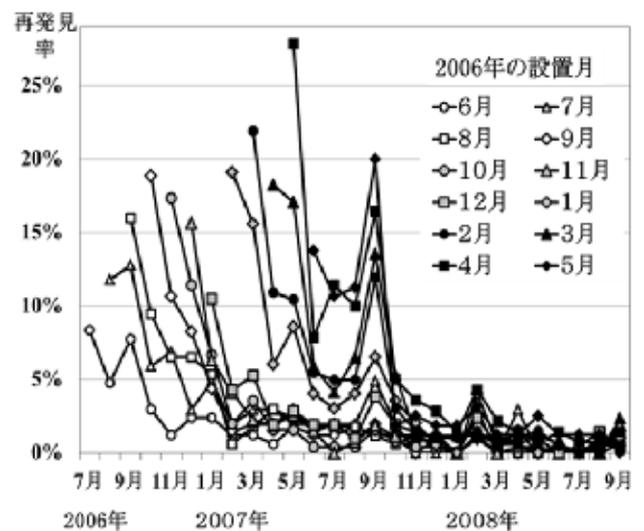


図 7 汀線 500m 区間の 8 海岸に漂着したライターの再発見率

漂着ライターの流出速度は、著者らが漂着量の月次調査を続けてきた 8 海岸の各 500m 区間の延べ 4 km の砂浜で測定した。調査海岸数が多い理由は異常漂着や河川の影響などを平均化するため^[6,19,20]、汀線距離 500m はその海岸一帯の漂着量を

推定するための最少の範囲で^[20]，また漂着ごみの汀線方向への移送による調査範囲からの逸脱の影響を小さくするためでもある．各海岸の各月に漂着したライターに，海岸名と漂着月を示す印を付け，人為的な乱れを避けるために，漂着していた地点で，砂面から 2 cm 程度埋めて設置した．その翌月に砂上に露出している印付ライターを調べ，それらを再度，砂面より 2 cm 程埋め込み，同時に新しく漂着したライターに海岸名と新しい月の記号を付けて埋め込んだ．このような印付けを連続して 12 ヶ月続け，印付けの終了後も月ごとの調査を続けた．

印付けしたライターの総数は 2249 個，各月の印付の数は 102 個から 269 個の範囲である．図 7 に各月の再発見数の割合を折れ線グラフで示した．設置後の期間が長くなると，発見率が低下するが，しかし調査月による変動が大きく，7 月と 8 月の発見率は低い，逆に 9 月は増加していた．すなわち，7 月と 8 月の少ない出現数は海への流出ではなく砂中埋没が原因で，9 月の発見率の増加は埋没ライターの露出が原因である．8 月から 10 月の変化は，A 海岸を除く 7 海岸で同じように起こっていたため，この変動は離れた海岸にも同時に影響を与える気象が原因と判断できる．そこで気象の影響を年平均化するために，設置後の経過月数で発見数を集計し，図 8 左で示した．1 ヶ月後の発見数は 374 個と著しく少ないが，2 ヶ月後は 224 個で，その後もゆっくりと減少していく．したがって，1 ヶ月後の著しく少ない発見率は砂中埋没が主因で，海への流出数は少ないことが分かる．

$$-dF/dt=kF \quad (2)$$

$$\ln F = -kt + \ln F_0 \quad (3)$$

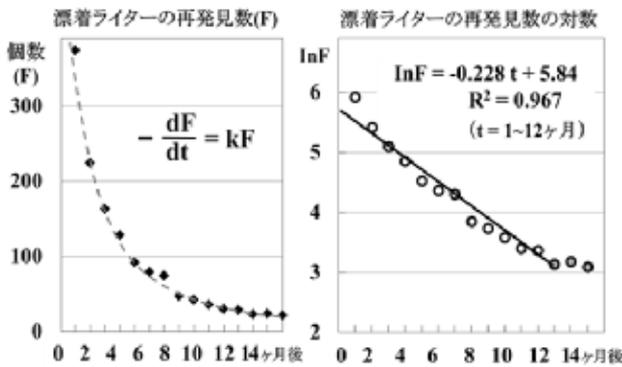


図 8 ライターの漂着後の月ごとの再発見数と海へ流出する速度定数 (k)

ライターが時間 (t) に 1 次で海へ流出して減少すると仮定すると，減少速度は式 2 で表せる．ここで F は発見数，k は流出する速度定数である．この式を積分すると式 3 となる．切片の F_0 は印付け総数に対する仮定の砂上の表出数である．発見数の対数を期間に対してプロットした結果が図 8 右で，設置後 12 ヶ月まではほぼ直線的に減少し， $\ln F = -0.228 t + 5.84$ で近似できる．すなわち，海に流出することで減少する速度定数は $-0.23M^{-1}$ で，年平均の半減期は $\ln 2/k$ より，約 3.0 ヶ月と計算できる．設置後 12 ヶ月以上の長期になると流出は減少する．

近似直線の決定係数は十分に高いが，1 ヶ月後の発見数の減少が近似直線に比べて大きく，逆に 12 ヶ月以降の減少が少ないように見える．この原因は前記のように，汀線に近い位置に漂着したライターの流出が速く，波の遡上頻度の低い砂浜上部からの流出が遅く，海浜上部でライターが残留数が増えたためと考えられる．図 8 右の切片の F_0 は 345 個で，年平均の砂中埋没率が 85% と計算できる．しかし，深く埋めると飛砂で露出する割合が減ると思われ，実際の漂着ライターの埋没率は 85% より低いと思われる．ただし前記のように波が遡上すると埋めたライターのすべてが移動するため，埋めたことによる流出速度への影響は小さいと考えている．この推測は後記するように，波の遡上だけによって流出する栄養ドリンク瓶の半減期がライターの値に近いことから支持される．

海浜ごみは汀線方向にも移送される．そのため 8 海岸の調査地の両側各 300m の範囲の調査を 2007 年 4 月に行った．3 月までに印を付けたライターの合計数は 1949 個で，東側の延べ 2.4 km での発見数は 14 個，西側の 2.4 km では 5 個であった．すなわち，調査地の両側 4.8 km で埋めずに放置していたライターの合計発見数が 19 個，他方で調査地の延べ 4 km 区間で 3 月にすべてを埋めて 4 月に表出していた数が 91 個である．この結果は，調査区間が 500m と長いと，調査区間外の両側への逸脱が少なく，それによる海への流出速度定数への影響が小さいことを示す．

調査地の A から H 海岸までの直線距離は約 100 km で，調査地の延べ汀線距離はその 4% にあたる．しかし，調査の終結までに，印付け海岸と異なる海岸の調査区間で見つけれられたライターの合計数はわずか 5 個であった．再漂着したライターの埋没率も 85% と仮定すると，推定の再漂着数は 33 個となる．一方，海への流出推定数は 2, 102 個で，それらが単純に 4% の汀線距離の異なる調査海岸

に再漂着したと仮定すると、再漂着数は84個と計算できる。すなわち、岸から海に出たライターの一部は調査地に隣接した海浜に流れ着くが、離れた調査地にはあまり漂着せず、外洋に流出して行く割合が高いと予想される。この推測は既報の地名情報のあるライターの調査や鳥取県内の3大川から流出したごみがそれぞれの河口近くの海岸に多く分布していることなどから支持される^[6,19]。

3.8 ペットボトルと栄養ドリンク瓶の年平均の流出速度

上記の8海岸の各500m区間に漂着した小型ペットボトルと栄養ドリンク瓶について、それらの漂着状態を変えずに印付けだけを行い、一定期間後の残留数を調査した。2006年からは3海岸、2012年からは4海岸で、年平均の流出速度を測るためにいずれも12ヶ月間の連続調査を行った。印付け総数はペットボトルで2,742個、栄養ドリンク瓶で1,243個である。放置日数が同じ場合は設置数と再発見数をそれぞれ合計し、[再発見個数]/[設置個数]の値の対数を放置日数に対してプロットし、前記と同様に時間に1次で流出すると仮定し、流出して減少する速度定数から消失半減期を求めた。

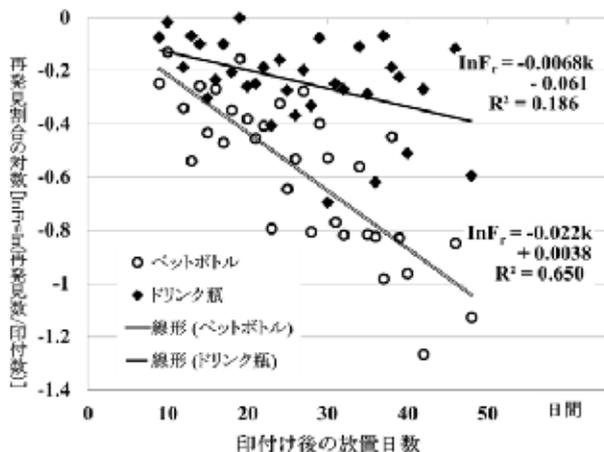


図9 漂着ペットボトルと栄養ドリンク瓶の流出の速度定数(k)

結果を図9に示す。決定係数は低いが、流出速度は明らかに栄養ドリンク瓶よりペットボトルで速い。近似式から求めた栄養ドリンク瓶とペットボトルの年平均の流出速度定数はそれぞれ $-0.0065D^{-1}$ と $-0.022D^{-1}$ である。切片の値の信頼性は低いが、これらはライターより背が高いため、

砂中埋没率はいずれも著しく低いことが明らかである。流出速度定数から計算できる年平均の半減期は栄養ドリンク瓶とペットボトルでそれぞれ約103日と32日である。空のペットボトルは風で容易に動くが、実際に漂着するペットボトルの半減期は約1ヶ月である。これは容器内への異物の残存や風移送を受けにくい潰れた形状のボトルが含まれること、さらに調査区間が広いために汀線方向の風移送を受けても、調査範囲からの逸脱が少なく、さらに他の漂着物や障害物によって止められることが原因と思われる。約1ヶ月の半減期とは、砂浜上の個数が1ヶ月間経過すると半数になることを示すが、実際の漂着は1ヵ月間を通して断続的に起こる。したがって1ヶ月ごとの定期調査からおおまかな漂着数の近似値を得ることができる。栄養ドリンク瓶の半減期は約3.4ヶ月で、ライターの半減期とほぼ同程度である。この結果は、風移送も飛砂の影響も受けにくい、波の遡上だけで動くような多くのごみ種の半減期が3ヵ月余りであることを示唆する。ただし長いロープのように一部が砂に埋もれているごみの半減期はこれらより長いことが分かっている^[16]。これらの結果から、波の遡上位置の変化に比べて潮汐変化の小さな日本海側では、漂着ペットボトルより風移送を受けにくく、飛砂による埋没や露出の影響を受けにくいごみ種の漂着数は1ヶ月ごとの繰り返し調査で測ることができると判断できる。

4. 結論

越境浮遊ごみによる海域汚染は自国の海浜の清掃だけでは解決できない。何よりも各国からのごみの流出を止めることが重要で、そのためには各国から流れ着くごみ種とその量を、信頼される科学的な調査法で測定し、各国に適した実効性の高い流出防止策の実施を促すことが必要である。それを目的とする調査では、すべてのごみを調べる必要はなく、代表的なごみ種の調査だけで十分である。すなわち、ガラスやプラスチックの調味料容器、洗剤や豆腐容器はいずれも家庭の屋内から排出されるため、そこからの代表的なごみ種に対して有効な排出抑制策は、屋内からのほぼすべてのごみ種の流出を抑制できるからである^[9]。さらに排出由来国を示す文字や記号の少ないごみ種^[9]を調べる必要もない。

漂着量が多くても、海浜から速く流出するごみの堆積量は少ない。このため、風移送されやすい軽量の低比重ごみの漂着量や、すべてのごみの流

出速度が速い潮汐変化の大きな海浜での漂着量の測定は困難である。波の遡上に比べて潮汐による海面変動が小さな日本海側では、漂着ペットボトルの半減期より長いごみ種は1ヶ月間隔の繰り返し調査によって漂着数を測ることができる。これらには屋内民生用の洗剤容器や農業用の農薬瓶、漁業用のフロートなど大半の分野からのごみ種の測定が可能である。ただし飛砂による古い堆積ごみの露出や新しい漂着ごみの埋没には注意が必要である^[17,18]。

漂着量は必要に応じて重量で比較すべきで、それを想定し著者らは平均重量を推定しやすいごみ種の分類を行っている。例えばペットボトルは容積を基準に大小の2種に分け^[5]、フロートや漁業用品ごみは複数種に分けて個数調査を行い^[7,21]、それらの平均重量から漂着重量を比較している。迅速に行うことができる個数調査により広い範囲の調査が可能となり、その結果として個々のごみの重量を海浜で測るより正確な測定値が得られる。世界の海域の浮遊ごみの削減には、各国が協動的に有効な排出削減策を実施することが必要である。ただし、潮汐変化の大きな海に面した国では、自国から排出しているごみ種と量を、自国の海岸で測定できないことも想定できる。他国での調査が信頼されるためには、十分に信頼できる科学的な調査法の開発が不可欠である。この目的から著者らは科学的な定量的調査法について検討してきたが、信頼性をさらに高める検討が国内外の研究者によって行われることを期待している。

参考文献

- [1] UNEP: Regional Seas Programme, Marine litter, http://www.unep.org/regionalseas/marine_litter/ (accessed 2014-October-31).
- [2] National Marine Debris Monitoring Program/Lessons Learned, http://water.epa.gov/type/oceb/marinedebris/upload/lessons_learned.pdf (accessed 2014-October-31).
- [3] Kako, S., Isobe, A., Kataoka, T., and Hinata, H.: A Decadal Prediction of the Quantity of Plastic Marine debris Littered on Beaches of the East Asian Marginal Seas, *Marine Pollution Bulletin*, 81, pp.174-184, 2014.
- [4] 環日本海環境協力センター：報告書, http://www.npec.or.jp/3_report/hk-tp.html (accessed 2014-October-31).
- [5] 岡野多門, 安東重樹, 池田圭吾: 日本海に流入する海外からの飲料用ペットボトルの漂流経路, *棄物資源循環学会論文誌*, 22, pp.285 - 292, 2011.
- [6] 岡野多門, 安東重樹, 安本 幹: 漂着ライターの地名情報からみた民生分野からの海域ごみの排出地, *環境科学会誌*, 24, pp.521-530, 2011.
- [7] 岡野多門, 加藤 郁美: 東アジアからの漁業用フロートの漂着実態, *棄物資源循環学会論文誌*, 24, pp.88 - 96, 2013.
- [8] 岡野多門, 安本 幹: 医療・衛生用品廃棄物の漂着実態とそれらの日本での投棄率, *棄物資源循環学会論文誌*, 24, pp.97-104, 2013].
- [9] 岡野多門, 安本 幹, 安藤重樹: 難分解性海浜堆積漂着ごみの性質と分類, *廃棄物資源循環学会*, 21, pp.94-105, 2010.
- [10] National Marine Debris Monitoring Program Report - UNEP: http://www.unep.org/regionalseas/marine_litter/publications/docs/NMDMP_REPORT_0cean_Conservancy__2_.pdf (accessed 2014-October-31).
- [11] Storrer, K. L., McGlashan, D. J., Bonellie, S., and Velander, K.: Beach Litter Deposition at a Selection of Beaches in the Firth of Forth, Scotland, *Journal of Coastal Research*, 23, pp.813-822, 2007.
- [12] Hong, S., Lee, J., Kang, D., Choi, H., and Ko, S.: Quantities, Composition, and Sources of Beach Debris in Korea from the Results of Nationwide Monitoring, *Marine Pollution Bulletin*, 84, pp.27-34, 2014.
- [13] 公益財団法人 海と渚環境美化・油濁対策機構: 発行物, <http://www.umitonagisa.or.jp/html/syuppan.html> (accessed 2014-October-31).
- [14] A.T.Williams, D.T. Tudor: Litter Burial and Exhumation: Spatial and Temporal Distribution on a Cobble Pocket Beach. *Marine Pollution Bulletin*, Vol.42, No.11, pp.1031-1039 (2001)
- [15] 岡野多門, 森田 晃: 広域海岸の漂着ごみ量と堆積ごみ量の指標となるような測定値を得るための適切な調査範囲, 第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集,

- pp.21-22, 2013.
- [16]Kako, S., Isobe, A., and Magome, S. : Sequential Monitoring of Beach Litter Using Webcams, Marine Pollution Bulletin, 60, pp.775-779, 2010.
- [17]岡野多門, 安東重樹, 築田哲也, 安本 幹, 宮崎義大: 漂着堆積人工素材ごみの砂浜上の分布とその調査法, 環境科学会誌, 25, pp.432-441, 2012.
- [18]岡野多門, 安東重樹, 安本 幹: 人工素材海浜ごみに対する台風の影響, 廃棄物資源循環学会論文誌, 21, pp.226-235, 2010.
- [19]岡野多門, 安東重樹: 海岸漂着ごみに与える地元投棄ごみと河川の影響, 廃棄物資源循環学会論文誌, 23, pp.232-239, 2012.
- [20]岡野多門, 森田 晃: 広域海岸の漂着ごみ量と堆積ごみ量の指標となるような測定値を得るための適切な調査範囲, 第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp.21-22, 2013.
- [21]岡野多門, 森田 晃: 漁業や海運用のロープによる海浜の漂着ごみ汚染, 環境科学会誌, 26, pp.150-157, 2013.

(受理 平成26年11月25日)

