

Research Reports of Tokyo National College of Technology

東京工業高等専門学校

研 究 報 告 書



第 35(1) 号

2003.9

東京工業高等専門学校研究報告書 第35(1)号 目次

『偉大なるギャツビー』に於ける構造上の疑問（其の2）……………	岩 崎 健…………	1
コンピュータウィルス・誤操作からファイルを保存するデータ保護システム……………	青 野 正 宏………… 小 尾 高 史………… 山 口 雅 浩………… 大 山 永 昭………… 谷内田 益 義………… 細 田 泰 弘………… 佐 藤 能 行………… 菅 生 清………… 藤 岡 伸 男…………	11
ペン字・書道における標準お手本の自動生成法……………	鈴 木 雅 人………… 本 山 さちこ………… 永 瀬 圭 良………… 小 林 直 彦………… 市 村 洋………… 山 下 静 雨…………	17
「伝書鳩」と「戦略ドッチボール」—第13回プロコンで開発したソフトについて—……………	小 嶋 徹 也………… 鈴 木 雅 人………… 荒 川 淳 平………… 蛭 田 雄 一…………	21
音源追尾型4輪移動ペットロボットの開発……………	小 坂 敏 文………… 水 越 昭 洋………… 吉 野 かの子………… 吉 本 定 伸………… 西 村 亮………… 松 林 勝 志…………	29
家庭用電子レンジを用いた酸化物高温超伝導体の作製……………	土 屋 賢 一………… 森久保 昌 洋………… 立 松 賢 治…………	33
合成樹脂コーティングによる配管内面の粗度の改善……………	石 井 宏 幸………… 高 見 太 郎…………	39

吸着性と毒性の相違に基づく毒性原因物質推定	庄 司 良	43
	飛 永 朋 亮	
	須 藤 義 孝	
	鈴 木 基 之	
三宅島火山灰のアルカリ水熱法によるゼオライト化	平 田 房 雄	51
	庄 司 良	
	廣 瀬 聡一郎	
	須 藤 義 孝	

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 35(1)

CONTENTS

Tatsuru IWASAKI	Some Questions about the Structure of <i>The Great Gatsby</i> (Part Two)	1
Masahiro AONO	File Protection System against computer virus	11
Takashi OBI	and/or operation-mistake	
Masahiro YAMAGUCHI		
Nagaaki OYAMA		
Masuyoshi YACHIDA		
Yasuhiro HOSODA		
Yoshiyuki SATO		
Kiyoshi SUGO		
Nobuo FUJIOKA		
Masato SUZUKI	An Automated Generation Method of Standard	17
Sachiko MOTOYAMA	Copybook for Penmanship and Calligraphy	
Keisuke NAGASE		
Naohiko KOBAYASHI		
Hiroshi ICHIMURA		
Seiu YAMASHITA		
Tetsuya KOJIMA	“E-Pigeon” and “Strategic Dodge Ball”	21
Masato SUZUKI		
Junpei ARAKAWA		
Yuichi HIRUTA		
Toshifumi KOSAKA	Development of a Four-Wheel Pet Robot Pursuing Sound Source	29
Akihiro MIZUKOSHI		
Kanoko YOSHINO		
Sadanobu YOSHIMOTO		
Makoto NISHIMURA		
Katsushi MATSUBAYASHI		
Ken-ichi TSUCHIYA	Preparation of High-T _c superconducting oxide	33
Masahiro MORIKUBO	by domestic microwave oven	
Kenji TATEMATSU		
Hiroyuki ISHII	Roughness Improvement of the Pipe Inside Surface Covered	39
Taro TAKAMI	with the Synthetic Resin	

Ryo SHOJI	Toxicity identification method using characteristics	43
Tomoaki TOBINAGA	of toxicity and adsorbability	
Yoshitaka SUDO		
Motoyuki SUZUKI		
Fusao HIRATA	Conversion of volcanic ashes in Miyate Island	51
Ryo SHOJI	by alkaline hydrothermal reaction into zeolites	
Soichiro HIROSE		
Yoshitaka SUDO		

『偉大なるギャツビー』に於ける構造上の疑問（其の2）¹⁾

岩 崎 健*

Some Questions about the Structure of *The Great Gatsby* (Part Two)

Tatsuru IWASAKI

We are apt to depend on people's reputation. For example, when many literary critics say that Fitzgerald's *The Great Gatsby* is one of the masterpieces of the 20th American literature, we are liable to receive the reputation without any questions.

Until I read the novel last summer for the first time in a long time, I had believed the reputation that *The Great Gatsby* was excellent in not only the content, but also in the structure.

But I happened to have a question about the work's structure. After that, I began to notice many questions about the novel one after another.

(Keyword: structure)

スコット・フィッツジェラルド (F. Scott Fitzgerald) の名作『偉大なるギャツビー』(*The Great Gatsby*, 1925) は、ニック (Nick) という 30 歳になる青年の目を通して主人公ギャツビー (Gatsby) が語られるという、第一人称話法の作品である。したがって、この作品の主題とでも言うべきものはギャツビーでもニックでもなく、ギャツビーとニックの関係であると言っても過言ではないだろう。この語り手と主人公との関係については、語り手ニックが主人公ギャツビーに関して以下のように語って作品を始めているが、これを読んでみても、この作品に於ては、ギャツビーとニックの関係こそが非常に重要なものであるらしいことが十分に読み取れる。

Gatsby, who represented everything for which I have an unaffected scorn. If personality is an unbroken series of successful gestures, then there was something gorgeous about him, some heightened sensitivity to the promises of life, as if he were related to one of those intricate machines that register earthquakes ten thousand miles away. ... No — Gatsby turned out all right at the end ;

it is what preyed on Gatsby, what foul dust floated in the wake of his dreams that temporarily closed out my interest in the abortive sorrows and short-winded elations of men. (8)²⁾

ギャツビー、彼は私が心から軽蔑していた全てのものを現わしていた。もし個性というものが途切れることのない、一連のうまく演じた身のこなしであるとするなら、ギャツビーには何かみごとなものがあつた。つまり、人生の約束に対する何か高度な感受性といったものが。その様はあたかも一万マイルも離れた地震を記録するあの複雑な機械と関連しているかようだった。……いや、ギャツビーは最終的には問題なかったのである。ギャツビーを食い物にしていたもの、彼の夢の後にくっついていたものこそが、人間の結実しなかった悲しみや、息切れしてしまった心の高揚に対する私の関心を、時折追い払ってしまっていたのです。

ニックがギャツビーのことをここまで語るためには、二人の間にかかなり深い関わりがなくてはな

らないだろう。そこで、その関り合いがどのように進んだのか見てみようと思う。ところがこの作品は、過去の出来事を振り返りながらニックがまとめた回想記という形を取っているので、事件の記述が必ずしも時間の流れ通りにはなっていない。事件の時期が前後したりして、二人の関り合いの進展度が必ずしも明確ではない。そこで、この回想記を、時間の流れ通りに整理してみようと思う。整理するにあたっては、事件の月日まで明確にし、いついつにこのような事件があったからこそ二人の関り合いがここまで進展した、というようなことが分かるようにしたいと思う。

ところで、本題に入る前にまず取り上げておかなければならないことがある。それは、この回想記が事件後どのくらいたってから書かれたものか、ということである。このような回想記に於ては、人間の記憶力が必ずしも万全でない以上、かなり重要な要素になるであろう。つまり、事件後の時間が長くなればなるほど、事件の核心だけが鮮明になり、誇張されてしまう傾向だってあるわけだから。そしてまた、月日とか時間などというものが不明瞭になってしまう恐れだってあるわけだから。

冒頭の第1章でニックは語る。「昨年秋、東部から戻って来た時」("When I came back from the East last autumn")(8)。この回想記では、ニックは西部の田舎から東部の都会に出て来、そこでギャツビーに出会い、半年もしないうちに西部に戻ってしまう、ということになっている。つまり、翌年書かれた回想記ということになっている。ところが最終章の第9章には次のような描写がある。「2年後になって、あれから後のあの日のこと、あの晩のこと、そして次の日のことを思い出してみると」("After two years I remember the rest of that day, and that night and the next day")(153)。つまり、「ある日の事件」というのがあって、その事件についての記述は2年後であるという。いったいこれはどういうことなのだろうか。この回想記は一気に書かれたものではなく、1年以上に亘って書かれたものなのだろうか。その辺の疑問をも考える意味でも、この回想記を時間の流れ通りに整理してみようと思う。

事件の動きという点から見ると、この回想記は、ニックが西部の田舎を飛び出し、東部の都会に

やって来たときをもって始まる。「22年の春、永住するつもりで私は東部にやって来た」("I came East, permanently, I thought, in the spring of twenty-two")(9)。春は自然界の全てのものが門出をする時期。植物は芽を吹き、動物も冬眠状態から目覚め、活発に活動を開始する。人間も同じである。というわけで、どうやらニックも春と共に新たな人生の門出をしたのであろう。しかし春といっても初夏に近かったようである。というのは、ウエスト・エッグに住みつき、部屋探しなどをし、会社に落ち着くか落ち着かないかのうちの描写に次のようなものがあるから。

And so with the sunshine and the great bursts of leaves growing on the trees, just as things grow in fast movies, I had that familiar conviction that life was beginning over again with the summer. (9—10)

日の光に関してもそう（隣人としての心安さを与えていたこと）だった。木々で伸びる葉も勢いよく成長し、その様はいろんなものが高速映画の中で成長しているかのようである。私は生命が再び夏と共に始まった、というあのおなじみの確信を持った。

住む所も決まり、会社にも慣れてくると、やがてニックはイースト・エッグに学友のトム（Tom）夫妻を訪ねて行くのだが、これはいつのことなのだろうか。どうやらその日は6月8日頃だったらしい。というのは、トムの家での会話中に、トムの妻のデイジー（Daisy）が、「2週間たったら1年中で一番日が高い日になるから」

("In two weeks it'll be the longest day in the year")(17) と言っている。1年中で一番日が高い日、というのは夏至のことであり、夏至というのはだいたい6月22日頃なので、これから逆算すると、ニックがトム夫妻を訪ねたのは6月8日頃ということになる。

冒頭にも述べたように、私がこのような小論を書こうと思うきっかけになったのは、ニックとギャツビーの関係がいつ頃から始まり、それがどのような密度で進展していったか、などということを知りたかったからである。となると、トム夫

妻を訪ねた日の晩に、ニックは初めてギャツビーらしき人影を目撃しているので、たとえ一方的なものであるとは言え、ニックとギャツビーとの関係は6月8日頃に始まっていると考えてもいいだろう。というのは、ニックはこの時ギャツビーらしき人影から強烈な印象を受けているので。

— he stretched out his arms toward the dark water in a curious way, and, far as I was from him, I could have sworn he was trembling. Involuntarily I glanced seaward — and distinguished nothing except a single green light, minute and far away, that might have been the end of a dock. (25)

— 彼は暗い海の方に向かって奇妙な具合に腕を伸ばした。彼から遠く離れてはいたが、彼が震えていると断言できた。我知らず、私は海の方にチラッと目をやった。ちっぽけな、遠く離れた1点の緑の光以外何もなかった。多分あのあたりは波止場の先端だったのだろう。

では、ニックとギャツビーが面と向かって直接言葉を交わすのはいつ頃のことなのだろうか。この日を特定するのは非常に難しい。出会いのきっかけはギャツビーの方から与えることになる。ある土曜日の朝早く、ギャツビーのお抱え運転手がギャツビーからの仰々しいパーティーの招待状を持ってニックを訪ねて来る。それでニックはそのパーティーに出かけて行き、ギャツビーと初めて言葉を交わすのだが、それはいったいいつのことだったのか、ということになる。最も有力なヒントは次の描写にある。

At nine o'clock, one morning late in July, Gatsby's gorgeous car lurched up the rocky drive to my door and gave out a burst of melody from its three-noted horn. It was the first time he had called on me, though I had gone to two of his parties, … (62)

7月末のある朝9時頃のこと、ギャツビーの華麗な車が、私の玄関に通ずる岩だらけの道

をよろめきながらやって来、3色の音色のクラクションから快い調べを吹き鳴らした。それが、彼が私を訪ねて来た最初の時だった。もっとも私はそれまでに彼のパーティーに2度行ったことがあったが、……

つまり、7月末のある朝、ギャツビー自らがニックを訪ねて来るのだが、ギャツビーがニックを訪ねて来たのは、その日の午後ニックがジョーダン（Jordan、—ギャツビー、トム夫妻、ニックの共通の友人—）とお茶を飲むことになっているのを、ギャツビーが偶然知ったからである。ギャツビーはジョーダンにある依頼をしていた。その依頼をニックが快く引き受けてくれることをお願いするために、ギャツビーはやって来たのである。何もそんなまどろっこしいことなどせずに、ギャツビーが直接ニックに話せばよいものを、と思うのだが、ギャツビーはジョーダンが話した方が効果的だと考えていたらしい。

その日の午後、ジョーダンと会ったニックは彼女から、ギャツビーとデージー（現在はトムの妻となっているが、ギャツビーの昔の恋人）との出会いや別れのいきさつなどについて聞く。（というのは、ジョーダンはデージーの娘時代の友人であり、デージーがトムと結婚した時には花嫁の付添い役さえ務めたので）。更にジョーダンは、ニックがギャツビーとデージーをニックの家に招いて二人に再会の場を与えてくれるように、というギャツビーの意向を伝える。ジョーダンを經由してのこのギャツビーの依頼をニックは引き受けることになるのだが、このジョーダンのギャツビーとデージーを巡る話の中に、「およそ6週間前に彼女（デージー）はこの数年間で初めてギャツビーの名を耳にしたのです」（"about six weeks ago, she heard the name Gatsby for the first time in years"）(75) という言葉がある。ジョーダンの言うこの6週間前というのはニックがトム夫妻を訪ねて行った日のことで、たまたまトム夫妻の家に滞在していたジョーダンが、ニックがウエスト・エッグに住んでいることを知ると、「あなたウエスト・エッグに住んでいるの。……あそこには私の知り合いがいるわ」（"You live in West Egg … I know somebody there"）(16) と言って「ギャツビーさんをご存じでしょう」（"You must know

Gatsby")と尋ねる。すると2人のこのやりとりを聞いていたデイジーが、「ギャツビーさんですって……。何ギャツビーって言うの?」

("Gatsby?…What Gatsby?")と尋ねるのだが「6週間前」とはこの日のことを指している。

ニックがトム夫妻を訪ねて行った日が夏至の2週間前の6月8日頃であることは先程述べたが、それから6週間後というとは7月20日前後になる。しかし7月20日前後だと、ニックがジョーダンと会った7月末("late in July")とは多少の食い違いがある。しかしデイジーの言う「2週間」とか、ジョーダンの言う「6週間」というのが「およそ」であると考え、1週間くらいの食い違いがあったとしても何の不思議もない。したがってギャツビーがニックを訪ねて来た日を仮に7月27、8日頃としてみる。ところでこの時までにはニックはギャツビーと「この1か月間に6回くらい言葉を交わしている」("I had talked with him perhaps half a dozen times in the past month…") (63) という。「この1か月間」("in the past month")というのは、ニックがギャツビーに初めて会って以来ということだろうから、7月27、8日より1か月前ということになると、どうやらニックがギャツビーと初めて言葉を交わすのは6月の末ということになりそうである。しかし、果たしてそうなのであろうか。

ところで、ニックがトムとトムの情婦マートル(Myrtle)等と連れ立ってニューヨークに出かけて行ったのは、「7月4日の2、3日前」("It was a few days before the fourth of July") (29) だったという。ニックがこの日までにギャツビーのパーティーに行っていないことは、マートルの妹キャサリン(Catherine)との会話の中に読み取れる。キャサリンがニックに尋ねる。

"Do you live down on Long Island, too?" she inquired. "I live at West Egg." "Really? I was down there at a party about a month ago. At a man named Gatsby's. Do you know him?" "I live next door to him." "Well, they say he's a nephew or a cousin of Kaiser Wilhelm's. That's where all his money comes from." "Really?" she nodded. (34—35)

「あなたもロングアイランドにお住まいですか」彼女が尋ねた。「ウエスト・エッグです」「本当ですか。1か月ほど前にあそこでのパーティーへ行きましたわ。ギャツビーさんという名の人の所でしたよ。彼のこと、ご存じ」「彼の隣に住んでいます」「彼はウィルヘルム皇帝の甥だか従兄弟だかだそうですよ。彼のお金はそこから来ているんですって」「本当ですか」、彼女はうなずいた。

もしニックがギャツビーのパーティーに行ったことがあったら、このような調子の会話にはなっていないだろう。つまり、キャサリンの「1か月ほど前にあそこでのパーティーへ行きましたわ。ギャツビーさんという名の人の所でしたよ。彼のこと、ご存じ」に、「彼の隣に住んでいます」というふうにはならないはずである。そしてまた、作者はキャサリンに「彼はウィルヘルム皇帝の甥だか従兄弟だかだそうですよ」などという言葉を書かせたりはしなかったはずである。作者がキャサリンにこのような言葉を言わせているのは、ギャツビーがいかに謎めいた人間であるかをニックに知らせることにより、これから起こるであろうニックとギャツビーとの初対面の効果を盛り上げるためであろう。このことからしても、「7月4日の2、3日前」までにニックがギャツビーに会っていないことは確かである。

しかしこの「7月4日の2、3日前」の日は日曜日だったという。「私たちは5番街まで車を走らせた。夏の日曜日の午後のことでやや暑く、穏やかでほとんど牧歌的な日だった」("We drove over to Fifth Avenue, warm and soft, almost pastoral, on the summer Sunday afternoon") (30)。

「7月4日の2、3日前」の日を仮に7月1日としてみる。ギャツビーがパーティーを開くのは週末である。となると、この7月1日にニックがギャツビーのパーティーに行っていないことは確かなので、(というのはニックは翌朝ペンシルヴァニア駅で半分眠りながら寝転んでいた)ので。それ故に、ニックがギャツビーのパーティーに出かけて行くのはどんなに早くても7月1日以降の最初の週末ということになる。現にギャツビーのお抱え運転手がパーティーへの仰々しい招待状を持って来たのは「土曜日の朝早く」("early that

Saturday morning")(43) のことで、その晩のパーティーへの招待であった。

かくてニックがギャツビーに初めて出会い、言葉を交わしたのは7月7日頃ということになりそうである。しかしこのようにニックとギャツビーの本当の交際が始まったのが7月7日頃とすると、7月27、8日頃の時点でニックがギャツビーと「この1か月間に6回くらい言葉を交わしている」という言葉とずれが出てきてしまっていることに気づく。7月7日頃が初対面だとすると、7月27、8日頃ではまだ20日しかたっていないので、それなのに「この1か月間……」とはどういうことなのだろうか。この辺のずれをどのように考えた方がいいのか。これがこの作品における構造上の疑問の細かなもののうちの1つ目のものである。

いや、実はこのように事件の記述を時間の流れ通りに整理してみようとする、このほかにも同じようなずれがあることに気づく。

パーティーでの初対面以来、7月の27、8日頃までに、初対面でのものをも含めて、6回ほど話をし、（この中には2回目のパーティーへの出席も加えられているのであろう）、先程述べたように、遂にギャツビー自身がニックの家にやって来て、昼食に誘い、ジョーダンを通して彼とデイジーをニックの家へ招き、再会の場を与えてくれるようにと依頼する。このことがギャツビーにとっていかに大切な依頼であったかは、ニックがジョーダンと会って帰って来ると、既に夜中の2時だったにもかかわらず、ギャツビーがやって来たことから分かる。

ニックは、ギャツビーの依頼を承諾した旨を伝える意味で、「明日デイジーに電話をして、彼女をここへお茶に招くつもりです」("I'm going to call up Daisy tomorrow and invite her over here to tea")(79) と言う。ギャツビーはデイジーと再会するにあたっては非常に神経質になっているらしい。ニックの家の芝生が伸び放題になっているのが気にかかってしょうがないらしく、それを刈らせてほしいと申し出る。そのために、ニックがデイジーをお茶に招くのはその日から2日後ということになる。

ニックの計らいで、遂にギャツビーとデイジーの昔の恋人同士の再会が実現する。5年ぶりのこの再会がいかにドラマチックでロマンチックなも

のであったかは、そして特にギャツビーにとってそうであったかは、次の描写に明らかである。

Daisy's face was smeared with tears, and when I came in she jumped up and began wiping at it with her handkerchief before a mirror. But there was a change in Gatsby that was simply confounding. He literally glowed; without a word or a gesture of exultation a new well-being radiated from him and filled the little room. (86)

デイジーの顔は涙で汚れていた。私が入って行くと、彼女は立ち上がって鏡の前でハンカチでそれを拭き始めた。ギャツビーには困惑しているような変化だけが現われていた。彼は文字通り輝いていた。歓喜を表わす言葉一つ、仕草一つなかったが、彼からは新たな幸福感が放射され、その小さな部屋を満たしていた。

このドラマチックでロマンチックな事件があったから数週間、ニックはギャツビーに会っていない。

It was a halt, too, in my association with his affairs. For several weeks I didn't see him or hear his voice on the phone——mostly I was in New York, trotting around with Jordan and trying to ingratiate myself with her senile aunt——but finally I went over to his house one Sunday afternoon. (98)

それはまた彼の出来事に対して、私の関りが止まった時でもあった。数週間私は彼に出会わなかったし、電話で彼の声を聞くこともなかった。私はほとんどニューヨークにいた。ジョーダンと歩き回ったり、彼女のか弱い叔母さんに何とか取り入ったりしようとしながら。でも遂に私はある日曜日の午後、彼の家に出かけて行った。

ニックがギャツビーとデイジーの再会に役買ったのが、ギャツビーがニックを訪ねて来た7

月27、8日の2日後の7月30日前後のことだったとする。そして、その時から数週間 ("several weeks") ニックはギャツビーに会ってもいないし、電話で声も聞いていないと言う。several というのは「2から5、6。時には10くらいまで指すが、文脈によってはそれ以上の数を指すこともある」³⁾というが、この場合は状況からして「3」くらいが適当と思われる。つまり、ニックはギャツビーに3週間くらい会いもしなかったし、電話でその声を聞くこともなかった、というわけである。そして遂にある日曜日の午後、彼に会いに行った、というのである。そうすると、この日曜日というのはだいたい8月20日頃ということになる。

ニックがギャツビーの屋敷に着いて2分とたたないうちに、スローン (Sloane) という名のギャツビーのパーティーの常連客が、一人のかわいい女とトムを連れて、飲物がほしいと言って馬に乗ってやって来る。かわいい女はハイボールを2杯ほど飲み干すと急に打ち解けた態度になり、「私たちみんなで今度のパーティーに出かけてきますわ」 ("We'll all come over to your next party, Mr. Gatsby") (99) と言う。

次の土曜日、つまり8月26日頃。トムとデイジーが初めてギャツビーのパーティーにやって来る。ニックも出席する。ニックにとってこれは3回目のパーティーへの出席のはずである。1回目が7月7日頃。そしてギャツビーがニックを訪ねて来た7月27、8日頃までに2回目の出席。そして3回目が8月26日頃のはずである。ところでこの3回目のパーティーについて興味深い記述がある。

We were at a particularly tipsy table. That was my fault—Gatsby had been called to the phone, and I'd enjoyed these same people only two weeks before. But what had amused me then turned septic on the air now. (102)

私たちのテーブルは特に酔っ払いが多かった。と言っても、これは自分のせいである。ギャツビーが電話に呼び出されていたので、ほんの2週間前に楽しく過ごした同じ人たち

の所へ行った。でもあの時は楽しかったのに、今回は全然面白くなかった。

「ほんの2週間前」 ("only two weeks before") だって！ これはどういうことなんだろうか。変である。なぜならニックはこの3週間 ("several weeks") はギャツビーに会ってもいないし、電話でその声を聞いてもいないはずであるから。ではこの "several" というのは「2」を表わすのだろうか。しかし同じ2週間を表わすのに "two weeks" と言ったり、"several weeks" と言ったりするだろうか。ちょっと不自然な感じがする。では、ニックはパーティーにやって来たが、ギャツビーには全く会わなかったというのだろうか。これも不自然である。ギャツビーは個人的な秘密を平然と打ち明けるほどニックを信頼しているのではないか。とすると、「ほんの2週間前」のパーティーにニックは来ていない。つまり8月26日頃がニックにとってギャツビーのパーティーへの3回目の出席のはずである。したがってこの「ほんの2週間前」というのは何かの間違いではないのだろうか。これが2つ目の疑問である。

この3回目のパーティーはニックにとっても非常に忘れ難いものになったことは間違いない。パーティーが終ってトムとデイジーが去って行く。するとギャツビーがニックに向かって言う。

"She didn't like it" he said immediately. "Of course she did" "She didn't like it," he insisted. "She didn't have a good time." He was silent, and I guessed at his unutterable depression. "I feel far away her," he said. "It's hard to make her understand." (105)

「あの人に気に入ってもらえなかった」彼はただちに言った。「勿論、気に入ってもらえたとも」「あの人に気に入ってもらえなかった」彼は言い張った。「彼女は楽しんでいなかった」彼は沈黙してしまった。彼は言い難いほど失望しているのではないかと思った。

「私はあの人の気持ちとはずっとかけ離れた所にいる」彼は言った。「あの人に理解してもらうことは難しいことなのだ」

ギャツビーはデイジーにいったい何を期待していたのだろうか。ギャツビーはどうやらデイジーが夫のトムに向かって「私は決してあなたなんか愛してはいなかったわ」("I never loved you") (105) と宣言することを期待していたらしい。そしてその宣言によって、それまでのトムとの過去を全て打ち消し、自分の元に戻ってきてほしい、と思っていたらしい。更に、このように過去を全て打ち消した後で、あたかも5年前であるかのように、自分と人生の門出に立ってほしいと思っていたらしい。ギャツビーの心の中をこのように察すると、ニックが言う。

"I wouldn't ask too much of her," I ventured. "You can't repeat the past." "Can't repeat the past?" he cried incredulously. "Why of course you can!" He looked around him wildly, as if the past were lurking here in the shadow of his house, just out of reach of his hand. "I'm going to fix everything just the way it was before," he said, nodding determinedly. "She'll see." (106)

「私だったら彼女にそんなに多くのことは期待しません」、私は思い切って言った。「過去を繰り返すことはできませんよ」「繰り返すことができないですって」、彼は信じられないというふうに言った。「勿論、繰り返すことはできますよ」、彼は荒々しく回りを見た。あたかも過去が、ここの彼の家の陰、もう少しで手の届きそうな所に潜んでいるかのように。「私は全てのことを昔通りにしてみせます」、決然とうなずきながら彼は言った。「あの人の人になって分かってもらえますよ」

ニックはなぜ都会に出て来たのか。表向きは(1)活気のない田舎に失望したこと。(2)結婚のことですまらぬ噂を立てられたこと。(3)田舎では満足な収入を得られないこと、などがその理由としてニックが挙げていたことである。しかし、これはあくまでも表向きの理由であり、本当の理由は、「アメリカの夢」と深く関係するものを求めて、ということではなかったのだろうか。つまり、「アメリカの夢」の原点とでも言うべき「人

の心の純粹さ」とか「無邪気さ」、あるいは「信ずる力」などを求めて。もっともニック自身は何を求めているのか、はっきり認識しているわけではなかったのだが。

それで、ギャツビーと対応しているうちにニックはそれらの言葉を思い出しかける。しかし、はっきりと言葉にすることはできない。

Through all he said, even through his appalling sentimentality, I was reminded of something—an elusive rhythm, a fragment of lost words—that I had heard somewhere a long time ago. For a moment a phrase tried to take shape in my mouth and my lips parted like a dumb man's as though there was more struggling upon them than a wisp of startled air. But they made no sound, and what I had almost remembered was uncommunicable forever. (107)

彼が言ったことの全てを通して、それはひどくセンチメンタルなものを通してではあったが、私は何かを思い出させられた。捉え難いリズム、昔どこかで耳にしたことのある、失われた言葉の切れ端。一瞬ある言葉が口の中で形を取ろうとした。そして私の唇は聾啞者の唇のように開いた。その様はあたかもはっとさせられた一塊の空気だけではなく、それらを発しようとするものがきがあるかのようにだった。でも音にはならなかった。私が思い出しかけていたものは、永遠に伝わってこなかった。

従って、この3回目のパーティーはニックにとって忘れ難いものであったことは間違いない。そしてまた、この3回目のパーティーでの事件が原因となってギャツビーの翌週のパーティーはなくなってしまう。なぜかという、ギャツビーは昔の恋人デイジーとの再会を願っていた。いや、再会どころか、お互いに別れていたこの5年間で白紙の状態にして、デイジーと5年前に戻って再出発することを願っていた。そのためにはまず自分の存在をデイジーに知らせる必要があったし、そしてまた、自分がいかにデイジーが好きな金を

持つ人間であるかを知らせる必要があった。

この目的のためにギャツビーはデイジーの屋敷の見えるところに居を構え、毎週毎週華美なパーティーを開いていたのである。彼女の屋敷から見える所で、あかあかと明かりをともし、パーティーを開いていれば、いつかは彼女がやって来るだろう、そして立派な屋敷、華美なパーティーを見れば、彼女はきっと昔の彼女に戻って、自分に心を傾けるだろう、とギャツビーは思っていたらしいのである。

そして遂にギャツビーはデイジーを自分の屋敷に迎え入れ、パーティーに誘うこともできた。ところが、ことはギャツビーの思惑通りには進まない。思惑通りにことを進めたはずなのに、二人の間には大きなギャップがあることに気づく。まさに「私はあの人の気持ちとずっとかけ離れた所にいる」("I feel far away from her.") ことを知る。そのギャップを認識し、失望を味わったとき、そしてまたデイジーに自分の存在を知ってもらうなどの目的を果たしてしまったとき、ギャツビーにパーティーを開く理由はもはやなくなってしまう。第一、ギャツビーの方では失望したかも知れないが、デイジーの方はこの時以来ギャツビーの屋敷を訪れるようになっていたらしい。「デイジーは午後などによく訪れて来るようになった」

("Daisy comes over quite often—in the afternoons") (109)。デイジーさえ訪れてくれれば、ギャツビーにパーティーを開く理由は全くないのである。ところがニックの語り口調は何とも漠然としている。

It was when curiosity about Gatsby was at its highest that the lights in his house failed to go on one Saturday night. (108)

彼（ギャツビー）の屋敷の明かりが消えたのは、ギャツビーに対する好奇心が最高潮に達したある土曜日の晩のことだった。

「ある土曜日の晩」("one Saturday night") とはいったいどういうことなのだろうか。前述したように、3回目のパーティーはニックにとっても忘れ難かったはずである。それなのに「ある土曜日の晩」などと言ったのでは、前の週の出来事が

ばやけてしまう。ここは、前の週の出来事があったからこそ次の週のパーティーがなくなってしまった、と強調しなければならないはずである。それなのに、「ある土曜日の晩」ではその後も何回かパーティーがあって、ある時パタッとなくなってしまう、という誤解を与えてしまう。そうではないのである。ギャツビーが翌週パーティーを開く必要は全くなくなったのである。このことは、事件の記述を時間通りに整理するという作業をしてみるとよく分かるのである。これが3つ目の疑問である。

何度も述べているように、ニックが3回目のパーティーに出席するのは8月26日頃。従ってギャツビーのパーティーの灯が消えるのは翌週の9月3日頃なのである。この9月3日頃という日がいかに妥当であるかは、次のような事実から明らかである。灯が消えた日の2日後は「焼け付くような暑さで、その夏のほとんど最後の、そして間違いなく最も暑い日」("burning, almost the last, certainly the warmest, of the summer")

(109) だったという。夏の最後の日で、しかも最も暑い日が9月5日頃、というのはかなり納得できることである。

いやいや、ニックの語りにおかしなところはまだある。8月26日以降ギャツビーはパーティーを開かなくなった。従って、「ある土曜日の晩」というのは9月3日頃らしい、ということについては今述べた通りなのだが、この「ある土曜日の晩」のことについて語った直後の記述がおかしい。

My Finn informed me that Gatsby had dismissed every servant in his house a week ago and replaced them with half a dozen others, who never went into West Egg Village to be bribed by the tradesmen, but, ordered moderate supplies over the telephone. (108)

私の所のフィンランド人の話では、ギャツビーは彼の家の召使を1週間前に全て解雇し、その代わりに6人ほど別の人を入れた。彼らは商人によって抱き込まれないようにと、ウエスト・エッグ・ヴィレッジに行くこともなく、手頃なものを電話で注文していた、という。

1週間前 ("a week ago") だって！ 1週間前というのは、ニックが3回目のパーティーに出かけた8月26日頃のことである。パーティーの開かれている最中に召使の総入れ替えなどあるはずがない。ということはやはり、ニックは（というより作者は）、ギャツビーのパーティーの灯が消えたのは8月26日より数週間後と認識しているらしい。しかしそうであるとしたら、作品の本質がかなり変わってしまう。これが4つ目の疑問である。

さて、その9月5日の1日前の9月4日、ニックの所へギャツビーから電話がかかってくる。用件は、デイジーの希望でもあるのだが、明日デイジーの所での昼食会へ行かないか、という誘いの電話である。9月5日。前述したようにひどく暑い日で、その暑さがみんなの気持を苛立たせる。デイジーの所で軽い昼食をとった一行はニューヨークへと繰り出して行く。ギャツビーの黄色い大きな車にはトムとニックとジョーダンが乗り、トムのクーペにはギャツビーとデイジーが乗って行く。ニューヨークのホテルに着いて冷たいものを飲むが、とにかく暑くてたまらない。そうこうしているうちにギャツビーが突然トムに言う。

"Your wife doesn't love you. ... She's never loved you. She loves me. ... She never loved you, do you hear? ... She only married you because I was poor and she was tired of waiting for me. It was a terrible mistake, but in her heart she never loved any one except me!" (124)

「あなたの奥さんはあなたを愛してはいないのです。……今までにも決してあなたを愛したことはないのです。彼女は私を愛しているのです。……あなたを愛したことは決してないのです。聞いていますか。彼女があなたと結婚したのは、私が貧しく、そして私を待っていることに飽きてしまったからです。恐ろしい間違いだったのです。でも心の中では彼女は私以外の人を愛したことはなかったのです。

ギャツビーのこの言葉はトムを苛立たせただけ

でなく、デイジーをも混乱させてしまう。確かにギャツビーの言葉には一理ある。しかし全てではない。「あなたの要求は大きすぎるわ。……私は今あなたを愛しています。これで十分ではありませんか」("Oh, you want too much! I love you now — isn't that enough?") (126)。そしてまたトムからも、「彼女は俺のもとを離れたりはしない」("She's not leaving me!") (127) と責められてデイジーはすっかり混乱し、うろたえる。その錯乱した気分を追い払う意味もあったのだろうか、デイジーはギャツビーの車にギャツビーを同乗させると、猛スピードで帰宅の途につく。そして、飛び出して来た女（実はトムの情婦のマートル）をはねてしまう。ギャツビーは、動揺するデイジーに代わってハンドルを握り、デイジーを無事に家まで送り届ける。その後ギャツビーは車を自分の屋敷まで運転して行き、ガレージに隠すと、再びデイジーの家に戻って物陰でデイジーの見張りを始める。一つには、ニューヨークのホテルでの一件のことでトムがデイジーをいじめたりはしないか、また一つには、人をはねてしまったことでデイジーがどうかなってしまわないかと心配になって。ギャツビーはデイジーの屋敷の物陰で寝ずの番をする。これが9月5日から6日にかけてである。

そして9月6日の3時頃。マートルの夫のウィルソン (Wilson) がギャツビーの屋敷に現われる。彼は、事故を見ようと事故現場で車を止めたトムなどから情報を得、どうやらギャツビーの車がマートルをはねたらしいことを知ったようである。それでギャツビーの屋敷を探し当てると、マートルの復讐だと言わんばかりに、プールにいたギャツビーを射殺してしまう。

ギャツビーの葬式が行なわれたのは、それから4、5日後の9月10日前後のことである。

I think it was on the third day that a telegram signed Henry C. Gats arrived from a town in Minnesota. It said only that the sender was leaving immediately and to postpone the funeral until he came. (158)

ヘンリー・C・ギャツと署名された電報がミネソタのある町から届いたのは3日目

だったと思う。すぐに出発するので、葬式は自分が着くまで延期してほしいとだけ書いてあった。

電報の送り主はギャツビーの父親で、シカゴの新聞で息子の死を知ったのだという。ミネソタからどのくらいの時間がかかったのだろうか。ギャツビーの父親が到着した日は「やや暑い9月の日」("the warm September day")(158) だったという。それに、ギャツビーの父親が到着した翌日が葬式だったというから、やはり9月10日前後でいいのではなかろうか。

しかしこのように事件の記述を時間の流れ通りに並べるという作業をしていると、またもやとんでもない矛盾に突き当たってしまう。ニックがギャツビーのパーティーに初めて行った時、ニックはギャツビーの屋敷の書斎で、不思議な男を目撃する。それは「がっちりとした中年の、大きなふくろうの目のような眼鏡をかけた男」("a stout, middle-aged man, with enormous owl-eyed spectacles")(46) で、書斎に並ぶ本が本物であるかどうかを調べていたらしい。この大柄でふくろうの目のような眼鏡をかけた男が、ギャツビーの葬式に参列した、関係者以外の唯一の人間ということになるのだが、この男に関する描写がとんでもない矛盾を含んでいる。

As we started through the gate into the cemetery I heard a car stop and then the sound of some one splashing after us over the soggy ground. I looked around. It was the man with owl-eyed glasses whom I had found marveling over Gatsby's books in the library one night three months before. (165)

門を通過して墓地の中へ入り始めたとき、私は車が止まる音を聞いた。それから、私たちの後を追って、ぐしゃぐしゃの地面をぴちゃぴちゃ音を立てながらやって来る人の足音を聞いた。私はあたりを見た。それは、3か月前のある晩書斎でギャツビーの蔵書に感心していた、あのふくろうの目のような眼鏡をかけた男だった。

3か月前("three months before") だって！ちょっと待ってほしい。3か月前というのはニックが初めてトム夫妻を訪ねた時で、ニックがこのふくろうの目のような眼鏡をかけた男を見たのは2か月前の7月7日頃ではなかったのか。このことに関しては私の方に分があるらしいことは、ギャツビーの葬式が「やや暑い9月の日」の翌日であったこと、そして「7月4日の2、3日前」までにはニックはまだギャツビーのパーティーに行っていない、などということからも推測できる。これが5つ目の疑問である。

以上の如く、名作『偉大なるギャツビー』には思わぬ構成上の欠陥があることに気づいた。現段階ではまだかなり推測の部分があるので、今後更にこの問題を追究したいと思っている。

《註》

- 1) 『『偉大なるギャツビー』における構成上の疑問（其の1）』は、「全国高等専門学校英語教育学会、研究論集第23号」に掲載予定。
- 2) F. Scott Fitzgerald, *The Great Gatsby* (Penguin Books, 1985) なお、これ以後のこのテキストからの引用は、全てこのように括弧を設け、その中にページ数を記す。
- 3) 小西友七編集主幹、『ジーニアス英和辞典』、(東京、大修館、1994) P.1624

(平成15年5月8日 受理)

コンピュータウィルス・誤操作からファイルを保存するデータ保護システム

青野正宏^{*1}, 小尾高史^{*2}, 山口雅浩^{*2}, 大山永昭^{*2}, 谷内田益義^{*2},
細田泰弘^{*3}, 佐藤能行^{*4}, 菅生 清^{*5}, 藤岡伸男^{*6}

File Protection System against computer virus and/or operation-mistake

Masahiro AONO, Takashi OBI, Masahiro YAMAGUCHI, Nagaaki OYAMA, Masuyoshi YACHIDA,
Yasuhiro HOSODA, Yoshiyuki SATO, Kiyoshi SUGO, Nobuo FUJIOKA

We have been commissioned to research and develop a data storage system for personal data protection by Telecommunications Advancement Organization of Japan. The purpose of the system development is to prevent losing files on the disk according to computer viruses or others. This project is due to achieve useful results and to complete them in this financial year. This paper explains the outline of the research and development from a viewpoint of the basic architecture.

(Keywords: File Protection, Computer Virus, Data Recovery)

1. まえがき

コンピュータは、今や生活の必需品となってきた。当初の計算する機械からデータ処理、システムの制御、通信や情報検索の手段など、その用途はあらゆる面に広がっている。その普及段階においてペーパーレス社会が謳われたが、実際には紙の消費を増やしただけでないかと揶揄された時期もあった。しかし、近年、記憶媒体の低廉化、電子メールの普及により、情報を紙に出力せず、電子情報のまま保存・利用するケースも増えてきた。入手したオリジナル情報が紙の場合でも、物理的スペースの節約のため、スキャナーで電子化して保存してもコスト的に十分実用となっている。このような電子情報の保存には、CD-ROM や DVD-ROM などの媒体を利用すれば比較的安全で廉価であるが、煩雑に参照される情報や更新される情報、未整理段階の情報はコンピュータシステムのディスクに一時保存しておくのが便利である。固定ディスクの大容量化により、映像・音声・画像などを除いた狭義のデータのみであれば、ディスクのみで平均的個人が管理する情報は十分保存できるほどである。

しかし、コンピュータシステムにおいて、ディスクの情報は書き換え可能であるため、紛失する危険も大きい。特に、悪質なコンピュータウィルス（以下ウィルスと略す。）によるファイル削除や書き換え攻撃に遭えば被害は大きい。オペレーティングシステムやアプリケーションプログラムは

再インストールすれば復元することも可能であるが、ユーザの個人的ファイルはそのディスクのみに情報が保存されているのであれば復元することが不能である。外部媒体にバックアップをとれば被害を防げるがユーザにとってこまめにバックアップをとることは負担となる。RAID などの冗長化手法は、ディスクの物理的障害に対しては有効であるが、ウィルスや誤操作の場合は同時にバックアップのデータも傷つけられてしまうので効果がない。アンチウィルスソフトウェアやファイアウォールなどの手段でウィルスから防衛する手段も万全とはない。

本システムは、ウィルスの影響が及ばない領域でデータを保護することにより、ファイルを保全することを目的とする。副次的効果として誤操作や悪意のないプログラムバグなどによるファイル破壊から守ることもできる。

2. 開発の経緯

本研究開発は、平成 12 年度に、東京工業大学の山口、小尾、大山、リコーの谷内田らのアイデアを基に東京工業大学、三菱電機、NTT コミュニケーションズ、NTT データセキュリティ、日本電気、リコーの 6 者が共同研究体を結成して、通信・放送機構の「産学連携支援・若手研究者支援型研究開発」募集に応募し、同機構より「耐ウィルス機能を持った情報通信システム構築に関する研究開発」として受託し、始めたものである。当初の

*1 情報工学科 *2 東京工業大学 *3 NTT コミュニケーションズ *4 富士総合研究所
*5 リコーシステム開発 *6 日本電気

		H12 年度	H13 年度	H14 年度	H15 年度
研究 1	東工大				
	三菱				
	NEC				
	NTT-C				
	リコー				
研究 2	NTTデータセキュリティ				
	東工大				
	NEC				
	NTT-C				
	リコーシステム開発				
	富士総研				
	三菱				
	東京高専				

研究 1：耐ウィルス機能を持った情報通信システム構築に関する研究開発

研究 2：情報セキュリティ高度化のためのデータ保護技術に関する研究開発

組織名は略称

図 1 研究期間と参加組織

発想は、ディスク記憶領域の一部を割りディスク制御装置にファイルの更新履歴を自動的に記録する機能を持たせる方式であった。平成 12 年度の受託研究における基本アーキテクチャ設計において、当初の発想における 1 台のコンピュータとして実現する方式をスタンドアロン型、ネットワーク上の複数のコンピュータに機能を分散して実現する方式をネットワーク型として概念を整理した。本研究開発は当初「耐ウィルス機能を持った情報通信システム構築に関する研究開発」として 2 年間で実施されたが、平行して、平成 13 年度から通信・放送機構の新しい研究スキームとしての「情報セキュリティ高度化のためのデータ保護技術に関する研究開発」のテーマに応募した。その結果、同機構から受託して、発展的に研究を続けているものである。新しいスキームに移行したとき、共同研究のメンバーは一部入れ替わり、東京工業大学、三菱電機、NTT コミュニケーションズ、日本電気、リコーシステム開発、富士総合研究所の 6 者となった。新しいスキームにおいては、ネットワーク型のデータ保護システムの開発に焦点を絞って研究開発を行っており、平成 15 年度が最終年度の予定である。東京工業高等専門学校の青野は、三菱電機在籍時に本研究の基本アーキテクチャ設計担当として参加し、東京工業高等専門学校へ移籍後、三菱電機に対し共同研究の形で支援する形をとっていたが、平成 14 年度より東京工業

高等専門学校として、三菱電機に代わって研究開発に参加している。

3. システムの基本アーキテクチャ

本システムの基本的な考え方は次のとおりである。

(1) 耐ウィルスシステムであること。

広義のウィルスに対するファイル破壊を防止することが本研究の第一の目的であるが、ウィルスを検出し駆除することは目的としていない。ウィルスによるファイル破壊活動の被害に遭っても、ファイル復元を可能にすることを目的とする。その意味で抗（アンチ）ウィルスシステムでなく耐ウィルスシステムである。従って、既存の抗ウィルスソフトウェアに取って代わるものでなく、併用することを前提としている。その基本原理は、ファイルの更新（新規作成、消去を含む。）が発生した場合、更新の記録を保存することにより万一ファイルの破壊が発生した場合、更新履歴から復元を行うことにより、ファイルの保全を行うものである。

(2) 外部プログラムの実行を認めるプロセッサと認めないプロセッサのマルチプロセッサ構成

システムが、エージェントや Office のマクロプログラムなどの外部から読み込んだプログラムの実行を認めることにより、ウィルスにシステムを乗っ取られ、ファイルを勝手に消去される危険が存在している。しかし、外部プログラムの実行を認めなければシステムの利便性は著しく減少する。そのため、システムを外部プログラムの実行を認めるプロセッサ（フロントエンドプロセッサ）と認めないプロセッサ（バックエンドプロセッサ）の両方で構築する。フロントエンドプロセッサはウィルスに乗っ取られる危険もあるが、ファイル保全に関する必要な保護はバックエンドプロセッサに任せることにより、データの保全を図る。バックエンドプロセッサは外部から読み込んだ情報はあくまでデータとして扱い、制御権を渡すことはしない。プログラムは ROM で組み込まれていれば改ざんの恐れはないが、バッファオーバーフロー攻撃に対する隙などプログラムバグによるセキュリティホールがなければ、RAM で構築されて

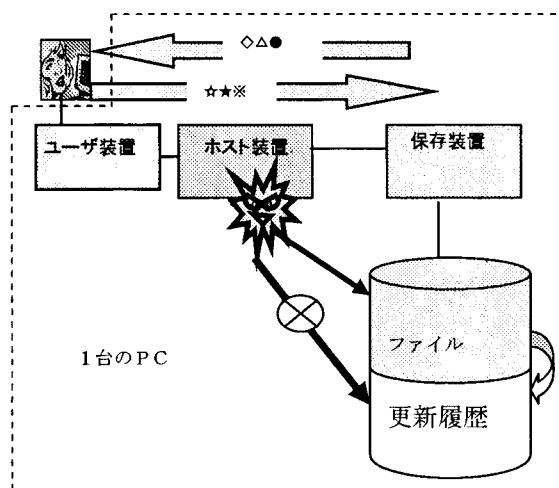


図2 スタンドアロン型のシステム構成の概念

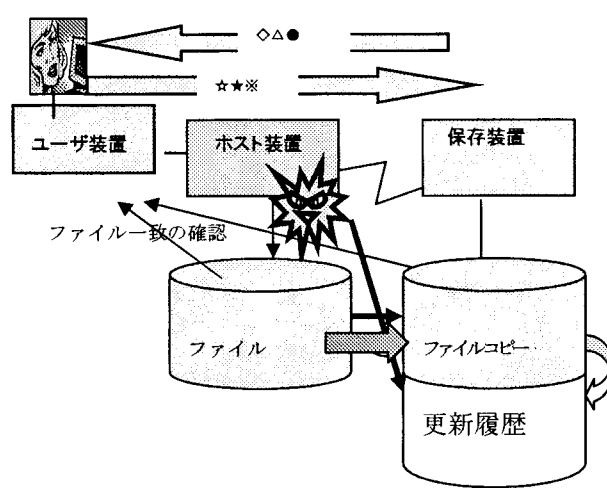


図3 ネットワーク型システム構成の概念

いてもかまわない。バックエンドプロセッサのプログラムは目的を限定しているため、セキュリティホールがない設計は比較的容易である。更新履歴からファイルを復元する方式は既に存在するが、それらは更新履歴自体を破壊される恐れがある。本研究開発においては、更新履歴の破壊を防止するため、バックエンドプロセッサで管理する。

4 基本構成とその役割

基本システムの装置構成は、フロントエンドプロセッサであるホスト装置とバックエンドプロセッサであるユーザ装置および保存装置から成る。ホスト装置は汎用のOSやソフトウェアを動作させ、一般的なコンピュータとしての目的を実現する。外部から取り込んだプログラムを実行させることを認めるので、ウィルスに侵される危険もある。保存装置は更新履歴を管理する機能を有する。ユーザ装置はディスプレイモニターやキーボード入力、マウスなどのユーザインタフェースを司る。保存装置とユーザ装置はあらかじめ定められた限定した機能のみを実行させ、ウィルスが介在する余地を無くすため、バックエンドプロセッサとして実現する。基本的にはこの3台のプロセッサから成るが、システムの実現方式としてスタンドアロン型とネットワーク型を提案した。

(1) スタンドアロン型

スタンドアロン型は、システム全体を見かけ上1台のコンピュータとして実現するものである。ホ

スト装置のディスク制御装置を保存装置に置き換える。ホスト装置においてディスク・ファイルの読み出し／書き込みをディスク制御装置である保存装置のプロセッサを経由して実行する。保存装置のプロセッサは、読み出しの場合、ホスト装置の要求どおり保存装置で管理しているファイルの読み出しを行う。書き込みの場合、ホスト装置から指定されたファイルが、更新や追加登録を許しているファイルか否かを判断し、許していないファイルであれば書き込みを拒否し、後述する手段でユーザに警告を発する。許しているファイルであれば、ホスト装置の指定どおりファイルの書き込みを行うと同時に、そのファイルが保護すべきファイルか否かを判断する。保護すべきファイルの場合、更新の履歴（更新することにより消去される更新前のファイルのデータ。更新が新たにファイルの作成の場合であれば、それまでファイルが存在しなかったことを意味するデータ）を保存装置で管理する更新履歴領域に登録する。ホスト装置からは直接・間接ともに更新履歴領域にアクセスすることはできない。従って、ホスト装置からウィルスや誤操作により更新履歴を破壊することはない。ウィルスや誤操作により保護すべきファイルが破壊された場合、保存装置は、更新履歴のデータから破壊される前の状態に復元を行う。このような保存装置に対する操作指示はユーザ装置から行われ、保存装置からの警報などの状態報告もユーザ装置に対して行われる。ユーザ装置は、これまでのコンピュータのモニター制御装置

／キーボード制御装置／マウス情報の取り込み装置に相当し、それに加えてファイル保護のためのユーザとの間の入出力機能を有する。通常にはホスト装置とユーザとのインタフェースを担当する。そのため、ユーザ装置の制御はホスト装置を通して行うので、保存装置とユーザ装置との情報交換は、ホスト装置が中継して行うことになる。しかし、ホスト装置にウィルスが存在すれば、保存装置とユーザ装置の中継を妨害したり、偽の情報や指示を出したりする可能性がある。そのため、次の対策をとる。まず、保存装置とユーザ装置との情報交換は、改ざんやなりすましを防ぐため暗号化して行う。また、情報貢献の中継を妨害されないため一定時間内にヘルシーメッセージの交換を行う。さらにヘルシーメッセージと意味のあるメッセージの区別をウィルスに悟られないよう、メッセージの送信間隔に揺れを持たせたり、メッセージ長を一定にしたりするなどの対策をとる。

(2) ネットワーク型

保存装置をサーバなどの独立したプロセッサとして実現する構成である。ユーザ装置はホスト装置と一体型の装置とする場合と別の装置とする場合がある。ユーザ装置の機能はスタンドアロン型と変わらないが、保存装置とホスト装置の役割が異なる。まず、ホスト装置はローカルなディスク装置およびディスク制御装置を持ち、ファイルの入出力はローカルなディスク装置に対して行う。ホスト装置において保護対象のファイルが更新された場合は、更新データをホスト装置からネットワークを介して保存装置に出力する。保存装置は、入力された更新情報からホスト装置のローカルディスクのコピーを作る。同時に更新履歴を記録する。ホスト装置にウィルスが存在しても保存装置の更新履歴にアクセスできない点はスタンドアロン型と同じである。ホスト装置のローカルディスクにあるファイルが破壊された場合、同時に保存装置のコピーファイルも破壊される可能性が高いが、更新履歴からまず保存装置のコピーファイルを正常時点まで復元し、次いで、ホスト装置のローカルディスクのファイルを復元する。ユーザ装置の役割と保存装置との情報交換は、ユーザ装置とホスト装置が一体の場合は、スタンドアロン型の場合と同様である。ユーザ装置がホスト装置と

分離して設置される場合は、ユーザ装置はXターミナルや WBT 装置のようなシンクライアント機能にファイル保護のための入出力機能を備えた装置となる。この場合、保存装置との情報交換は、ホスト装置が常時稼動であれば、必ずしもホスト装置の中継して行う必要はなく、直接通信を行って良い。ただし、第三者からのなりすましや通信妨害を避けるため、通信の暗号化が必要な点については、ホスト装置経由方式と同じである。

スタンドアロン型の場合、ディスクへのファイル書き込みが自動的に更新履歴を保存することになるので、ウィルスが更新履歴保存の妨害を行うことはできないが、ネットワーク型の場合、ホスト装置で更新履歴をネットワーク上の保存装置に送り出しているため、ウィルスが更新履歴送信を妨害したり、内容を改ざんしたりしてもユーザは気がつかない。その後、ホスト装置のローカルディスクのファイルを破壊すれば、ファイル復元は不可能となる。その対策として、ホスト装置のファイルの内容と保存装置のファイルの内容が一致していることを定期的に確認する。

(3) スタンドアロン型とネットワーク型の比較

スタンドアロン型は1台のコンピュータ上で実現し、ホスト装置上に搭載するソフトウェアは、本機能を有しない従来型のコンピュータのソフトウェアがそのまま使用できるため、普及が容易である。しかし、ディスク制御装置に相当する保存装置で更新記録をとりつつファイル書き込みを行うという作業を行うため、ファイル書き込み処理が遅くなる恐れがあり、この対策が必要である。また、ホスト装置とのインタフェースでは、既存のディスク制御装置と完全互換の保存装置が必要となり、システム開発のハードルが高い欠点がある。また、ディスクのハードウェア障害の場合まではカバーしていないので、そのときは情報が失われてしまうことになる。

ネットワーク型の場合、基本的にソフトウェアの開発のみで対応できるため、開発のハードルが低いという利点がある。ホスト装置のローカルディスクがハードウェア障害を起こしても、保護対象のファイルはそのまま保存装置に保存されているため、復元が可能であるという利点がある。しかし、ホスト装置のソフトウェアは、従来型のシ

システムに搭載しているソフトウェアそのままでは動作せず、ファイル保護のためのソフトウェアをインストールする必要がある。更新履歴データをホスト装置から保存装置に送るため、障害が発生して復元を行うとき、障害直前の状態より少し前の状態にまで戻せないタイミングも存在する。また、ウィルスに対して事実上支障はないものの理論上脆弱性を完全に除去することは困難な点も存在する。

両者は一長一短あり、机上の検討は両方の型について進めるものの、システム試作については、比較的開発が容易なネットワーク型に絞って実施した。

5. 更新履歴領域の管理手法

更新履歴領域は有限であり、ファイルを過去の状態に復元するとしても限界がある。できるだけ有効に更新履歴領域を活用するため、次の手法を提案した。

(1) チェックポイント

一定時間毎にチェックポイント時刻を設定する。チェックポイントを越えて最初のデータ更新が発生した場合は、自動的に退避領域となる旧データは、退避データとしての優先順位を高くする。しかし、チェックポイント時刻後に既にデータの更新がなされている場合は、退避領域となる旧データの優先順位を低く設定する。この方法により、指定された時刻への完全な復元はできなくとも、近傍の時刻のデータに復元可能であり、復元のため遡上可能な時間は大きくなる。

(2) 領域の分別

OS において物理的に領域がどのような用途で使用されているか明確になっており、動的に変化しないことが判明している場合は、保存装置の初期設定により、ディスクの用途を大別する。すなわち、データの更新が発生しない領域（非更新領域）、一時使用領域やソフトウェアの再インストールにより容易に復元が可能な領域（非保護領域）、データ破壊が発生するとバックアップ機能が存在しない限り復元が困難な領域（ユーザ領域＝保護領域）に分別し、ユーザ領域に対する書き込みのみについて、データ退避を行なうことにより、退避領域の消費を抑制することができる。

(3) 更新セグメントのみの保存

ファイルを複数のセグメントに分割し、セグメント単位で、新旧データの比較を行い、一致しているならばそのセグメントについては、退避を行わない方法が考えられる。ただし、最新世代の退避データはすべて保存し、それより 1 世代前の退避データのうち、新旧一致のセグメントデータを解放するという方法をとることが必要である。この場合、保存装置におけるファイル管理テーブルにおいては、セグメント単位の更新有無情報も記憶しておく。ただし、この方法とチェックポイント方式はファイル単位では両立しない。

(4) データ圧縮

復元可能な範囲でデータ圧縮を行なう方法である。ただし、この方法は更新セグメントのみを保存する方法とは両立しない。

6. ウィルス攻撃からの防衛手法

(1) 更新履歴の食い潰し攻撃

ウィルスが短時間に大量のファイル更新や同一ファイルの繰り返し更新を行い、更新領域を短時間のうちに食い潰し、ユーザが異常に気がついて復元しようとしても、既に正常な状態のファイルの履歴は残っていないという攻撃方法が考えられる。この攻撃から防衛するために、保存装置は単位時間あたりのファイル更新量を監視し、一定の基準を超えてファイル更新があれば、一時的にファイル更新を止めて、ユーザ装置に警告を行う。ユーザが正常と判断すれば、継続の指示を保存装置に出す。異常と判断した場合は、ウィルスに侵食されているか否か判断し、ウィルス要因によるものであれば、ウィルスを駆除して、更新履歴からファイルを正常な時点まで引き戻す。

(2) ネットワーク型における更新履歴出力妨害

ホスト装置がウィルスに侵されているとする。ホスト装置がファイルを更新するとき、ウィルスがローカルディスクに対しては正常なデータを書き込むが、ネットワーク経由で保存装置に更新データを出力しようとする処理に対して、これを妨害したり、内容を改ざんしたりするものとする。ホスト装置はローカルディスクからのみファイルを読み出すので、ユーザはウィルスが異常処理をしていることに気がつかない。その後、ホスト装置のローカルディスクのファイルを破壊すると、

保存装置に正しいデータが送られていないため、復元ができない。この攻撃に対して次の対策をとる。ホスト装置は、ファイルを格納するとき、ファイルのハッシュ値を計算して記憶しておく。保存装置も、送信されてきたファイルのハッシュ値を計算して記憶する。ホスト装置のローカルディスクのファイルと保存装置のファイルは、内容が一致しているはずである。しかし、上述のウィルス攻撃や通信や S/W のなんらかの不備があった場合、両者の内容が一致しない状況に陥る可能性がある。この場合、ローカルディスクが正常の間に異常に気がつけば、復元が可能である。そのため、次の手順で定期的に検査を行う。

ユーザ装置は定期的に各ファイルのハッシュ値から、一定の算式にて計算して求める総ハッシュ値の要求をホスト装置と保存装置に送る。保存装置とホスト装置は、それぞれ総ハッシュ値を計算してユーザ装置に送る。ユーザ装置は、両者の総ハッシュ値を比較して、一致すれば正常と判断する。一致しなければ異常と判断して、原因分析を行い、ウィルスが原因と判明すれば、ウィルス駆除とファイルの復元、ホスト装置ローカルファイルと保存装置ファイルの同期化を行う。

しかし、ホスト装置のウィルスは保存装置に送った偽の退避データのハッシュ値を記録しておき、ハッシュ値計算の要求がユーザ装置よりきた場合、ホスト装置ファイルのハッシュ値でなく、記録していたハッシュ値から総ハッシュ値を計算し、ユーザ装置に送り出してしまえばハッシュ値が一致し、ユーザ装置にローカルディスクの内容と退避領域の内容が一致していると思わせることができる。この対策として耐ウィルス対策のためホスト装置に組み込んだソフトウェアモジュールが改ざんされていないことを確認するため、各モジュールのハッシュ値を計算し、正しいハッシュ値と一致するかどうか確認する方法、毎日のシステム起動時に、原理的に改ざん不能な ROM プログラムによりハッシュ値を計算する方法が考えられる。

7. 関連研究

ファイルの更新履歴を保存し、任意の時点の状態まで復元を図るという手法は製品やサービスとして存在する[1][2]。しかし、当該システムのソフトウェア上で実現しているため、そのソフトウェア

自身をウィルスに攻撃されれば防御できない。また、監視のための OS と実行のための OS とを別に実装することにより、ウィルスに制御権を奪われることを防ぐという手法[3]があり、安全性を高めることができるが、監視のための OS の制御権を奪われない保障はない。本システムはプロセッサを分離することにより、制御権を奪われることを原理的に防止している。

8. プロジェクト全体の計画

本稿では、データ保護の観点から基本アーキテクチャを中心に説明したが、研究開発のプロジェクト全体としては、データへの不正アクセス防止策、ユーザデータの安全な保存策、システム利用の認証方式、装置のセキュアモジュール化、履歴情報の管理、ユーザデータの表示方法、一般家庭にネットワークが普及することを想定した不正アクセス防止策、システムの評価方式、システムを構成する機器間の自動相互接続、セキュア通信方式、広域ネットワークとの連携などのテーマを持って研究開発を進めている。本年度において試作システムを完成し、成果を挙げて完了する予定である。

謝辞

本研究は通信・放送機構の委託研究テーマ「情報セキュリティ高度化のためのデータ保護技術に関する研究開発」により行なっている。

参考文献

- [1]<http://www.roxio.co.jp/products/goback3/index.html>
- [2]http://www.justsystem.co.jp/idisk500/toku_top.html
- [3]佐々木他：マルチ OS 環境を利用したアクセス制御システムの実装と性能評価、情報処理学会研究報告、2001-CSEC-14、pp.157-163、2001 年 7 月
- [4]青野正宏他：データ保護機能を有する電子保存システムの開発(1) 基本アーキテクチャー、FIT(情報科学技術フォーラム)2002 第 4 分冊 pp.347-348 (2002 年 9 月)

(平成 15 年 6 月 19 日受理)

ペン字・書道における標準お手本の自動生成法

鈴木雅人*, 本山さちこ*, 永瀬圭良*, 小林直彦*, 市村 洋*, 山下静雨**

An Automated Generation Method of Standard Copybook for Penmanship and Calligraphy

Masato SUZUKI, Sachiko MOTOYAMA, Keisuke NAGASE,
Naohiko KOBAYASHI, Hiroshi ICHIMURA, Seiu YAMASHITA

Nowadays, Distance Learning is focussed on left-brain education such as science, technology, logic, and so on. But, subjects related to right-brain learning are not treated as that of Distance Learning. We have tried to construct right-brain distance learning system for penmanship and calligraphy, which are typical examples of right-brain learning. In this system, corrected character database is useful for the disciples to learn themselves how to write the characters. And it is also useful for the master to instruct the disciples efficiently. In this paper, we investigate how to construct the database of corrected chinese characters.

(Keywords: Automated Generation Method, Standard Copybook, Penmanship, Calligraphy)

1 はじめに

我々は、これまで遠隔教育の対象として考えられていなかった芸術分野に着目し、ペン字・書道を事例とした e-ラーニングのあり方について検討してきた [1]. 単なる技能習得ではなく、その道の流儀や教え・精神をも師範に学ぶには、直接指導による稽古が最高の教育環境であるが、我々は、このような考え方を最大限に尊重しながらも、あえてマルチメディア・インターネットを稽古の場に取り入れ、地理的・時間的制約を改善し、しかも直接指導に近い形での遠隔稽古環境を実現することを目標として研究を進めてきた [2, 3]. しかし、弟子がペン字・書道を習う上で最も重要なお手本については、あまり検討してこなかった。

高野切 [4] は、紀貫之が書いたとされる書物から、美しいとされる文字を 1 つずつ切り出して集めたもので、このように昔の能書家によって書かれた美しい文字は数多く保存されている。これら

はペン字・書道を学ぶ弟子にとって、まさに生きたお手本であるが、実際に個々の文字を見てみると、同じ字種でも文字の形は多様であり、弟子はどれをお本にすべきか判断することはできない。そのため、共著者の山下師範は、このような文字を合成して標準的なお手本を自動生成することができれば、弟子の指導に非常に有効であると指摘している。

本稿では、このような背景に基づき、昔の能書家によって書かれた複数の仮名文字から、標準手本となる文字を自動合成する手法について検討したので、その手法と成果について報告する。

2 お手本自動合成法

本稿では、高野切字典 [4] に掲載されている仮名文字を例として、2 つの文字画像から標準となるお手本文字画像を自動生成する方法について検

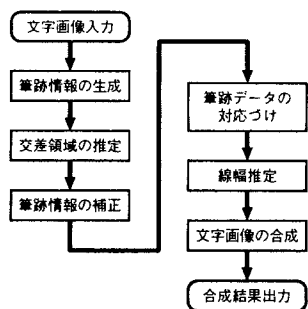


図 1: 標準お手本生成の概略

討する。一般に、文字は複数のストロークから構成されているが、同じ字種の同じストロークでも、書かれた文字によって線の形状や太さに違いがあり、そのような多様な 2 つのストロークから標準となりうるストロークを自動生成することは困難である。しかし、仮に書かれた文字の筆跡情報が得られれば、各ストロークの始点・終点やその他の特異点（線が折れ曲る位置など）を容易に検出することができるため、文字画像に比べて合成は遥かに容易である。そこで本稿では、与えられた文字画像に付加情報を与えて擬似的に筆跡情報を作り出し、その筆跡情報と各ストロークの線幅推定値を用いて 2 つの文字画像の合成を試みる。ここで言う合成とは、2 つの文字画像から得られる筆跡情報を平均化することによって中間的な文字画像を生成することであり、このようにして得られた文字が標準手本に値するという保証はないが、評価については、著者の 1 人である山下師範の判断を仰ぐものとする。

本稿で提案する標準お手本自動生成アルゴリズムの概略を図 1 に示す。以下、各過程について詳述する。

2.1 筆跡情報の生成

文字合成に必要な筆跡情報を擬似的に生成するため、文字画像の上からタブレットペンでなぞり、オンライン筆跡データを求める。ペンで文字をなぞる際、運筆が人によって多様であるが、このデータは、文字合成のためにのみ必要なデータであるため、文字の上を忠実になぞっていれば良いものとする。

2.2 交差領域の推定

文字の線幅を推定するためには、あらかじめ線どうしが交差する領域を検出しておく必要がある。交差領域の推定方法の概略を図 2 に示す。まず、筆

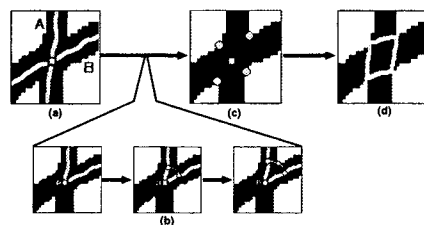


図 2: 交差領域の推定

跡情報からストロークどうしが交差する点を求める (図 2(a))。次に図 2(b) のように、隣り合う 2 つの線分の上に円弧を描き、円弧を次第に大きくして行ったときに最初に検出される白画素にマークを付ける。通常、交点には 4 本の線が入り込んでいるため、同様の方法によって、図 2(c) のように 4 個所の白画素にマークを付けることができる。最後に、これら 4 つの点を直線で結んで図 2(d) のような四角形を作り、この領域を交差領域とする。

2.3 筆跡情報の補正

筆跡は、文字をペンでなぞって生成する。図 3 は、ある縦のストロークの一部を拡大したものであるが、図 3(a) のように、ペンの軌跡は必ずストロークの中央に位置するとは限らない。そこで筆跡を構成する全ての点について、縦・横・斜め 2 方向の連続する黒画素の数を求め、一番黒画素の少ない方向の中央に点を移動させることにより、ストロークを線の中央に移動する (図 3(b) 参照)。

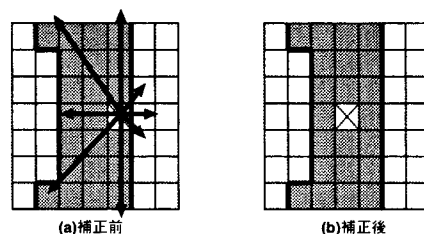


図 3: 筆跡情報の補正

2.4 筆跡データの対応づけ

2つの入力文字画像において、筆跡情報を表す点の数は必ずしも一致しない。そこで、図4のように、ストローク全体の長さを考慮しながら、互いのストロークを構成する点を対応づけ、対応がつかなかった点を削除する。

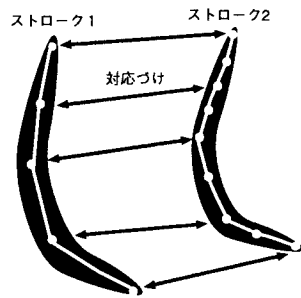


図4: 筆跡データの対応づけ

2.5 線幅推定

筆跡データを構成する全ての点について、図3に示した方法により、線幅推定[5]を行う。ただし、2つ以上のストロークが交差する点では、この手法によって線幅を正しく推定することができないため、あらかじめ推定した交差領域では、線幅推定は行なわず、交差領域の四角形の幅を線幅の推定値とする。

2.6 文字画像の合成

対応する2点の中心点および平均線幅を計算し、合成文字を生成する。図5は、このようにして得られる隣り合う点に対し、文字画像の復元方法を示したものである。すなわち図5(a)において、各点を中心とし推定線幅を直径とする円を描いて、これら2つの円に外接する2本の接線を図5(b)のよ

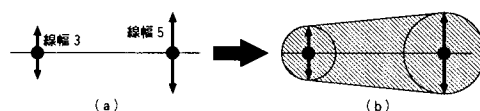


図5: 文字画像の合成

うに引き、そして図5(b)の斜線部分を合成文字領域とする。この操作を、全ての隣り合う点どうしで行うことにより、合成文字画像を生成する。

3 合成実験

2.で述べた合成アルゴリズムの妥当性を検証するために、合成実験を行なった。実験に用いたデータは、高野切字典[4]の第3種の中から取り出した仮名文字で、合成データ文字数は300文字(38字種)である。図6に合成実験結果の例を示す。それ

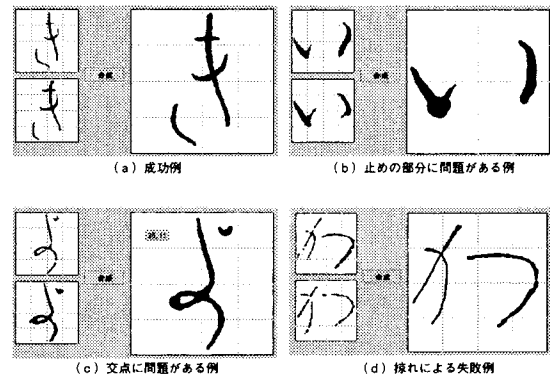


図6: 合成実験結果

ぞれの図において、合成に使用する2つの文字画像データが左側に表示されており、それらを自動合成した結果が右側に示されている。この結果によると、図6(a)のように、合成に使用する2つの文字画像データが非常に類似しており、掠れのない画像の場合には、合成結果として妥当な文字画像を生成することができる。しかし、図6(b)のように、文字を書くときにペンを長時間止める部分があると、ペンでなぞることにより生成した筆跡情報では、その部分に点が集中するため、正しく線幅を推定することができなくなり、その部分だけ円状に太くなった文字が合成されてしまう。これは、ペンで文字をなぞるときに「止め」や「跳ね」のような運筆を無視し、最初から最後まで一定速度でペンを動かしてなぞれば解決するが、実際にそのようななぞり方をするのは困難であり、合成アルゴリズムによる対処が必要であると思われる。また、図6(c)は2つのストロークが鋭角で交わっているため、交差している正方形領域を正し

く推定できず、正しい線幅推定ができなかった例である。更に、図 6(d) は文字のかすれによって線幅を正しく推定することができなかったため、なめらかな曲線が合成できなかった例である。

合成実験を行なった 300 文字について、合成された文字の妥当性を評価したところ、130 文字について妥当な結果を得ることができた。更に、これらのうちの幾つかを著者の 1 人である山下師範が評価したところ、標準的な美しい文字としての合成ができているという評価が得られた。これらの結果から、提案する標準お手本自動合成アルゴリズムは、まだ多くの問題をかかえているものの、うまく合成できた文字画像については、標準的な美しい文字が合成ができるという意味で、妥当なアルゴリズムであると言える。

一方、合成に失敗した文字について原因を分析してみると、

- 線幅が細い文字はペンでその上のなぞることが困難である。
- 掠れ文字について線幅を正しく推定できない。
- 「はね」や折り返しがある文字の線幅を正しく推定できない。
- 鋭角に交わる交点を正しく検出できない。

などが主な原因であることがわかった（図 6 参照）。これらは、複雑に入り組んだ線の幅を精度良く推定することにより解決できるものがほとんどであり、今後、更に検討を加えて行く必要があると思われる。

4 むすび

ペン字・書道の稽古において、お手本は最も優れた唯一のバイブルである。昔の能書家と呼ばれる人達を書いた文字の中で、美しいと評価されている文字が沢山残っており、これらは良いお手本となりうるが、これらの文字は形が多様で、入門したばかりの弟子は、どれをお手本として取り上げれば良いかを判断することはできない。このような状況の中で、美しいと言われている幾つかの文字を用いて、いわゆる標準的な美しい文字を自動合成することができれば、弟子の指導に非常に有用であると言われている。我々は、このような

ニーズに応えるために、2つの仮名文字を対象として、標準文字を自動合成する方法について検討し、実装・評価を行なった。その結果、2つの入力文字画像の形が類似しており、かすれのない文字である場合には、自然な文字合成結果を得ることができ、著者の 1 人である書家の山下師範が評価したところ、文字としての美しさを損なわずに文字合成ができていることが確認できた。

しかし、現実的には、非常に類似している文字どうしを合成することは稀で、通常は形の異なった文字画像どうしを合成することが多い。また、古典に書かれた美しいと言われる文字のほとんどは、文字の一部がかすれていたたり、非常に細い線で書かれている。今後は、このような問題に対する解決策について検討し、より完成度の高いアルゴリズムに改良して行きたい。

参考文献

- [1] H.ICHIMURA, M.SUZUKI, M.MURAI, et.al., “Design of Next Generation Distance Learning System for Penmanship and Calligraphy,” IJCIS(International Journal of Computer & Information Science), vol.2, no.4, pp.162-171, 2001.
- [2] 鈴木 琢也, 吉川 大輝, 山下 静雨, 市村 洋, 鈴木 雅人, “ペン字・書道の遠隔実時間添削指導に関する研究,” 情報処理学会第 65 回全国大会 講演論文集 1T-4, 2003.
- [3] 野辺 昌史, 藪田 直紀, 鈴木 雅人, 山下 静雨, 市村 洋, “ペン字・書道を事例とした遠隔教育における文字の美的評価の一手法,” 情報処理学会第 65 回全国大会 講演論文集 1T-3, 2003.
- [4] “かな字典叢書 7 高野切字典(第 1 種/第 3 種),” 遙書房編
- [5] 鈴木 雅人, 加藤 寧, 根元 義章, 市村 洋: “重み付き改良型方向線素特徴量による毛筆手書き文字認識手法,” 1997 年 電子情報通信学会 総合大会論文集, D-12-106, Mar. 1997.

(平成 15 年 6 月 19 日 受理)

「伝書鳩」と「戦略ドッチボール」 —第13回プロコンで開発したソフトについて—

小嶋徹也*, 鈴木雅人*, 荒川淳平*, 蛭田雄一*

“E-Pigeon” and “Strategic Dodge Ball”

Tetsuya KOJIMA, Masato SUZUKI, Jumpei ARAKAWA, Yuichi HIRUTA

The 13 th Programming Contest (Procon) was held in Kanazawa on 12 th and 13 th, October, 2002. There are three categories of competitions in Procon ; the tournament of an academic game, the software development according to a theme, and the free software development. Students compete for their abilities of presentation and document description as well as programming. Last year, we won the tournament, and also marked good results in other two categories. In this report, we introduce the software we developed for the tournament and the thematic software competition of the contest.

(Keywords : programming contest, competition, tournament, software development)

1 まえがき

第 13 回全国高専プログラミングコンテスト（プロコン）が，平成 14 年 10 月，石川県金沢市で開催された [1, 2]．プロコンには，トーナメント形式でゲームの勝敗を競う競技部門，与えられたテーマに則ったソフトウェアを開発する課題部門，そして全く自由な発想のもとにソフトウェア開発を行なう自由部門の 3 部門がある．課題部門と自由部門では，プログラムの完成度のみならず，プレゼンテーションやマニュアルなど技術文書作成の能力も審査の対象となる．この大会で，本校チームは，競技部門で全国優勝し，文部科学大臣賞を獲得したのをはじめ，3 部門すべてにおいて好成績を残し，高い評価を得た．本報告では，このうち，競技部門と課題部門で開発したソフトウェアについて，その概要を紹介する．

2 競技部門

2.1 競技ルール

第 13 回大会では，「以心伝心 DNA」という競技が行なわれた．この競技はネットワークなどの情

報通信をモデルにしたもので，DNA を構成する 4 つのタンパク質（アデニン，チミン，グアニン，シトシン）に見立てた 4 色のボールを用いて，いかに正確に，より多くの情報を制限時間内に伝達できるかを競うゲームである．伝達すべき情報は，日本語の文章であり，問題文に使用される文字は 3,760 種ある．このゲームでは，これらの文字の組み合わせで構成される情報（文章）を 4 元の符号を用いて効率良く表現することが要求される．

送信側の選手は，与えられた問題文をコンピュータに入力し，作成したプログラムを用いて，日本語の文字列をボール列（符号語列）に変換する．文章は，通信路に見立てたパイプにボールを投入することで送信される．

一方，受信側の選手は，パイプを通して届いたボール列をコンピュータに入力し，プログラムを用いて文字列に復元する．ただし，図 1 に示すように，ボールはパイプの途中でランダムに抜き取られる可能性がある．したがって，このような情報の欠損があっても，正しく通信が行なわれるための対策を講じる必要がある．また，受信側から送信側への通信路（パイプ）では，ボールが抜き取られることはなく，データの欠損は生じない．

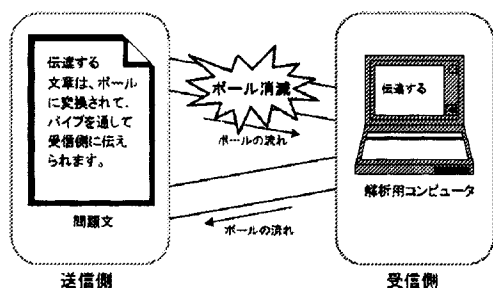


図 1: 競技の概略

この競技の通信モデルと実際の通信環境とでは、大きく異なる点がいくつか存在する。実際の通信環境では、符号は 2 進数（2 色のボールに相当）で表現されるのに対し、この競技では、4 進数（4 色のボールに相当）で表現されている。また、この競技の通信モデルでは、途中でデータが失われる可能性があるのは往路のみであるため、往路と復路では通信品質が全く異なる。

さらに、実際の通信環境と最も異なる点は、通信誤りの生じ方である。実際の通信で生じる誤りは「反転誤り」と呼ばれ、符号の一部の 0 と 1 が反転するというものである。これに対して、この競技の通信において生じる誤りは「同期誤り」と呼ばれ、ボールが抜き取られることで、後ろに続くボール列がその「すき間」を埋めてしまい、正しく通信が行なわれる場合よりもデータが前倒しに早く伝送されてしまう現象である。このことは、一般的な誤り検出や誤り訂正などに用いられる符号が、そのままでは利用できないことを意味している。

2.2 競技戦略

2.2.1 辞書の利用

この競技において戦略的に最も重要なポイントは、文章をいかに効率よく 4 色のボールで表現するかである。

単純な戦略としては、文章を 1 文字ずつ決まった長さのパケット（固定長パケット）にして送信する方法が考えられる。この方法では、ボールが抜き取られた場合、受信パケット長が変化するため、誤り検出が容易である。しかし、文章を送る

際、1 文字ずつ固定長パケットで符号化するため、あまり効率が良いとは言えない。

効率良く伝達するために文章全体を一度に符号化する方法も考えられるが、必ずしも効率的であるとは限らない。なぜなら、通常の符号化技術を用いる場合、伝達する文章に先立って、符号テーブルを受信側に送る必要があるが、このオーバーヘッドは非常に大きく、競技の性質から考えてリスクが大きいからである。また、この競技では連続した文字列の伝達を考える（ストリーム性が要求される）ので、選手が問題文の入力に要する時間やボールをパイプに投入する時間も考慮に入ると、入力が確定するごとに情報が送信できる形態が好ましいと考えられる。

そこで我々は、単語を使用頻度順に並べて辞書に登録し、その辞書を送信側と受信側で共有して、インデックス、すなわち辞書に登録された順番を符号として送信することで、文章を伝達する方法を考案した [3]。我々が用いた辞書には「と思う」や「をする」など、日本語の文章では頻繁に使われるが、通常の辞書には含まれていない、助詞や助動詞を含んだフレーズを含む多様な表現を、それぞれ別個の「単語」と見なして登録してある。さらに、登録されていないフレーズに対応するために、使用可能な 3,760 種の文字もすべて「単語」として登録してある。それぞれの単語（フレーズ）は使用頻度順に登録されており、頻度の高い単語ほど小さなインデックスが与えられている。実際に競技で使用した辞書は、全部で約 350 万文字に相当する日本語の文章を収集し、それをもとに自作プログラムにより自動生成したもので、その単語数は約 270 万語である。このことにより、1 文字ずつ符号化する場合よりも効率的で、かつ文章全体を符号化する場合と異なり、文章の先頭から逐次的に符号語を構成して送信することが可能となる。

2.2.2 可変長パケット

前節で述べたような辞書を用いた符号化法において固定長パケットを採用した場合、伝達効率を高めるために辞書の単語登録数を増やせば、それらのインデックスを表現するにはパケット長を長くせざるを得ない。パケット長を長くすれば、当

然, 伝達効率は低下する. このように, 辞書の単語登録数とパケット長の間にはトレードオフがあり, 思うように伝達効率を高めることは難しい.

そこで我々は, このようなトレードオフを解消し, 伝達効率をさらに高めるために, 可変長パケットを採用することとした [3]. 例えば, 長さ 8 の固定長パケットでインデックス “1” を送信すると, 送信するデータ列は “00000001” となるが, 可変長パケットではデータ列は “1” となり, 長さ 1 の符号で済むため, より少ないボールで効率良く文章を伝達できる. 前述のとおり, 辞書には単語が頻度順に登録されているため, 頻度が高いものほどパケット長が短く, 平均すると, 固定長の場合よりも効率が良いと考えられる.

この方法では, 辞書が固定の符号テーブルの役割を果たしており, 各単語のインデックスを 4 進の可変長符号で符号化したものとなっている. 実際には, 1 色のボールを単語 (パケット) 間の区切り記号として使用し, 残りの 3 色を用いて, 各インデックスを 3 進数で符号化する方法を採用する.

2.2.3 誤り検出

通信の途中で失われた情報を復元する方法として, 符号の冗長ビットを利用して受信側において誤り訂正を行なう方法と, 受信側で誤りを検出して送信側に再送要求を出し, 送信側から再送する方法の 2 つが考えられる.

まず, 受信側で誤りを訂正する方法について考える. この競技において往路で発生するような, データ欠損による同期誤りを訂正する誤り訂正符号も考えられないわけではない. このような誤り訂正符号では, 一般に情報ビットに誤り訂正を行なうための冗長ビットを付加する. しかし, この競技における競技時間と誤りの発生頻度を考慮した場合, 誤り訂正符号の冗長分が伝達効率に及ぼす影響は大きく, 短時間で多くの情報を確実に伝送するためには現実的とは言えない.

次に, 受信側で誤りを検出する方法だが, 可変長パケットを用いた場合, 誤りの検出自体が非常に困難で, 正確にボールの抜け落ちた箇所や個数を検出しようとすれば, 上述の誤り訂正の場合と同様に, 誤りを検出するために非常に長い冗長ビットを付加せざるを得ない. また, 再送を要求する

際には, 受信側の選手が再送要求のパケットを受信済のボールを用いて作成してパイプに投入しなくてはならず, 人間による手作業が複雑になり, 遅延が非常に大きい上, 人為的ミスが生じる可能性も高くなる.

これらに対し我々は, 受信側で受信したボール列をそのままフィードバックして送信側に送り, 送信側で誤りを検出して, 抜け落ちた分のボール列を再送するという方法を考案した. この方法では送信側で送ったボール列を送信履歴として記録しておき, 受信側から返ってきたボール列と比較すればよいので, 極めて正確かつ容易に誤りが検出でき, また, 欠損分のみを再送することができるので, 伝送効率が高く正確な情報伝送が維持できる.

2.2.4 最長優先マッチング

今回, 我々が用いた辞書では, 助詞などを含んだフレーズも一つの単語と見なして登録しているため, 一つの文を符号化する場合でも, 非常に多数の符号語列の候補が存在する. したがって, 一つの文に対応する膨大な数の単語の組み合わせの中から, 最も効率の良い一つを選択しなければならない. この問題に対し, 総当たりで最適解を探索することもできるが, 我々は, 与えられた問題文に先頭から最長で一致する単語を優先的に選び, 組み合わせを絞り込む方法を採用した. これにより, できるだけ長い単語を一つのパケットとして送信することができ, 限られた競技時間の中で, 効率的かつシームレスな通信が可能となる.

2.3 実装と評価

2.3.1 実装

前節で述べた戦略を実現するために, 我々は Java と Perl を使用して, 以下の 5 つのプログラムを作成した.

- (1) 入力プログラム
- (2) 送信プログラム
- (3) 受信プログラム
- (4) シミュレータ
- (5) 辞書作成スクリプト

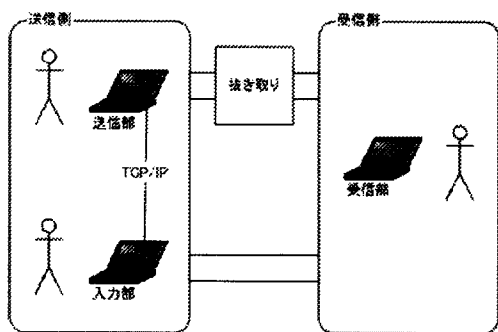


図 2: プログラムと選手の配置

これらのうち、(1) — (3) が実際の競技の際に使用したプログラムで、(4) のシミュレータは、準備段階で符号案を検証する際に、(5) は辞書を作成する際に、それぞれ使用したプログラムである。(1) — (3) の各プログラムと競技エリアにおける選手の配置を図 2 に示す。

入力プログラムは図 3 に示すように、与えられた問題文を入力する画面と、フィードバックされて戻ってきたボール列を入力する画面の 2 つから構成されている。それぞれの画面の上部が現在入力中の情報を、画面の下部が入力が確定した情報を示している。問題文を入力すると、プログラムは文章を符号化し、送信すべきボール列を LAN 接続された送信部の PC で動作する送信プログラムに伝える。文章入力画面では、選手が誤った入力をしてしまった場合を考えて、入力確定後の文章の削除、挿入、置換の機能も提供している。また、受信側からフィードバックされてきたボール列を入力すると、送信履歴と照合して誤り検出を行ない、再送すべきボール列を送信プログラムに伝える。

送信プログラムも、図 4 に示すように、画面が上下 2 つの部分に分かれている。画面の上部には、入力部から受け取った送るべきボール列と、ボールの投入回数を表示する。投入回数を表示することで、2 回連続して同じボール列を送信する際に、紛らわしくならないようにすることができる。また、画面の下部には、今までに送信したボール列の履歴を表示する。送信部の選手は、画面上部に表示されるボール列を見て、その通りにパイプに投入し、再び次に送るべきボール列を見る、という作業を繰り返す。

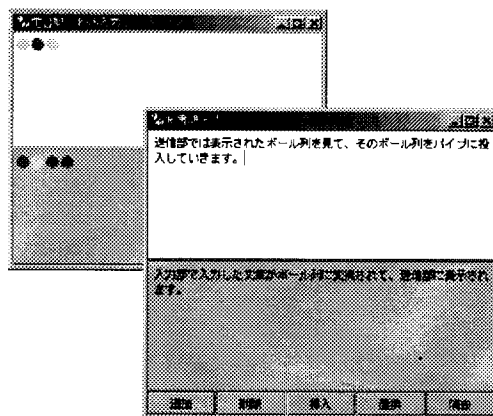


図 3: 入力部画面

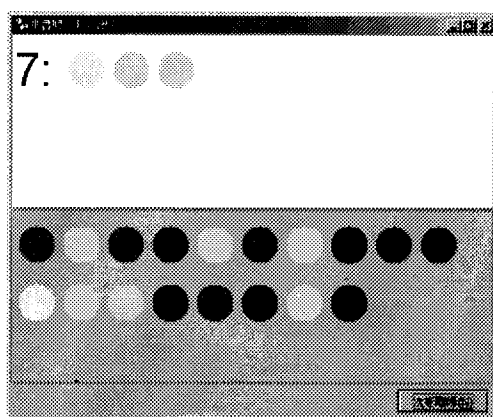


図 4: 送信部画面

受信プログラムは図 5 に示すように、送られてきたボール列を入力する画面と、入力されたボール列を元に文章を表示する画面の 2 つから構成されている。送られてきたボール列を入力すると、辞書をもとにボール列を復号化して、元の文章を表示する。また、送られてきたボール列が再送情報だった場合、自動的に再送分を反映させた文章に更新する。

シミュレータは、競技環境をコンピュータ上で仮想的に再現するプログラムで、ボール列の伝播や抜け落ちなどの動作をシミュレーションするものである。このプログラムの実行画面を図 6 に示す。

辞書作成スクリプトは、文章収集スクリプト、単語切り出しソートスクリプトの 2 つから構成される。文章収集スクリプトは、インターネットから大量の日本語文章を収集して、一つのファイルに書

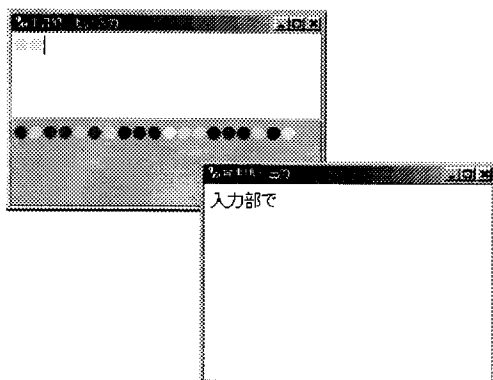


図 5: 受信部画面

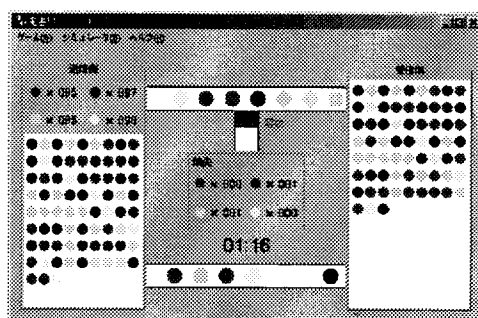


図 6: シミュレータ画面

き出すもので、新聞の記事を中心に約 350 万文字を集めた。単語切り出しソートスクリプトは、文章収集スクリプトが作成したファイルを元に、文章を単語単位に切り出して統計を取り、出現頻度の高い順にソートして一つのファイルに書き出すものである。この単語切り出しソートスクリプトによる出力ファイルが、我々が利用した辞書に他ならない。

2.3.2 評価

上述のシミュレータなどを利用して、単純な 1 文字ずつに対する固定長パケット方式による符号化法と、我々の考案した辞書を用いた可変長パケット方式による符号化法との伝達効率の比較を行なった。

1 文字当たりのボール数を考えた場合、固定長パケット方式では、 $3^7 < 3670 < 3^8$ より、1 文字を一律 8 個のボールで表現することになる。これに対し可変長パケット方式では、使用頻度の高い

字種ほど少ないボール数で表現できるので、一般的な日本語の文章における字種の頻度分布を考慮に入れると、1 文字を約 3.76 個のボールで表現できることが分かった。なお、ここで字種の頻度分布としては、辞書作成に使用した 350 万文字に関する標本分布を求めて用いた。

上の検討の結果、1 文字当たりの比較で既に 2 倍以上の差が生じているが、我々の方式では辞書を用いて単語単位で文章を伝達するため、1 文字当たり 3.76 個という数値は、伝達する文章中に辞書に登録されている単語で 2 文字以上のものが一つも存在しなかった場合のものであり、いわば最低の伝達効率である。実際には、我々の辞書の単語数は非常に多く、与えられた文章中のフレーズと一致する割合も高いため、固定長パケットによる場合と比較して、はるかに伝達効率が高いと考えられる。

以上に述べたような戦略で競技に臨んだ結果、我々のチームは非常に高い通信効率を実現し、第 13 回プロコンにおいて全国優勝を果たし、文部科学大臣賞を受賞した。

3 課題部門

3.1 戦略ドッジボールの概要

第 13 回大会の課題部門は「スポーツとコンピュータ」というテーマで、各チームがオリジナルのソフトウェアを開発し、しのぎを削った。我々は、「楽しく簡単に遊べる新感覚スポーツ」をテーマに掲げ、近年注目を集め、かつ一般に良く知られている「ドッジボール」に戦略性を要する新ルールを加えることにより、これまでに無い全く新しい球技を考案した。

この「戦略ドッジボール」はコンピュータゲームではなく、また、ドッジボールの戦略を支援するソフトウェアでもない。あくまで、子供から大人まで楽しめることを目指した新しいスタイルのスポーツである。「戦略」という名称は、通常のドッジボールとは異なり、チームの団結力に加え、心理的な駆け引きによってゲームの勝敗が大きく左右されることに由来している。

ドッジボールをはじめとして、通常のスポーツはコンピュータなど用いることなく、人間と少し

の用具のみでプレーを行なうことができる。一方、「戦略ドッジボール」では戦略性を高める新しいルールを追加したことにより、ゲームの進行管理が若干複雑になり、スムーズに試合を進行するためには、コンピュータなどによる得点の計算や試合状況の管理が必要となった。このように、「戦略ドッジボール」は、実際に人間がフィールド上でプレーする球技でありながらも、コンピュータの存在が試合の進行において必要不可欠であるという点で、まさに近未来的な新感覚スポーツであるということができる。

今回製作したシステムは、この新しいスポーツを支援するためのソフトウェアであり、選手や審判が少々複雑なルールを意識することなく、スムーズにゲームを進行し、楽しむことができることを目的としている。

3.2 ゲームのルール

3.2.1 基本的なルール

戦略ドッジボールのルールで、通常のドッジボールと同じ点は以下の通りである：

- (1) コートの形状は長方形で内野と外野に分かれている。
- (2) 2 チームに分かれてプレーを行なう。
- (3) ボールを当てられた内野選手は外野に出なくてはならない。

ただし、以下に挙げる点は、通常のドッジボールと全く異なる：

- (1) キャプテン以外は、自分がどちらのチームに所属しているのか、ゲーム開始時に知らない。
- (2) あらかじめ、選手一人一人にそれぞれ固有の点数が割り振られている。
- (3) 内野コートでボールを持っている選手以外は、内外野の境界線を越えなければ、自由に移動できる（図 7）。
- (4) 内野コートの一方に選手が固まり、かつ内野にボールがある場合、ゲームを先に進めるために、外野にボールを渡すこととする。

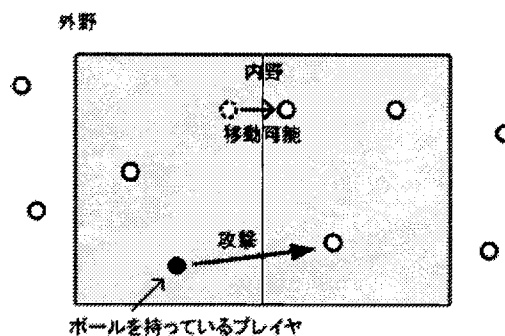


図 7: 選手の動き

3.2.2 ゲームの流れ

戦略ドッジボールの試合を開始する前に、いくつか行なうべき作業がある。ここでは、それらを含め、ゲーム終了までの流れについて説明する。なお、審判は主審と副審の 2 名がおり、パソコンは副審が操作する。

ゲームの流れは以下の通りである：

- (1) キャプテン（代表者）2 名は、副審のところへ行き、コンピュータに選手を登録する。
- (2) コンピュータが自動でチーム分けを行ない、各選手に背番号が渡される。背番号は、チームごとに分けず、すべて通し番号とする。
- (3) キャプテンは、チームのメンバそれぞれに固有の点数を任意に割り振り、コンピュータに入力する。1 チームで割り振ることのできる点数はあらかじめ決められている。
- (4) コンピュータが自動的に初期の内野選手と外野選手の割り振りを行ない、これに従って、各選手はそれぞれ内外野に散らばり、試合を開始する。
- (5) 以下の条件のいずれかが満たされるとゲームが終了する：
 - (a) 試合経過時間が 7 分に達する。
 - (b) 一方のチームの内野選手の人数が 0 人となる。

3.2.3 得点とゲームの勝敗

通常のドッジボールでは、内野の人数が 0 人となったチームの負けとなるが、戦略ドッジボールでは、得点の概念を導入しており、ゲームの勝敗も

得点により決定される。特に、ボールを当てたとき、必ずしも得点が加算されるわけではなく、減点もあり得る点が特徴的である。すなわち、

- (1) ボールを当てた相手が敵ならば、当てられた選手に割り振られた点数が自チームの得点に加算される、
- (2) ボールを当てた相手が味方ならば、当てられた選手に割り振られた点数がペナルティとして自チームの得点から減算される、

という規則に従い、得点が随時増減する。

各選手は試合開始当初、自分がどちらのチームに所属しているか知らないため、誰が味方で誰が敵であるのか判別できない。しかし、ゲームが進むにつれ、得点の経過により、これらの状況を徐々に推理できるようになる。したがって、むやみにボールを当てるのではなく、誰にボールを当てるべきか考えながらプレーを行ない、誰がどちらのチームに所属しているのか、早い時点で正確に把握することができれば、有利に試合を進めることができる。展開によっては、敵を欺くような戦略を立てることもでき、心理戦としての楽しみも生じる。

最終的なゲームの勝利チームは、合計点数で判断され、得点の高いチームの勝ちとなる。加点と減点があるため、通常のドッジボールと異なり、内野の選手がいなくなってしまったチームの方が勝ちとなるケースも十分にあり得る。

3.3 システム概要

ドッジボールのような球技においては、試合の進行が滞ることなく、スムーズにプレーできることが重要である。3.2.3 節で述べたように、戦略ドッジボールでは、加点と減点があり得るため、複雑な得点計算や試合状況の管理を行わなければならない。そのため、コンピュータを導入したとしても、審判が試合を中断することなく、容易に操作を行なえる必要がある。そこで我々は、得点の計算や試合の状況などの管理をブラックボックス化し、審判の入力インターフェースはできるだけ簡素にするよう工夫してシステムを開発した。

本システムは 2 種類のソフトウェアからなり、



図 8: ハードウェア構成図

図 8 に示すように、パソコンを 2 台用いる。一方は試合進行の管理を行なうアプリケーションであり、選手登録、チームの割り振り、点数の割り当ておよび得点管理を行ない、もう一方は得点の表示を行なう。

試合進行管理用のアプリケーションは審判専用のソフトウェアであり、各チームのキャプテンが選手に点数を割り当てるとき以外は、審判（主審、副審）以外、操作することも見ることもできない。主審は誰が誰に当てたというデータ（ヒットデータ）を副審に告げ、副審はそれをパソコンへ入力する。このとき、副審が入力するのは背番号だけであり、また、操作はテンキーから簡単に行なうことができる。このことにより、副審はゲームの進行を妨げることなく、リアルタイムに入力操作を行なうことができる。試合中における審判用の入力画面を図 9 に示す。

一方、得点表示用のアプリケーションは、得点板の役割を果たす。このプログラムは、図 8 のように、試合進行管理用のアプリケーションが動作する PC と LAN 接続された別の PC 上で動作し、計算された両チームの得点を表示する。可能ならば大型のディスプレイに表示するのが望ましい。試合中の得点表示例を図 10 に示す。この図のように、チームの得点が負になる場合もあるため、通常の得点板では十分に対応できないことに注意されたい。

3.4 展望

今回考案した「戦略ドッジボール」は、パソコンとボールがあれば、いつでもどこでもプレーすることが可能であり、学校や職場など、さまざまな環境で楽しむことができる。また選手相互の信頼感や記憶力も勝敗の行方を左右し、運動神経の良し悪しがあるまま勝敗に結びつくとは限らない。

音源追尾型 4 輪移動ペットロボットの開発

小坂敏文*, 水越昭洋***, 吉野かの子***, 吉本定伸*, 西村 亮*, 松林勝志**

Development of a Four-Wheel Pet Robot Pursuing Sound Source

Toshifumi KOSAKA, Akihiro MIZUKOSHI, Kanoko YOSHINO,
Sadanobu YOSHIMOTO, Makoto NISHIMURA, Katsushi MATSUBAYASHI

In order to develop a kind of pet robot, the four-wheel robot has developed. It can move to any directions and can rotate about its own center with only the four special wheels called Omni-wheels. In addition, it has four small microphones so that it can detect the sound and move to the sound source. With the technique of cross co-relation and sound source searching algorithm, the robot can pursue the sound source.

For entertainment the robot, that is named “Robot-kun”, moves its arms and blink its eyes.

In this report, the details of the robot are introduced and how it pursues the sound source is mentioned.

(Keywords: Robot, Microphone, Sound Source)

1. はじめに

産業用ロボットが実用化されて以来, 多くのロボットに関する研究が盛んである。ヒューマノイドの開発等アミューズメント分野でのロボット開発も盛んに行なわれている。この報告では, 八王子市子ども科学館展示用を目的に, 人と遊ぶペットロボットを目指して, 音源を追尾するロボットを製作したので報告する。

この開発は, 移動できる 4 輪台車ロボット, ロボット車輪駆動用モータ制御技術, 複数マイクロフォンを用いた音源方向探知技術とモータ駆動技術, LDE 同時駆動技術, マイクロコンピュータ技術を複合させたものの作り教育の一環である。

なお, ここで用いた技術は本校に技術蓄積し, ロボットコンテスト等での使用がいつでも可能な状態にしておくこととした。また本報告は学生がロボット設計を行なう際の指針となるよう仕様設定から段階的に詳細設計に移る様子を示す手本となるよう心掛けることとした。また, もの作りに関して詳細な事項は紙面の関係でかけないので, これは Web サイトに掲載することとした。

2. 音源追尾型ペットロボットに必要な仕様

音源追尾型ペットロボットに必要な仕様を次のように考える。

- (A 1) 自由な方向に直進運動が出来る。
- (A 2) ロボットの重心を中心とした自転が出来

る。

(A 3) 音源方向を探知できる。

(A 4) 自立型ロボットとして動作し, 電源供給ラインおよび操縦のためのケーブルを引きずらない。また一度の充電で 1 日中, 動作ができる。

(A 5) ロボットが階段から落ちないようにセンサをつける。

(A 6) LED を集合させた目を持ち, 点滅させ, 情報伝達できる。

(A 7) 両腕をそれぞれ回転させることができる。これは遊び心である。

(A 8) 4 本の「つの」を上下に駆動できる。これも遊び心である。

また付加的な仕様として次のことを満たす。

(B 1) 音源追尾動作を行なうモードとメインテ



図 1 オムニホイルの外形図
(株) 富士製作所…オムニホイルカタログより

*情報工学科, **機械工学科, ***情報工学科卒業生

ナンス用遠隔操作モードの 2 つを使い分けて動作できる

(B2) 遠隔操作モードでは有線通信を用い、コントロールボックスを作る。

このような仕様にに基づき、段階的に設計を進める。

3. 音源追尾型ペットロボットの基本構想

必要な仕様を踏まえた上での基本構想を次のように定める。

(1) 自由な方向への直進運動、自転運動を確保し、ロボットの重心位置に左右されない動作を行ない、倒れない安定性を確保するため、4 輪駆動とする。またモータ駆動系を単純化するため 4 輪操舵 4 輪駆動方式でなく、オムニホイール (図 1 に示すような、車輪進行方向には進行させる力を伝えるが、それと垂直方向には力を伝えない車輪) 4 輪駆動型を採用する。またモータ駆動はモータドライバモジュールを用い PWM 指令値を与えることとする。

(2) 音源方向探査のため、冗長だが 4 個のマイクロフォンを水平面に置く。4 個のマイクロフォンはお互いの距離をできるだけ遠くにおきたいため、正方形の各頂点に設置する。

(3) 充電を含むメンテナンスが簡単なため、自立動作のための電源は 1.2V 鉛蓄電池を用いる。充電用接続端子は、本体後ろ下部に設ける。

(4) 4 つのマイクロフォンからの 4 つのアナログ信号の処理、モータドライブのための PWM 動作、モータ・LED ドライブのための ON/OFF 動作、赤外線距離センサのためのビット入力、通信

のため、マイクロコンピュータを利用することとし、4 個以上の AD コンバータ、4 個の PWM 発信機能を内蔵したマイクロコンピュータ日立 H8-3048 を用いたシングルボードマイクロコンピュータ AKI-H8 を制御のためロボットに搭載することとする。マイクロフォンはロボット頭部の音の反射の影響を減少させる目的で、頭部につけたフレキシブルチューブの先に取り付ける。フレキシブルチューブにするのは展示の際の安全性確保のためである。

(5) 駆動用車輪の全部に、下向きの赤外線距離センサを付け、常に地面との距離を測定しているようにする。距離センサの出力はアナログコンパレータで、通常距離を示す閾値と比較され、通常以上の距離が検出されたら、危険な段差を発見したことにする。アナログコンパレータ出力は μ コンピュータへのビット入力へつなぐ。

(5) 目は 8 直列 $\times$ 3 並列の LED を 1.2V で駆動し、 μ コンピュータのビット出力で動作する。

(6) 腕は両側が独立に回転するようにし、1.2V で駆動し、 μ コンピュータのビット出力で動作する。

(7) 「つの (ぼこぼこ)」は頭部に 4 本付け、2 本 1 組で上下動を行なえるよう、1.2V 駆動の直動アクチュエータを用い、 μ コンピュータのビット出力で動作する。

(8) メインテナンスのための遠隔操縦を可能とし、リモコン接続を自動で判断し、音を受け付けないようにする。リモコン接続端子は本体後ろ下部に設ける。

(9) デバッグ・調整用に、デバッグモードを設け、マイクロフォン感度調整、音到来報告計算値表示、段差センサ出力信号表示を行なえるようにした。デバッグモードでは、RS232C 信号を用いて、HostPC の terminal ソフトウェアに表示させるようにする。

(10) 危険回避のため、頭頂部に電源スイッチを付け、緊急停止できるようにする。

4. ロボット概要

前項の仕様を満足させるため、図 2 に示すような全体構想とする。なお、外観仕様は、エンジニアの領域を越えるため、専門家に任せることとした。またカウル部はメンテナンス性を考慮し、上部、下前部、下後部の 3 構成とした。

5. ロボット本体の CPU の動作

ロボット本体の CPU への入力はいくつある。一つはリモートコントローラ接続を検知し、操縦者が押したリモートコントローラのボタンを検出する

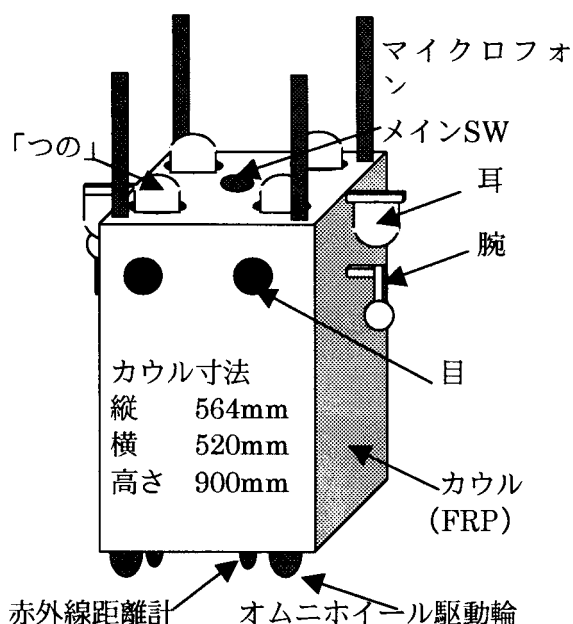


図 2 音追尾ロボットの全体構想

ことである。これは各ボタンに割り当てた、直進動作、自転動作あるいはデモンストレーション等の操縦者の意図を受け取る機能である。もう一つは4つのマイクロフォンからの信号から、音源を感知し、その方向への移動を可能にする機能である。

残りの1つは赤外線距離計からの信号がある閾値をとの比較を検出するビット入力で、左右2つある。

マイクロフォンからの音響信号は片電源仕様オペレーショナルアンプを用いた 60dB 増幅回路および H8CPU に内蔵された AD 変換器によってデジタル化し、音源方向感知が行なわれる。音源方向が感知されたら、ロボットは一定時間(数秒)音源方向に向かって移動し、停止後、次の音源方向探索を行なうようになっている。

移動用モータは4個あり、H8CPU が持つ PWM 駆動モジュールにより、正転逆転両方向に対して PWM 駆動制御が出来る。PWM 制御とは指令値が ON・OFF の2値だけでデューティ比によってモータ駆動を行なう制御である。正逆転の PWM 指令値はモータドライバユニットにより、電力増幅され、モータを駆動することになる。

腕駆動用モータは2つあり、H8CPU の持つビット出力により駆動される。

目の LED は2系統あり。同じく H8CPU の持つビット出力により駆動される。

「つの(ぼこぼこ)」駆動用モータも2系統あり。同じく H8CPU の持つビット出力により駆動される。

6. 4個のマイクロフォンによる音源感知

水平面内に分布した4つのマイクロフォンを用いると、同一水平面内の遠方から音波が到来すると、その方向によりマイクロフォンへの到達時間に一定のずれが生ずる。このずれを利用すると音

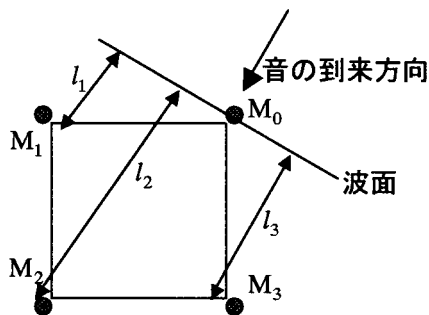


図3 4つのマイクロフォンに平面音波が到来した時の行路差の例

波の到来方向すなわち音源方向がわかるはずである。ずれの認識には信号処理の分野で言われる相互相関関数を用いる。

図3に示すように同一平面内に置かれた4つのマイクロフォンに、平面音波が到来すると、幾何学的に定まる6個の行路差が生ずる。4つのマイクロフォンでとらえられた4つのサンプリングデータ列の組み合わせで定められる6個の相互相関関数で、最大値を与える m_{MAXij} は行路差に依存している。

本ロボットでは、音の到来方向分解能を45度とした。そして、理論的に到来角度を $k\pi/4$ (ただし $k=0,1,2,3,4,5,6,7$) として最大値を与える m_{kij} を算出して置き、評価値

$$J = \sum_{ij} r_{ij}(m_{kij})$$

が最大を持つ方向 k を音の到来方向と考えるというアルゴリズムを採用している。

7. マイクロコンピュータによる制御

マイクロコンピュータによる制御部分ハードウェアを図4に示す。同時にこれだけのハードウェアを制御することになるため、擬似的なマルチタスク制御を行なっている。各ハードウェアに対応したタスクは常に起動しており、音を捉えたり、段差を発見したりする刺激が、各タスクにメッセージとして配布され、各タスクは今何をしなければならぬかというプログラムに記述された仕事を行なっている。

8. 製作した音源追尾型ロボットの動作

製作した音源追尾型ペットロボット(図5参照)の性能を検証した。

(1) 後方および側方で手をたたくことにより、その方向を目指して自転したり、前方で手をたたくとジグザグ前進を行うことが出来た。

(2) 階段などの段差に対して、回避行動を行なうことが出来た。

(3) 音の到来方向が分からない時は目を点滅させたり、腕を回したり、「つの(ぼこぼこ)」をウェーブさせたり出来た。

(4) デバッグ・調整時には通信機能で HostPC にデータを表示しながら、うまく調整が出来た。

(5) 一回の充電で1日中動作が出来、科学館内では手のかからない展示物となっている。

9. まとめ

音源追尾型ペットロボットを製作し、音源追従動

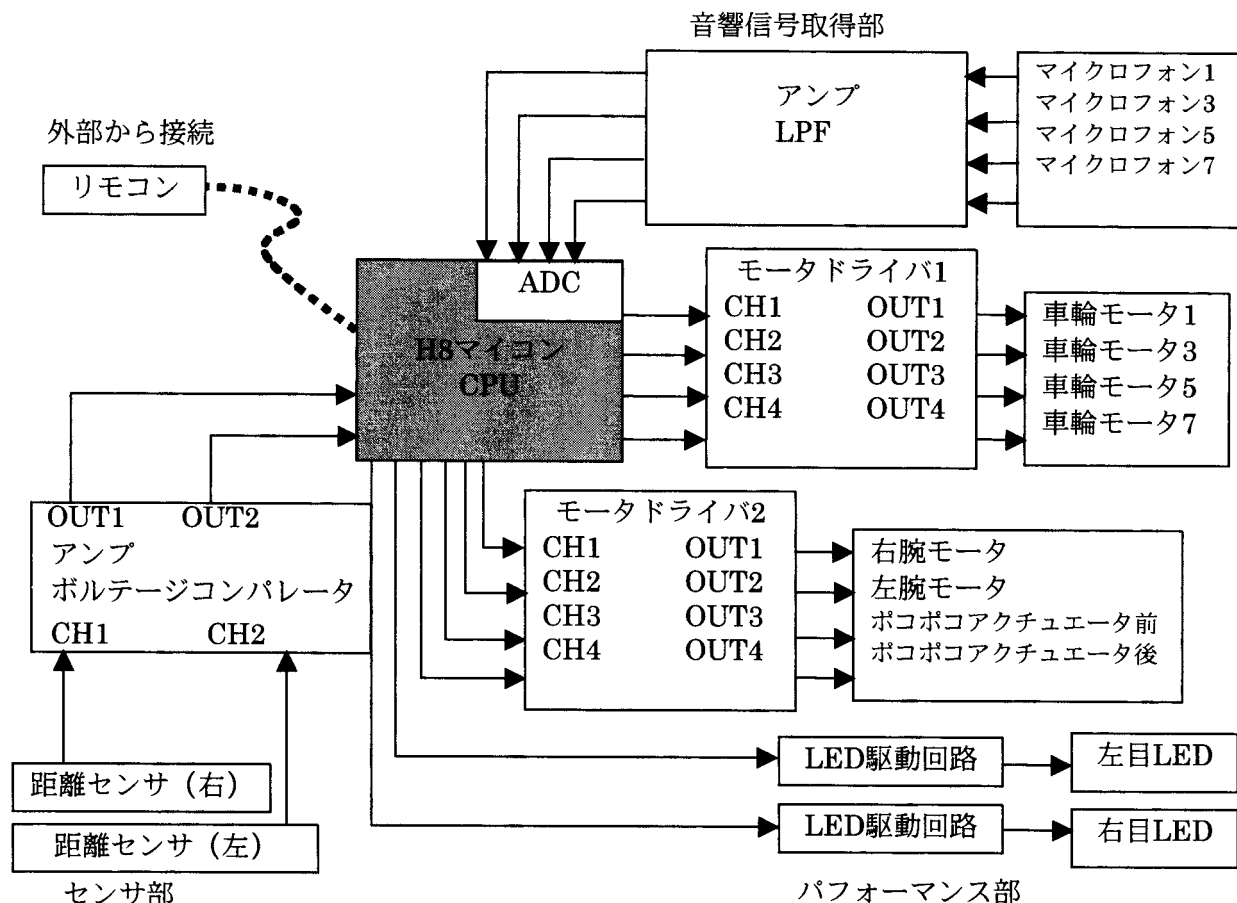


図4 マイクロコンピュータによるペットロボットの各部の制御（ハードウェア）

作および各種パフォーマンスを確認した。所定の仕様を満足し、八王子市子ども科学館に納入され、本稿時点で6ヶ月稼動状態にある。

謝辞

このペットロボット製作に当たり、次の方々のご力を得ました。ここに記して感謝いたします。

外装製作 墨田加工株式会社 鈴木洋一氏
 外装製作 (有) 造研 (八王子市) 齊藤忠明氏
 外装デザイン 東京芸大博士課程 淡野哲氏
 製作協力 東京芸大 今井大氏
 展示会場 サイエンスドーム八王子 西村徹氏

参考文献

- 1) HITACHI: H8/8048F ハードウェアマニュアル
- 2) 小坂他, 音源追尾型4輪移動ロボットの開発, 東京高専研究報告書第34号(1), pp41-44, '02. 9

(平成15年6月19日 受理)

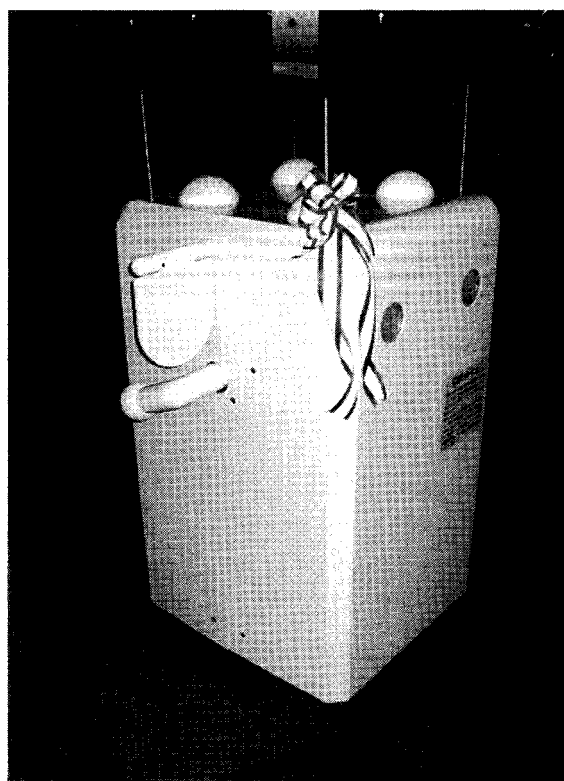


図5 八王子市子ども科学館に納められたペットロボット「ロボット君」

家庭用電子レンジを用いた酸化物高温超伝導体の作製

土屋賢一*, 森久保昌洋**, 立松賢治**

Preparation of High-Tc superconducting oxide by domestic microwave oven

Ken-ichi TSUCHIYA, Masahiro MORIKUBO, Kenji TATEMATSU

A decade ago, it was found that CuO was a strong absorber of 2.45 GHz microwave by the domestic microwave oven. In this study, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ high-Tc superconductors were produced by using domestic microwave oven. A pellet of 10 g was irradiated in 26 minutes at the electric power-level of 200 W. After the irradiation, temperature was controlled to reduce from 250°C to 40°C gradually in 60 minutes by using electric oven attached in the irradiation room. This process gave high-Tc superconducting oxides successfully and repeatedly.

(Keywords: Superconductivity, High-Tc)

1. はじめに

Baghust[1]によれば、CuO に家庭用電子レンジを用いて 2.45GHz のマイクロ波を照射すると、CuO はマイクロ波をよく吸収し、1 分後には 550°C 以上になるという。したがって、CuO を原料の 1 つとする $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 高温超伝導体を家庭用電子レンジを用いて作製することができる。従来の電気炉による焼結においては 24 時間以上の時間がかかっていたが、この方法によれば、数十分で焼結が完了するため、メリットは大きい。

本研究では、Baghust の方法に加えて、冷却方法に工夫した Katoh らの方法[2]に従って実験を進めた。しかし、この方法でも冷却が急激なため、さらに電子レンジについているオーブンを使用しながら冷却する方法を開発した。これによって、ある程

度再現性のある素子の作製が可能となった。

2. 実験手順

本実験では、Katoh ら[2]の方法に従って Fig.1 に示すようなアルミナるつぼに入れた原料を、電子レンジ (MITSUBISHI RO-21, 2002) 内に入れ、出力 200W、周波数 24.5GHz のマイクロ波を照射して酸化物高温超伝導体を作製する。

原料としては Y_2O_3 , BaO, CuO を用いた。これらを Y, Ba, Cu のモル比が 1:2:3 となるよう精秤して 10 g とし、よく混合した後プレス成型してペレットとする。これを Katoh らの方法[2]に従って、Fig 1 のような二重構造のるつぼに入れて照射を行う。これにより、照射後の急な熱リークを抑えられる。冷却後室温でマイスナー効果を確認し、超伝導性を調べる。

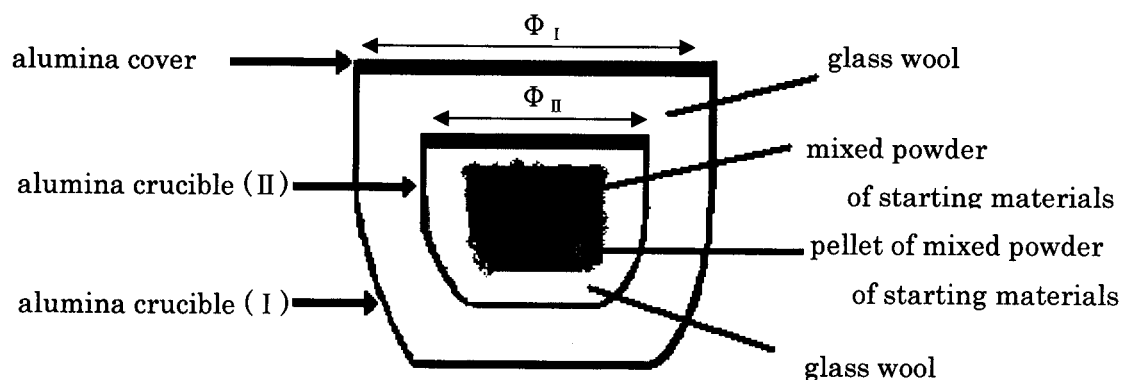


Fig.1 Schematic sketch of the sample environment

3. 結果及び考察

Table 1 に示す結果を見ると、照射時間 20 分、攪拌時間 30 分で焼結された素子 No.2, No.5 だけが超伝導性を示しているが、その他の場合は超伝導性を示さない。No.2, No.5 以外は二つに割れたり、表面がやわらかかったり、一部が緑色に変色して不均一であったりした。これらの事は攪拌時間を 45 分に増やしても同じであった。この原因

は加熱後の冷却が急すぎたためと考えられる。

そこで冷却速度を遅くするためにアルミナるつぼを大きなものに替え、周りを覆う混合粉末の量とガラスウールを増やして素子を作製した。これに伴い、照射時間も少し長くした。また、攪拌時間も長めに取った。その実験結果を Table 2 に示す。

Table 1 Results for the Small Crucible*

Sample No.	Irradiation Time [min]	Mixing Time [min]	Meissner Effect	States of the Surfaces
1	23	30	×	large crack
2	20	30	strong	small crack
3	20	30	×	split into two pieces
4	20	30	×	soft
5	20	30	weak	large crack
6	20	30	×	partially turn to green
7	20	45	×	split into two pieces
8	20	45	×	partially turn to green
9	20	45	×	soft
10	22	45	×	soft

* $\Phi_I=42\text{mm}$, $\Phi_{II}=82\text{mm}$

Table 2 Results for the Large Crucible *

Sample No.	Irradiation Time [min]	Mixing Time [min]	Meissner Effect	States of the Surfaces
11	25	60	×	split into two pieces
12	27	60	×	partially turn to gray
13	25	60	×	many cracks
14	26	60	×	shrunk, metallic gloss
15	27	60	×	shrunk, metallic gloss
16	26	60	×	partially turn to green
17	26	75	×	split into many pieces
18	30	75	×	partially turn to gray
19	30	75	×	partially turn to gray
20	27	75	×	large crack, shrunk
21	25	75	×	partially turn to green
22	25	90	×	many cracks
23	25	100	×	soft
24	26	100	×	split into many pieces

* $\Phi_I=126\text{mm}$, $\Phi_{II}=82\text{mm}$

Table 2 を見るとすべての素子が超伝導性を示さなかったことがわかる。この原因として、原料の攪拌が不十分である事や、冷却速度が速すぎる事が考えられる。この場合素子の一部が緑色や灰色になり、割れてしまった。また、周りを覆う粉末に一度使用した混合粉末を利用して作製した素子 No.14,15 は他の素子とは明らかに違い、素子のサイズが焼結前の半分となり金属光沢が見られた。しかしマイスナー効果は確認できなかった。これらの事よりアルミナるつぼを大きな物に換えても、あまり大きな効果はなかったと言える。

そこでさらに冷却速度を遅くする事を試みた。また、混合時間をより多くとることでペレットの組成を均一化して素子を作製した。さらに、素子を置く位置を混合粉

末の中央から下方に変えた。その実験結果を Table 3 に示す。これを見ると照射時間 26 分、攪拌時間の約 100 分の場合、すべての素子が超伝導性を示している事がわかる。これは混合時間を長くしたことでペレットの組成が均一となった事によると思われる。また、素子の位置を下方に変えオープンを使用したことで冷却速度が遅くなり、ヒビも小さくなった。この方法は、ある程度再現性があると言える。

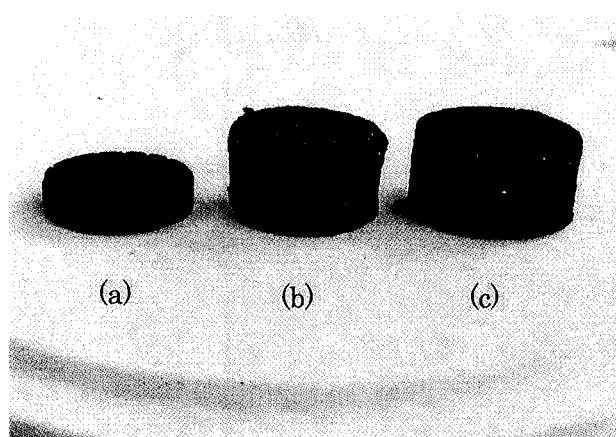
最後に、出来上がったサンプルの写真を Fig.2 に示す。(a)は電気炉を使用し作製した素子、(b)及び(c)は電子レンジを使用し作製した素子の成功例と失敗例である。

Table 3 Results for the Large Crucible* with Applying Electric Oven

After the microwave irradiation, temperature is controlled to reduce from 250°C to 40°C gradually in 60 minutes by using electric oven attached in the irradiation room.

Sample No.	Irradiation Time [min]	Mixing Time [min]	Meissner Effect	States of the surfaces
25	26	100	strong	uniformly black
26	26	110	strong	uniformly black
27	26	100	strong	partially turn to green
28	26	105	strong	large crack
29	26	100	strong	uniformly black
30	26	110	strong	uniformly black

* $\Phi_I = 126\text{mm}$, $\Phi_{II} = 82\text{mm}$

**Fig.2 High-Tc superconducting oxide**

- (a) successful pellet by electric furnace
- (b) successful pellet by microwave oven
- (c) unsuccessful pellet by microwave oven

Fig.2 見ると電気炉で作製した素子に比べ電子レンジで作製した素子の方がヒビが大きいのがわかる。原因は焼成後の冷却が速いからである。また成功した素子と失敗した素子では成功した素子の方が色が灰色に近くサイズが少し小さくなっている。

4. 結論

家庭用電子レンジを使用し高温超伝導体を短時間で作製することができた。その際、大きなるつぼを用い、さらに、電子レンジに付いている電気オーブンをを用いる事によってマイクロ波照射後の冷却を十分緩やかにすれば、ある程度安定的に超伝導体を作

成できる事がわかった。

References

1. D.R.Baghust, A.M.Chippindale and D.M.P.Mingos, "Microwave Synthesis for Superconducting Ceramics",
Nature, **332**(1988)331
2. M.Katoh, K.Sakakibara and Y.Koike,
"Rapid Synthesis of Y- and Bi-Based High-Tc Cuprates by Microwave Irradiation"
Applied Superconductivity, **5**(1997)
311

(平成15年 6 月 3 日 受理)

合成樹脂コーティングによる配管内面の粗度の改善

石井 宏幸*, 高見 太郎**

Roughness Improvement of the Pipe Inside Surface Covered with the Synthetic Resin

Hiroyuki ISHII, Taro TAKAMI

Pipe inside surface has been covered with the synthetic resin for water pipe, and so on. By means of this treatment, pipe inside surface is prevented from erosion and corrosion. Moreover, the pressure drop of pipe can be reduced. On the other hand, the synthetic resin for high performance has been developed. In this work, the evaluation of the pipe inside surface covered with synthetic resin was investigated from roughness factor, pressure drop of pipe and roughness measurement of pipe inside surface.

(Keywords: synthetic resin, roughness factor, friction factor, pressure drop)

1. 緒言

海水配管などの内面に合成樹脂などによってコーティングすることは、以前より実施されてきた。その目的は、①配管内面のエロージョン・コロージョン対策による配管の延命化並びに保全費低減、②滑らかな配管内面にすることによって配管圧力損失を小さくする（エネルギーロスを最少とする）為であった。このような施工方法が現在、上下水道配管をはじめ、各種の配管内面にも展開されており、更に内面に塗られる高性能な樹脂の開発が行われている。

そこで、配管内面の粗度に及ぼす配管内面への合成樹脂コーティングの影響をについて明らかにした。この評価に関しては配管内面の粗度係数、配管圧力損失値及び、表面粗さ測定によって得られた結果にて行った。その検討結果を報告する。

また、化学工学での配管内面の粗さの評価方法と水理工学での配管内面の粗さの評価方法との相違についても触れる。

2. 実験

(1) 実験装置

実験に使用した装置の概略図を Fig. 1 に示す。Fig. 1 中の①に示すタンクに水道水を溜め、この

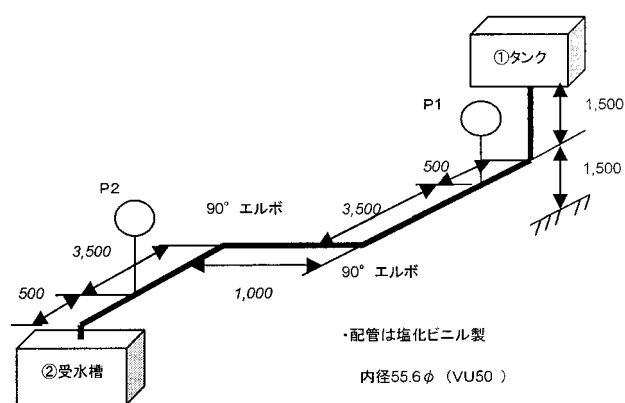


Fig.1 実験装置の概略図

タンクと②に示す受水槽との水頭差によって受水槽へ流す構造の実験装置である。

(2) 実験方法

①配管内流速の測定

Fig. 1 中の②に示す受水槽に溜まった水量をそのとき溜まるのに要した時間にて除することによって配管内流量を求めた。この配管内流量を管断面積にて除することによって管内流速を求めた。

②配管圧力損失（P1 と P2 との水頭差）の測定

Fig. 1 に示す P1 と P2 の圧力の差を水マノメーターにて測定し、配管圧力損失値を求めた。

(3) 実験条件

①試料（使用配管）

実験に使用した配管は塩化ビニル VU 50（内径 55.6φ：実測値）と塩化ビニル配管内面へ合成樹脂コーティングした配管の 2 種類を使用した。合成樹脂コーティングの仕様は配管の下塗りとしてスリーロンジー V-147 を 400 μm、上塗りとしてスリーロンジー V-246 を 100 μm 塗布である。

②配管内流速

配管内流速は配管内流速の標準値（公共用配管は 0.6 m/sec¹⁾）を考慮にいれ、約 0.2 m/sec、0.5 m/sec とした。尚、実際の下水配管の流速も考慮した。

(4) 実験結果

上述の 3. (1)～(3) の実験装置、方法、条件にて測定した実験結果を表 1 に示す。Fig. 2 に樹脂塗布の有無が及ぼす管内圧力損失への影響を示す。

表 1 樹脂塗布の有無と管内流量が及ぼす管内圧力損失への影響

塗布	管内流量の測定結果	圧力損失値 (mmAg.)	管内流速 (m/sec)
無	20 L/18.47 sec	69	0.45
無	20 L/18.47 sec	65	0.49
無	10 L/20.69 sec	17.5	0.20
無	10 L/21.00 sec	17.5	0.20
有	20 L/17.66 sec	58	0.48
有	20 L/17.68 sec	58	0.48
有	10 L/20.78 sec	16	0.21
有	10 L/20.97 sec	16	0.21

注) 管内流量及び、圧力損失は生データである。管内流速は管内流量を管断面積にて除した値である。

4. 考察

(1) 合成樹脂塗布の有無が及ぼす管内圧力損失への影響

Fig. 2 に示されるように塩化ビニル管に合成樹脂を塗布した場合の管内圧力損失値（シンボル：△）は、塗布していない場合の管内圧力損失値（シンボル：○）に比べ小さくなった。従って、配管内面に合成樹脂を塗布したことによって配管

内面が無垢の塩化ビニル配管よりスムーズとなり、管内圧力損失値が小さくなったと考える。

尚、Fig. 2 中に示す合成樹脂を塗布していない 0.45 m/sec と 0.49 m/sec における管内圧力損失値にバラツキがあるが、これは管内流体の流れによる変動である。この変動を考慮に入れた場合においても合成樹脂を塗布することによって配管内面は、無垢の塩化ビニル管内面と同等もしくは、それ以上に滑らかとなり、管内圧力損失値が小さくなると考える。

(2) 粗度係数

①算出方法

以下に示す Manning 公式²⁾を用い、粗度係数を算出した。

$$v = R^{2/3} \times i^{1/2} / n \quad (\text{Manning 公式})$$

ここで、 $i = f \times v^2 / (R \times 2 \times g)$

v ：管内流速(m/sec)、

R ：径深(=断面積/潤辺)(m)

i ：エネルギー勾配(－)、 n ：粗度係数(－)

f ：管内摩擦係数(－)、 g ：重力加速度(m/sec²)

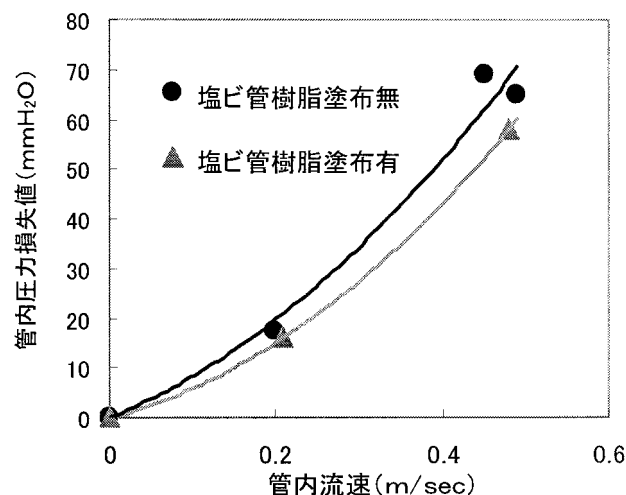


Fig.2 樹脂塗布の有無が及ぼす管内圧力損失の影響

②粗度係数算出結果

表 2 に粗度係数の算出結果を示す。合成樹脂を塗布した塩化ビニル配管における粗度係数は、無垢の塩化ビニル配管におけるものと比較して約 10% 程度減少した。

表2 粗度係数の算出結果

塗布	圧力損失値 (mmAg.)	管内流速 (m/sec)	粗度係数 (-)
無	69	0.45	0.0128
無	65	0.49	0.0114
無	17.5	0.20	0.0145
無	17.5	0.20	0.0145
有	58	0.48	0.0109
有	58	0.48	0.0109
有	16	0.21	0.0131
有	16	0.21	0.0131

(3) 管内表面粗さの直接測定

無垢の塩化ビニル管とそれに合成樹脂を塗布したものを表面粗さ・輪郭測定器（Mitsu-toyo 製フォームトレーサー CS-400）によって測定した結果を Figs. 3, 4 に示す。この測定結果より、無垢の塩化ビニル管及び、塩化ビニル管に合成樹脂を塗布したものの両者の表面粗さ（グラフ中のピーク高さ）は、約 4 μm であり、両者の差は殆ど無いと考える。従って、管内面の粗さは、ほぼ同等と考える。

(4) 化学工学と水理工学での配管内面の粗さの評価方法

化学工学において配管内面の粗さを求める目的は、その配管系の圧力損失値を求めるためである。その得られた圧力損失値から配管のサイジング（配管内径、肉厚や材料選定など）及び、圧送を要する場合にはポンプ、コンプレッサー等の設計を行い、設備を建設する。

水理工学（土木工学系）においては、配管内面の粗さを粗度係数で表すこと自体が大切であると思われる。従って、当然ながら実施目的に応じ、課題に対処することが望まれる。

5. 結論

- (1) 塩化ビニル配管内面へ合成樹脂コーティングを施工した配管の粗度係数は、無垢の塩化ビニル配管の粗度係数と同程度であった。
- (2) 配管内面への合成樹脂コーティングを施工した塩化ビニル配管での圧力損失値は、無垢の塩化ビニル配管での圧力損失値と比較した結果、同等もしくは、より小さな値であった。即ち、合成樹脂コーティングによる管内面は塩化ビニル管内面と同等かそれ以上の滑らかさであった。
- (3) 表面粗さ測定装置による凹凸の実測データは、上記結論(1)、(2)の結果を裏付けるものであった。

6. 参考文献

- 1) 玉木明善編、化学プラント建設便覧、第2版、丸善、pp. 653 (1972)
- 2) 沼知福三郎、本間仁監修、水工学便覧、第2版、森北出版、pp. 60 (1974)

謝辞

本研究はスリーボンドユニコム株式会社の援助を受けました。ここに記して謝意を表します。

(平成15年6月9日 受理)

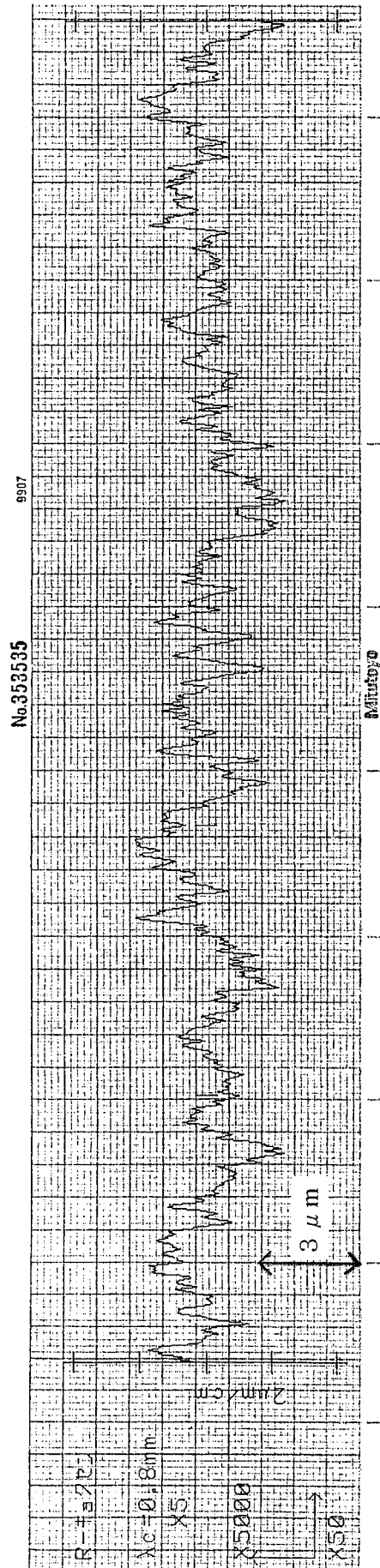


Fig.3 塩化ビニル (VU 50) 管内面の表面粗さ

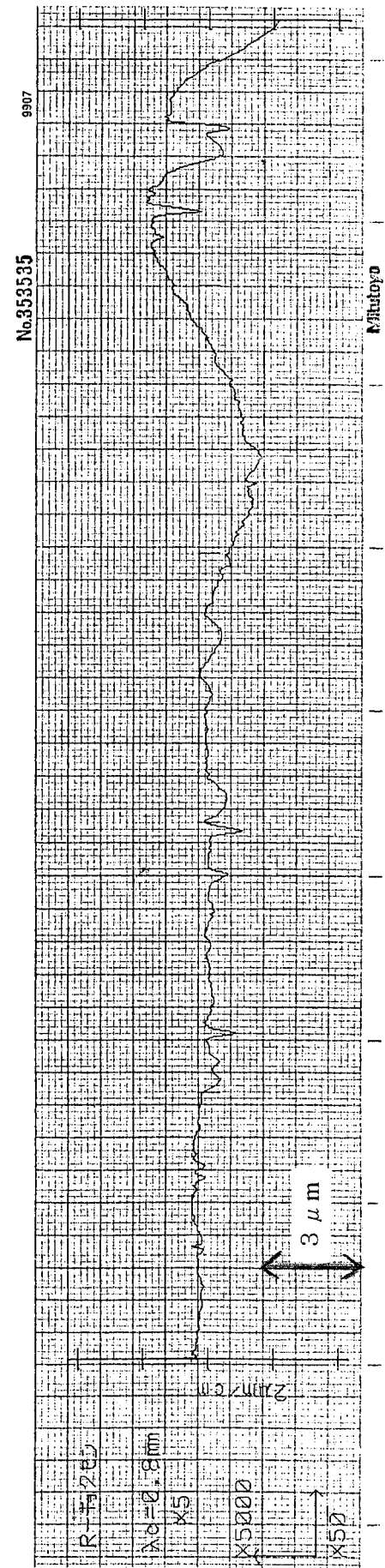


Fig.4 樹脂をライニングした管 (VU 50) 内面の表面粗さ

吸着性と毒性の相違に基づく毒性原因物質推定

庄司 良*, 飛永朋亮*, 須藤義孝**, 鈴木基之***

Toxicity identification method using characteristics of toxicity and adsorbability

Ryo SHOJI, Tomoaki TOBINAGA, Yositaka SUDO, Motoyuki SUZUKI

We could identify toxicity control chemicals by toxicity reduction evaluation of some adsorption treatments using various adsorbents such as activated carbon, chitosan and zeolite, that have different characteristics of adsorbability. In addition, we evaluated toxicity by cell survival test using human liver cancer origin cells (Hep G2) and the dose response data was applied to adsorption characteristics. We defined amount of toxicity adsorption isotherm based on adsorption isotherm so far. Parameters in toxicity adsorption isotherm could give some information to identify the toxicity control chemical among various chemicals in environmental water. The method is a promising for water quality management because the method enable us to identify toxicity control chemicals among various environmental pollutants.

(Keywords: activated carbon adsorption, zeolite, chitosan, bioassay, toxicity identification evaluation)

1. はじめに

現在、環境水中には工場、農業、家庭などの排水から多種多様な化学物質が環境中に放出されている。それらの化学物質の中には人体に悪影響を与える物質も含まれ、人々の産業活動と共にその種類は増えつづき微量有害汚染物質として検出されている¹⁾。さらに近年では健康や生態系への影響なども強く意識され、廃水などの法規制が日々厳しくなっている。そのためさまざまな水処理が日常的に行われ、水質基準に合致する排水を環境に流出している。しかしながら、これらの処理は排水中の化学

物質の毒性原因がわからない為に無差別に浄化し、無害な物質も同時に処理しているため、その処理には多額の費用が必要となる³⁾。このような処理コストの問題は発展途上国において深刻な問題となり、さらに先進国においても企業や自治体の財源を圧迫している状態である。

アメリカの環境保護庁 U. S. American environmental protection agency (USEPA) では新しい環境管理手法 TIE (Toxicity Identification Evaluation) を提示している²⁾。この方法論はいくつかのバイオアッセイを組み合わせることによって

環境化学物質の生態系やヒト健康に対する有害性を評価し、毒性原因を評価・同定することができるというものである。既にアメリカではこの方法論は導入され次世代の環境管理システムとして注目されている⁴⁾。この方法論には大きく 2 つの方法があり、ひとつは平行して行われる化学分析データを利用する TIE(Chemical-Specific TIE)、一方、種々の処理単位操作での毒性削減効果から毒性原因物質(群)を同定する TIE(Treatability-Oriented TIE)である。前者の化学分析データを利用する TIE のアプローチでは化学分析技術による一定の限界があると考えられる。他方、後者の処理による毒性削減効果からの TIE のアプローチは毒性の削減が可能であれば、必ずしも毒性原因物質(群)の同定を必要としないという極めて実践的な方法である。

TIE の前段階として行われる全流出水毒性試験(Whole Effluent Toxicity Test, WET)では、試料の用量作用曲線から排水の EC₅₀(50%影響濃度)をもとめ、規定以上の毒性が検出された場合には、TIE のプロセスを進むことになる。EC₅₀ だけでなく用量作用曲線の傾きを試料の毒性を示す傾きとすれば、さらに豊富な種々の毒性の性質が得られると考えられる。一方、わが国においては、環境省・未来環境創造型基礎研究「化学物質による生物・環境負荷の総合評価手法の開発に関する研究」(研究代表：九州大学大学院・内海英雄教授)として、255 種類の化学物質に対する 20 種のバイオアッセイの応答データが揃えられている¹⁰⁾。このデータベースの活用により化学分析値とそれに対応する毒性を単純に比較するだけで、個別物質が単独で毒性を支配しているのか否かを容易に判断できる。さらに数理的解析によって毒性の性質を把握すれば、

より多くの毒性原因物質(群)に関する情報が得られるようになる。

そこで本研究では低コストで処理を行う為に毒性の原因物質のみを効率的かつ効果的に処理する為の毒性原因物質の推定を行う手法を提案する。また TIE の方法論から各種吸着剤を用いて有害汚染物質の処理を行い、吸着処理における毒性削減量の概念を確立し毒性原因物質の推定の可能性を見出すことで毒性削減から毒性原因物質(群)の同定を行う手法を見出すことを目的とした。

2. 実験方法

2-1. 吸着実験

2-1-1. 被験物質

Table 1 に示した化学物質を毒性削減処理の対象とした。

Table 1 Chemicals tested in this study

Chemicals	CAS No.	MW (g/mol)
Phenol	108-95-2	94.1
p-chloro phenol	106-48-9	129
2,4-dichloro phenol	120-83-2	163
Catechol	120-80-9	110
Aniline	62-53-3	93.1
2,4-dichloro aniline	554-00-7	162
Bis(2-chloroethyl)Ether	111-44-4	143

これらの物質は工業、農業、または溶剤として一般に用いられる為、環境水中の有害汚染物質として考えられる。そのため、これらの物質は簡便な方法で同定し安価で効率よく処理できることが望まれている。

2-1-2. 吸着剤

吸着剤として、東洋カルボン社製の CAL(活性炭)を 840 μ m から 1168 μ m の間でふるい分けした。加えて和光純薬工業株式会社の Molecular Sieves 13X 1/16 (親水性ゼオライト) と片倉チッカリン株式会社のキトサン CTA-4 を使用し、7%酢酸にキトサ

ン 7 wt%/wt% になるように溶解し NaOH : H₂O : CH₃OH = 1 : 5 : 4 の溶液に滴下しビーズ状にしたもの (キトサンビーズ) を使用した。活性炭は代表的な物理吸着剤であり、多くの細孔を有する為、大きな比表面積を持つ。ゼオライトは均一な細孔径を持つことにより一定分子以上の大きさの物質を吸着しない分子ふるい作用をもつ。キトサンは細孔を持たないためその吸着はすべて化学吸着となる吸着剤である。以上の吸着特性の異なる三種類の代表的な吸着剤を用いた。

2-1-3. 実験方法

被験物質を含む試料水 1 L に吸着剤を乾燥重量 0.8 g 加え、恒温水槽内の回分式の攪拌層内で回転数 450rpm として完全混合となる状態で実験を行い、複数の初濃度から吸着平衡に達するまで吸着を行った。また、攪拌を開始してから一定時間ごとに 3ml の試料水のサンプルを採取した。このサンプルを島津分光光度計 UV-1200 を用いて紫外吸光度法により濃度の測定を行った。分光波長はあらかじめ被験物質の最大吸収波長を測定し使用した。

2-2. 毒性削減量

2-2-1. 毒性の定義

ヒト肝臓ガン由来細胞 Hep G2 への化学物質の細胞生存率は(1)式で表すことができ、その用量作用曲線は Fig. 1 に示すようなシグモイド型のグラフを描くことが確かめられている¹⁾。

$$y = 1/[1 + \exp\{(x-m)/s\}] \quad (1)$$

y; 細胞生存率(-), x; logC, C; 化学物質の濃度(mM), m; logED₅₀(y=0.5 になる logC), s; 曲線の傾きを示すパラメータ

Hep G2 の細胞生存率とヒトへの毒性に

は相関性があるといわれ^{7), 8)} in vitro 試験にヒト由来細胞株は多く使用されている。本実験では Hep G2 への細胞毒性を毒性として定義する。

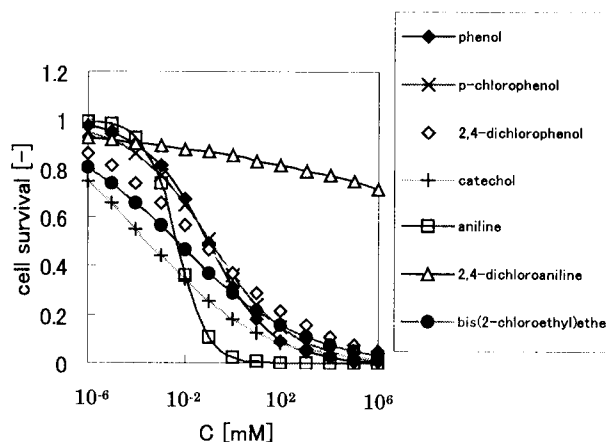


Fig. 1 Dose response curves of the chemicals derived by Hep G2 cell survival assay

2-2-2. 毒性削減量の定義

さまざまな処理において削減された化学物質量は初濃度(C₀)から処理後の濃度(C)の差を取ることで得られ、水処理における吸着操作では削減量(q)は処理体積(V)と処理剤の乾燥質量(w)から式(2)のように表すことができる。

$$q = (C_0 - C) \cdot V / w \quad (2)$$

q; 吸着量(mg/g), C₀; 初濃度(ppm), C; 処理後の濃度(ppm), V; 処理体積(L), w; 吸着剤質量(g)

このことから、各濃度において式(2)の濃度(C)を細胞生存率(y)で置き換えれば毒性削減量(Q)の式(3)が得られる。

$$Q = (y - y_0) \cdot V / w \quad (3)$$

Q; 毒性削減量(L/g), y; 処理後の細胞生存率(-), y₀; 初濃度での細胞生存率(-), V; 処理体積(L), w; 処理剤質量(g)

この式(3)を毒性削減量の定義として用いた。

3. 結果

3-1. 各種吸着剤による吸着特性

各種吸着剤による初濃度 50ppm のカテコールとパラヒドロキシ安息香酸の吸着実験結果をそれぞれ Fig. 2, Fig. 3 に示した。パラヒドロキシ安息香酸には三種類の吸着剤においてそれぞれ吸着が見られるが、カテコールではキトサンにおいてのみ吸着が見られない。同様に各種被験物質において検討した結果、活性炭はすべての被験物質を無差別に吸着した。ゼオライトは水よりも双極子モーメントが大きく、ゼオライトの細孔よりも分子径の小さな物質を選択的に吸着した。キトサンには安息香酸類のカルボキシル基がキトサンのアミノ基に対して求電子的に化学吸着した。おのおのの吸着剤の吸着特性によって選択的な化学物質の吸着が確認できた。

各種吸着剤を用いることでこれらの吸着特性からゼオライト(13X)に吸着する物質は水よりも双極子モーメントの大きな化学物質であり、キトサンに吸着する物質は求電子的な官能基をもつ化学物質であると推定できる。よって吸着前後で毒性を評価すれば各吸着剤の特性によって複数の化学物質中の毒性原因物質を推定するバイオアッセイが可能であるといえる。吸着剤の種類を増やすことによって、より正確な毒性原因物質の推定ができるが、多くの吸着剤とそれによる定性的な実験が必要となる。

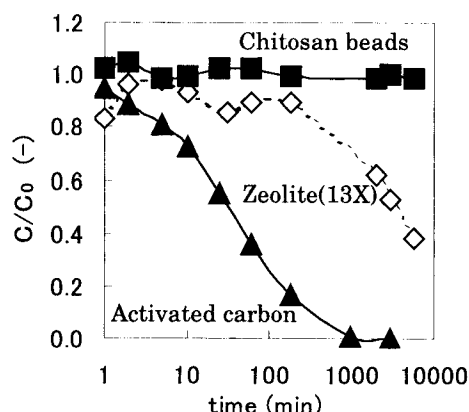


Fig. 2 Kinetics of catechol concentration adsorbed on various adsorbents

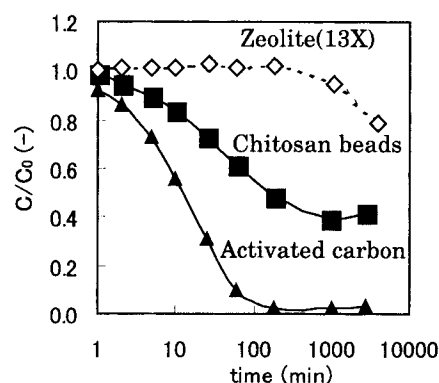


Fig. 3 Kinetics of p-hydroxybenzoic acid concentration adsorbed on various adsorbents

3-2. 活性炭吸着等温線

活性炭のように選択吸着性が見られないため無差別的に吸着する場合、その吸着剤の吸着特性だけでは毒性原因物質を推定することは困難である。しかし、吸着剤への吸着速度や吸着容量は化学物質の分子量や化学的な性質によって異なることが知られており、吸着処理自体を解析することで化学物質の同定が可能である。Fig. 4 に活性炭吸着における各被験物質の吸着等温線を示した。活性炭のような細孔内拡散を伴う吸着剤による化学物質の吸着は細孔内への拡散作用により、広い範囲で Fig. 4 に見られるような Freundlich 型の吸着等温線になることが知られている³⁾。Freundlich 型の吸着等温線の一般式は Freundlich 定数 $k, 1/n$ を導入すると以下の式(4)で表される。

$$q = kC^{1/n} \quad (4)$$

q ; 吸着量(mg/g), C ; 平衡吸着濃度(ppm),
 k ; 吸着量の目安となるパラメータ(mg/g),
 $1/n$; 濃度変化に対する吸着量の変化を示す
 パラメータ(-)

未知試料の初濃度を振って吸着を行い吸着処理前後で溶液中の吸着質の濃度変化を知ることで、吸着量から得られる吸着等温線と Fig. 4 のような既知の吸着等温線を比較し、処理された物質の推定ができる。

しかし、吸着等温線から化学物質を推定する場合、推定対象が無作為であるため、処理物質が毒性物質という限定ができないという欠点がある。さらに Fig. 4 に示したフェノールとアニリンの吸着等温線の傾きがほぼ等しいことから、これらを吸着量から吸着された物質を判断し同定することは困難であるといえる。

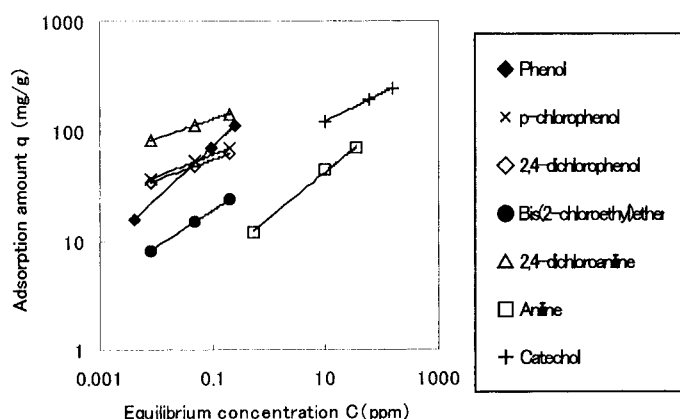


Fig. 4 Adsorption isotherms of various chemicals on activated carbon.

3-3. 毒性吸着等温線

毒性削減の概念を用いた吸着等温線、つまり毒性吸着等温線を Fig. 5 に示す。毒性吸着等温線は吸着等温線同様に個々の化学物質においてそれぞれ描くことができ、毒性の概念を取り入れることにより、推定する化学物質を毒性物質に限定することができる。また、化学物質の毒性は物質の固有値であるため、毒性吸着等温線は毒性原因

の推定に際し、一層多くの情報を与えることになる。この毒性吸着等温線は吸着平衡濃度における毒性吸着量をグラフ化して得られる等温線であり、化学物質の用量作用曲線は Fig. 1 に示すようなシグモイド型の用量作用曲線になることから毒性吸着等温線の概念図は Fig. 6 のようになる。よって直線部分は吸着等温線同様に Freundlich 型に示すことができた。つまり毒性吸着等温線の一般式は毒性を発現する広い濃度範囲で以下の式(5)で表現できるとした。

$$Q = k'C^{1/n'} \quad (5)$$

Q ; 毒性吸着量(L/g), C ; 吸着平衡濃度(ppm), k' ; 毒性吸着量の目安となるパラメータ(L/g), $1/n'$; 濃度変化に対する毒性吸着量の変化を示すパラメータ(-)

Fig. 5 に示す毒性吸着等温線と吸着等温線のパラメータを Table 2 に示した。吸着等温線ではフェノールとアニリンの傾きがほぼ等しく物質同定が困難であったが、毒性吸着等温線ではこれらのパラメータに明らかな相違を生み、毒性削減による毒性原因物質推定の有効性がみられた。また、毒性吸着等温線の特徴として Fig. 6 に示したように最大毒性吸着量 M が存在する。最大毒性吸着量 M は $1/n'$ 以外に毒性原因物質を推定するのに有用な値である。

4. 考察

本研究では毒性吸着等温線を考案し毒性原因物質の推定に利用したが、この毒性吸着等温線は、これら以外にも多くの情報を与えている。毒性吸着等温線の評価の為のパラメータである $1/n'$ は用量作用曲線のしきい値の明確さを示し、 k' は化学物質の毒性発現濃度を知る情報となる。また、最大毒性吸着量 M は対象となる吸着剤が吸着しうる毒性の限界を示すとともに、処理効果が十分高い場合、化学物質が発現しうる最大の毒性を示すことが多い。

吸着剤の種々の毒性を示す化学物質の毒性吸着能力を示すことから、毒性吸着等温線の利用法として本研究の目的である環境水中の毒性原因物質の推定に加えて、毒性削減に効果的な吸着剤の選定に利用できる。

以上、毒性吸着量を用いることでより正確な毒性原因物質の推定が可能になった。このような吸着以外にも毒性を削減する処理は活性汚泥処理やイオン交換処理、凝集処理など数多く行われている。本研究において定義した式(3)は毒性を削減する処理すべてに適応できる。各処理においてこの TIE 手法が確立すれば、より広い範囲での応用が可能である。さらに、これらのデータを組みあわせることによって、バイオアッセイによる機器分析を用いない安価、容易な毒性原因物質の推定ができることになる。結果、毒性原因となる物質(群)が推定できるので安価で効率的な処理により毒性を除くことができる。処理特性や処理量を評価することで、これらの毒性削減処理法の複合プロセスを開発し最終的には毒性原因物質を同定できる可能性を得た。

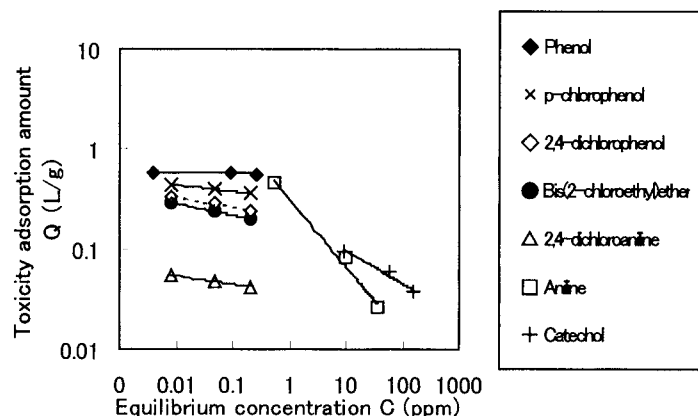


Fig. 5 Toxicity adsorption isotherms of various chemicals on activated carbon.

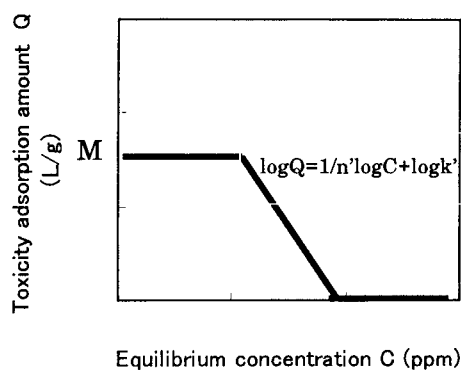


Fig. 6 Model of toxicity adsorption isotherms.

Table 2 Parameters of adsorption isotherms and toxicity adsorption isotherms

	k	1/n	k'	1/n'
Phenol	224	0.482	0.563	-0.003
Aniline	16.6	0.427	0.309	-0.663
Catechol	68.9	0.256	0.212	-0.0333
2,4-dichloroaniline	190	0.167	0.0376	-0.0798
p-chlorophenol	97.9	0.200	0.325	-0.0633
2,4-dichlorophenol	84	0.182	0.209	-0.0959
Bis(2-chloroethyl)Ether	41	0.333	0.169	-0.111

Nomenclature

C; 平衡濃度(ppm), C_0 ; 初濃度(ppm), q ; 吸着量(mg/g), k ; 吸着量の目安となるパラメータ(mg/g), $1/n$; 濃度変化に対する吸着量の変化を示すパラメータ(-), y ; 細胞生存率(-), y_0 ; 処理後の細胞生存率(-), x ; $\log C$, m ; $\log ED_{50}(y=0.1 \text{ となる } \log C)$, s ; 曲線の傾きを示すパラメータ, Q ; 毒性削減量(L/g), k' ; 毒性吸着量の目安となるパラメータ(L/g), $1/n'$; 濃度変化に対する毒性吸着量の変化を示すパラメータ(-), V ; 処理体積(L), w ; 処理剤量(g), M ; 最大毒性吸着量(-)

参考文献

- 1) 庄司 良 環境水中の細胞毒性の迅速・簡便な評価方法に関する研究, 東京大学博士論文 (2000)
- 2) U.S.EPA Generalized methodology for conducting industrial toxicity reduction evaluation (TREs), EPA/600/2-88/070 (1989)
- 3) 須藤 義孝 活性炭による農薬等の液相吸着, 東京大学博士論文 (2001)
- 4) <http://www.nies.go.jp/kanko/tokubetu/sr41>
- 5) N.Reineke and K. Bester, H. Hühnerfuss, B. Jastorff and S. Weigel, Bio-directed chemical analysis of River Elbe surface water including large volume extractions and high performance fractionation, Chemosphere, 47, 717-723 (2002).
- 6) Davit R. Mound and J. Russell Hockett, Use of toxicity identification evaluation method to characterize, identify, and confirm hexavalent chromium toxicity in an industrial effluent, journal of Marine Pollution Bulletin, vol.34, 1379-1385 (2000)
- 7) Wang, X., Sakaki, T., Matsudo, T., Saijio-kurita, K. and Ohno, T. Correlation of in vitro toxicity of MEIC chemicals determined by lactate-dehydrogenase release assay with in vivo toxicity to animals and humans, AATEX, 2, 115-126 (1993).
- 8) Clemedson, C. et al. MEIC evaluation of acute systemic toxicity: Part I methodology of 68 in- vitro toxicity assays used to test the first 30 reference chemicals, ATLA, 24, 251-272 (1996a).
- 9) Clemedson, C. et al. MEIC evaluation of acute systemic toxicity: Part II. In Vitro Results from 68 toxicity assays used to test the first 30 reference chemicals and a comparative cytotoxicity analysis, ATLA, 273-311 (1996b).
- 10) 環境庁未来環境創造型基礎研究制度平成 12 年度報告書 化学物質による生物・環境負荷の総合評価手法の開発に関する研究 (2001)

(平成15年 6 月19日 受理)

三宅島火山灰のアルカリ水熱法によるゼオライト化

平田房雄*, 庄司 良, 廣瀬聡一郎, 須藤義孝

Conversion of volcanic ashes in Miyake Island by alkaline hydrothermal reaction into zeolites

Fusao HIRATA, Ryo SHOJI, Soichiro HIROSE, Yoshitaka SUDO

Volcanic ash of Mt.Oyama in Miyake Island was converted into zeolites by hydrothermal reaction in alkaline solution.

The ash was hydrothermally changed to zeolite at 100°C, normal pressure in sodium hydroxide solution. Various experimental conditions such as reaction time, concentration of sodium hydroxide, and amount of metal aluminum were examined in order to improve the yield.

Composition of the raw ash and the zeolite was confirmed by X-ray diffraction analysis as zeolite having the followings $1.08\text{NaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.68\text{SiO}_2 \cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Na}_8 (\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Also, some imaging analyses revealed that the zeolite conversion reaction occurred only in the surface of the ash particle. Therefore, there is a limitation to improve the conversion yield. In addition to above experiments, we performed aqueous adsorption experiments of ammonium ion by the zeolites converted from the volcano ash and synthesized zeolites. The adsorbability of the zeolite converted from volcano ash and synthesized zeolites. The adsorbability of the zeolite from volcano ash was high enough to be applied to water quality management for high ammonium ion solution.

(Keywords: volcanic ashes, hydrothermal reaction, and zeolites)

1. 緒言

火山性の島である日本列島は現在でも活動している火山が北海道から鹿児島県に渡りに点在している。近年、東京都三宅島では雄山が噴火し、噴出した大量の火山灰は三宅島全土に堆積しており、その量は約730万立方メートルにもなるといわれている。堆積した火山灰の処理と三宅島の産業の復興が急務となっている。

これらの火山灰を原料としてセメント、ガラスなどへの転換も考えられているが、決定的な解決策になっていないのが現状である。我々はすでに比較的温和な条件によるアルカリ水熱法を用いて、火山灰は土壌の改良に成功しており¹⁾、この方法を応用することにより、ゼオライトなどより付加価値の高い製品・材料に転換できると考えている。

三宅島の火山灰はケイ素およびアルミニウム、鉄、カルシウム、硫黄が主成分であり、他にマグネシウム、チタンなどの元素を含んでいる。近年、石炭灰³⁾や製紙スラッジ²⁾などの廃棄物、シラスや

関東ロームなどの土壌、モミ殻などケイ素やアルミニウムを含む安価な材料をゼオライト合成原料に利用する試みが多くなされている。これらの物質に近い組成を持つ火山灰を原料としてのゼオライト合成はあまり行われていない。

本研究は、小型実験装置を用いて火山灰を原料とし、アルカリ水熱処理法によりゼオライトを合成するため、アルミニウム、ガラスの混合比、アルカリ濃度の変化による、種々のゼオライト生成条件に及ぼす影響を明らかにし、水質浄化材として有効な合成ゼオライトを安価に製造することを目的とした。火山灰は、添加物質等の組成変化により表面が一部ゼオライト化することと、カンクリナイト型、ノゼアン型ゼオライトと若干の吸着性が確認されたので報告する。

2. 実験

人工ゼオライトは非晶質のケイ酸やアルミナをアルカリ水熱処理することによって、主に石炭灰を原料として合成できることが知られてい

る。^{2),3),4)}これはケイ素及びアルミニウムがアルカリ溶液に溶解し、添加されたナトリウムを取りこみゼオライト化されると考えられていることから石炭灰に組成の類似する火山灰はゼオライトに転換出来ると考えられた。

東京都三宅島の雄山の噴火後、三宅村にて採取された雄山火山灰を試料として用いた。火山灰を粉碎し、120℃で一昼夜乾燥させた後、篩にかけ、粒径を600 μm 以下のものを用いた。火山灰の元素組成を Table 1 に示す。

Table 1 Chemical composition of the raw Volcanic ashes (wt%)

Si	Al	Fe	Ca
32.4	10.5	24.2	18.2
Ti	K	S	Mn, V, P
1.7	0.7	9.5	Less than 1.00

2.1 装置及び方法

アルカリ水熱処理

実験装置図を Fig.1に示す。水酸化ナトリウム溶液濃度、反応時間を変化させ、それぞれの条件で試料火山灰を処理した。処理した火山灰は、蛍光 X 線分析装置(EDX)を用いてケイ素、アルミニウムなどの元素分析、X 線回折装置で同定を行った。

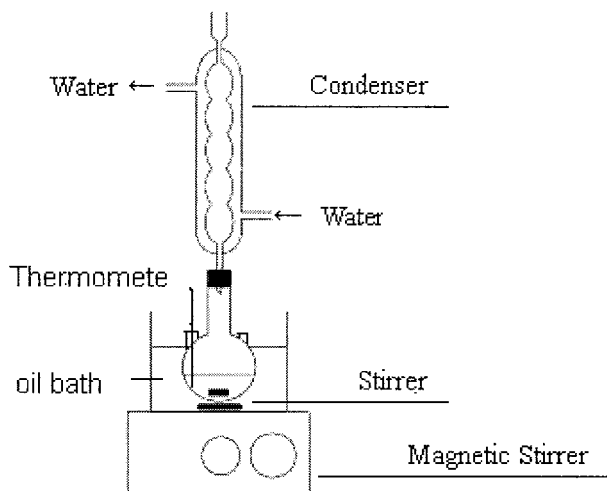


Fig.1 Experimental apparatus

火山灰とアルカリ水溶液との水熱反応中の溶液成分変化の測定は次の様に行った。

反応容器に水酸化ナトリウム水溶液100 mL、火山灰20 g を入れ、反応温度120℃、反応時間24 時間とし、反応開始から 1 と24時間後の反応溶液を10 mL 採取し、ろ紙 No.2でろ過後、細孔径 0.45 μm のろ紙に滴下しながら、赤外線ランプで乾燥濃縮した。これを蛍光 X 線分析により成分

を測定した。

吸着実験 振とう法

回分装置での実験の前に、用いる吸着剤、実験条件を決定するために、恒温振とう機による振とう実験を行った。

内容量300 mL 共栓付三角フラスコにアンモニウムイオン濃度20 ppm の水溶液とゼオライト0.5 g を三角フラスコを設定温度25℃の恒温水槽内のセットし、4日間連続振とうを行った。この間、1日ごとに試料を14 mL 採取し、インドフェノール青吸光光度法でアンモニウム濃度を測定した。

回分法

アンモニウムイオン濃度 (5, 10, 15 ppm) の水溶液 1 L 及び秤量したゼオライトを設定温度25℃の恒温水槽内の装置にセットし、攪拌回転数450 rpm 以上で吸着平衡に達するまで行った。この間、時間ごとに試料14ml 採取し、インドフェノール青吸光光度法でアンモニウム濃度を測定した。

3. 結果及び考察

3.1 溶液成分の変化

水酸化ナトリウム濃度 2 M における水熱反応水溶液中の元素濃度の相対モル比を Table 2 に示した

Table 2 Chemical relative composition by hydrothermal reaction of volcanic ashes with sodium hydride (mol%)

	Si	Al	Na	S	K	Ca	Fe	Total
1 hr	44.9	16.3	33.1	nd	2.3	1.6	1.2	100
24 hr	30.8	nd	24.5	41.6	2.2	0.6	0.2	100

火山灰中の硫黄を除いた、各成分は反応開始後 1 時間ではアルカリ水溶液中に溶出しているが、24時間後には減少し、アルミニウムなどゼオライトに含まれる成分の濃度が低下しているためゼオライトの合成が進行しているものと考えられる。特にアルミニウムは確認できなかった。故に火山灰のみでの合成ではアルミニウムが不足しているので、何らかの形で添加する事により、ケイ素成分を有効にゼオライトに転換出来ることが分かった。なお、ゼオライト転換に障害となる鉄、カルシウムは反応溶液中にほとんど溶出しないことと、ほとんど溶出する硫黄については、溶液中に留まり、反応に大きく関与しないので、火山灰は無処理のままゼオライト転換の原料として使用できることが分かった。

3.2 ゼオライト合成

反応時間24 hr、反応温度100°C、液量100 mLの反応条件で、アルカリ濃度とアルミニウム添加量を変えて合成した結果を Table 3に示した。低濃度の水酸化ナトリウムではゼオライトの生成はX線回析では確認されなかった。これは、アルカリ濃度が低いためゼオライトの生成に必要なケイ素やアルミニウムが溶け出さなかったためと考えられる。他方、高濃度のアルカリ処理、アルミニウムを添加したときはゼオライトの生成が確認することができた。このとき生成したゼオライトはAタイプ、Bタイプに大別された。Aタイプは高濃度のアルカリ処理したときに生成した。このゼオライトは6 M 水酸化ナトリウムにアルミニウムを0.0、0.5、1.3 g 添加したときに生成した。この時に生成したゼオライトは $\text{Na}_{14}\text{Al}_{12}\text{Si}_{13}\text{O}_{51} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Zeolite X) と $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{S} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Zeolite Y) のどちらかで特定は出来なかった。また、水酸化ナトリウム濃度8 M、10 M、アルミニウム無添加の時も生成した。Bタイプのゼオライトは2、4、6 M 水酸化ナトリウム濃度においてアルミニウム添加した時に多く生成した。これはX線回析で $1.08\text{NaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.68\text{SiO}_2 \cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$ と同定することが出来た。

Table 3 Properties of products obtained by hydrothermal reaction of volcanic ashes with NaOH

Al	Si/Al	0.5 M-NaOH	1 M-NaOH	2 M-NaOH	4 M-NaOH	6 M-NaOH
0	3.10	no	no	b	B	AA
0.5	2.33			B	BB	AA
1.3	1.66	no	no	BB	BB	AA
2.0	1.33			BB	BB	A, B
4.0	0.84			B	aBB	a. B

no : no crystallization

a : Zeolite X) or $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{S} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ some synthesized

A : Zeolite X) or $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{S} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ good synthesized

AA : Zeolite X) or $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{S} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ very good synthesized

b : $1.08\text{NaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 1.68\text{SiO}_2 \cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$ some synthesized

B : $1.08\text{NaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 1.68\text{SiO}_2 \cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$ good synthesized

BB : $1.08\text{NaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 1.68\text{SiO}_2 \cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$ very good synthesized

AタイプのゼオライトのSi/Al比は1.08~1.00に対して、Bタイプは0.84である。Table 3より、アルミニウムを加えて合成原料のSi/Alを小さくするとBタイプ($1.08\text{NaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.68\text{SiO}_2 \cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$)に変化していった。このことより、Aタイプ、Bタイプのゼオライトの生成は反応溶液中のケイ素とアルミニウムの濃度比に起因することが

分かった。

Fig.2 に火山灰、 $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{S} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $1.08\text{NaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.68\text{SiO}_2 \cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$ (B type)

のX線回析のパターンを示した。A、Bタイプとも火山灰のピークを差し引いたX線回析パターンを図示したものであるが、原料である火山灰のX線回析パターンと比較してA、BタイプのX線回析パターンは、両タイプゼオライトのパターンを示している。

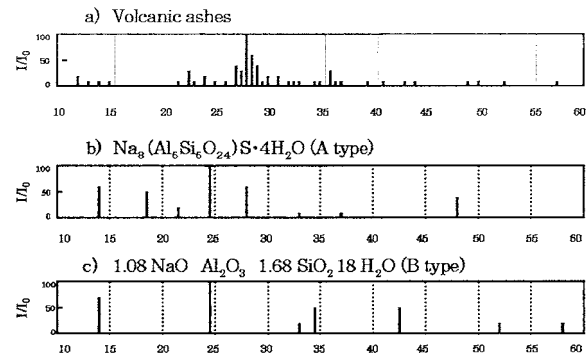


Fig.2 X-ray diffraction patterns of the products treated with alkali and zeolite

3.3 吸着実験

吸着量に及ぼすアルミニウム添加量

人工ゼオライト合成時のアルミニウム添加量とアンモニウムイオン吸着量の関係のグラフを Fig.3に示した。水酸化ナトリウム濃度6.0 Mは1.0、2.0、4.0 Mと比べ吸着量も少なく、Al添加量による吸着量の傾向もまったく異なっていた。これは、水酸化ナトリウム濃度6.0 Mでアルミニウム添加量0.0~1.3 gのゼオライトはAタイプのゼオライトで、他のゼオライトとタイプが異なっているためだと思われる。

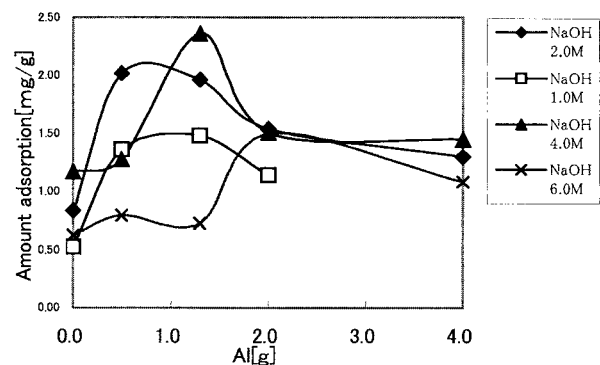


Fig.3 Relation between addition volume of the aluminum and adsorb ability
(NH_4^+ : 10 ppm, Population zeolite: 1 g)

アルミニウム添加量2.0、4.0 gではBタイプのゼオライトが少量生成したため吸着量が増した。これより、Aタイプのゼオライトはアンモニウムイオン吸着には適していないと考えられる。

水酸化ナトリウム濃度1.0、2.0、4.0 Mの条件で合成したゼオライトは、アルミニウム添加量0.5~2.0 gにおいて吸着量が多くなっている。そのためアルミニウムは、Si/Al=1.33~2.33の比で添加するのが最適だと考えられる。

吸着に及ぼす水酸化ナトリウム濃度の影響

人工ゼオライト合成時の水酸化ナトリウム濃度とアンモニウムイオン吸着量の関係を Fig.4に示した。それぞれ、水酸化ナトリウム濃度2.0~4.0 Mのゼオライトの吸着量が最大になっている。アルミニウム添加量0.0 g、4.0 gは全体的に吸着量が少なくなっている。0.0 gではSi/Al=3.1でSiとAlの比が大きく、4.0 gではSi/Al=0.84でSiとAlの比が小さいため、吸着剤として有効な

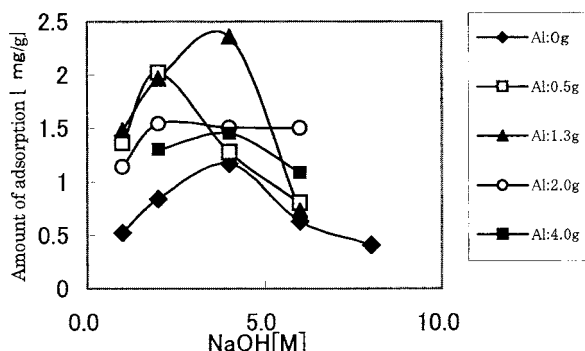


Fig.4 Relation between sodium hydroxide concentration and the relations of the adsorb ability (NH₄⁺: 10 ppm, Population zeolite: 1 g)

ゼオライトが合成できる Si/Al ではないためだと思われる。

Al 添加量1.3 g、水酸化ナトリウム濃度0.5 Mを除いて、合成されたゼオライトがアンモニウムイオンの吸着量が最も大きくなっている。Al 添加量1.3 gは代表的ゼオライトの Si/Al 比から計算した質量であり、したがって、Si/Al 比=1.33~2.33、水酸化ナトリウム濃度2.0~4.0 Mで合成するのが最適だと考えられる。

吸着量に及ぼす反応時間の影響

水酸化ナトリウム濃度、アルミニウム添加量が同じである人工ゼオライトで反応時間24 hr と48 時間を比べると、反応時間48 hr の方が吸着量が多かった。これより反応時間が長い方が火山灰が

水酸化ナトリウム溶液やアルミニウムと反応し、吸着性能を有する成分が生じと考えられる。

吸着平衡関係

アンモニウムイオン濃度10 ppm でのアルミニウム添加量1.3 g、水酸化ナトリウム濃度2 Mで合成した人工ゼオライトと三宅島火山灰の平衡吸着実験を行った。平衡吸着に達するまでの時間は約10時間であった。三宅島火山灰では、アンモニウムイオンは吸着されなかったが、合成された人工ゼオライトは吸着性能が生じてアンモニウムイオンが20%程度吸着していた。

平衡濃度 C と平衡吸着量 q を算出し、Fig.5と Fig.6の吸着等温線が得られた。それぞれ直線性を示したことより、実測の濃度範囲では Freundlich 型吸着で整理できることがわかった。

$$q = k \cdot C^{1/n} \dots \dots \dots (1)$$

吸着等温線の傾きより Freundlich 定数 n、k を求め Table 4. に示した。k と n が大きくなると一般にその吸着剤は良好であるといわれるが、天然ゼオライト (モルデナイト) と合成ゼオライト (4A) を見ると、多少 4A の方が吸着量が多いのわかる。人工ゼオライトについては、天然、合成両ゼオライトの 1/10~1/5 の吸着量であった。

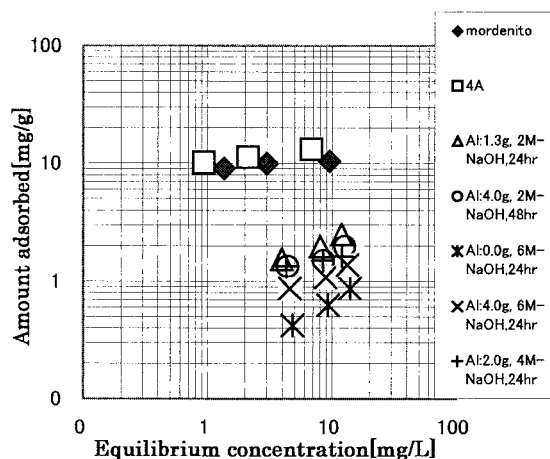


Fig.5 Adsorption isotherms (298 K)

4. 考察

三宅島火山灰は合成ゼオライトの原料である石灰灰と似た組成を持ち、水酸化ナトリウムによる水熱処理により、一部がゼオライトに転換した。火山灰を水酸化ナトリウム水溶液により、ゼオライトの主成分であるケイ素、アルミニウムが溶出し、反応時間とともに減少し、アルミニウムは24時間後には検出されなかった。また、鉄、カルシ

Table 4 Constants of Freundlich equation

System	T[K]	zeolite	Q=k·C ^{1/n}	
			k [mg/g]	n [(mg/g)/(m ³ /g) ^{1/n}]
NH ₄ ⁺	298 K	Mordenite	8.80	10.0
		4 A	10.0	12.5
		Al: 1.3 g 2 M NaOH	0.79	2.30
		Al: 0.0 g 6 M NaOH	0.16	1.50
		Al: 4.0 g 2 M NaOH (48 hr)	0.74	2.65
		Al: 4.0 6 M NaOH	0.44	2.50
		Al: 2.0 4 M NaOH	1.02	5.60

ウムは微量の溶出であり、硫黄はほとんどが溶出したが、反応後も溶液中に留まり火山灰は未処理のままゼオライトの原料として使用出来ることが分かった。火山灰からゼオライトを合成する場合、天然ゼオライト、ガラス粉末、金属アルミニウムの中では金属アルミニウムを添加物として加えることが最も効果的であることが分かった。

三宅島火山灰20.0 g 合成温度100°C、24時間水熱処理した場合、カンクリナイト型ゼオライト (Na₈ (Al₆Si₆O₂₄) S · 4H₂O) の最適合成条件は水酸化ナトリウム濃度8 M、アルミニウム無添加であった。また、ノゼアン型ゼオライト (1.08 NaO Al₂O₃ 1.68 SiO₂ 1.8 H₂O) は水酸化ナトリウム濃度2 M、アルミニウム添加量1.3 g (火山灰/アルミニウム量比=1.5) であった。火山灰から合成できるゼオライトの種類は水酸化ナトリウム濃度と溶液の溶液の各種成分濃度に強く起因することが分かった。

火山灰から合成されたゼオライトは吸着性能が生じてアンモニウムイオンが20%吸着していた。吸着等温線は直線性を示したことより、実測の濃度範囲では Freundlich 型吸着で整理できることがわかった。その Freundlich 定数について市販のゼオライトと今回合成した火山灰由来のゼオライトを比較すると 1/10であり吸着性能では見劣りする。三宅島火山灰をアルカリ水熱合成法で液条件としては吸着剤に合成する条件としては、水酸化ナトリウム濃度2.0~4.0 M、アルミニウムは Si/Al=1.33~2.33の比で添加するのが最適であった。合成した人工ゼオライトは天然、合成両ゼオライトの 1/10~1/5の吸着性能であり、更に吸着性能を上げる必要がある。そのためには、アルカリ水熱合成において、加圧、超音波などの物理的操作をかけるなどをし、吸着性能の高いゼオライトを作成する必要がある。

火山灰のゼオライト化反応は基本的に表面反応であり、アルミニウムイオンやナトリウムイオンが火山灰粒子内に拡散して反応が進行すると考えるが一般にこの拡散速度は極めて小さい。反応進行過程の顕微鏡観察によって、ゼオライト化はアルカリ不溶成分を核として進行していくことが確認されており、このことはゼオライト化の反応収率の改善にはアルカリ水熱反応において如何に火山灰粒子を可溶化させられるかということに依存することを示している。従って超音波や加圧によって更に収率の改善の見込みがあると考えた。加えて、本研究で提案した火山灰からのゼオライト化反応は24時間のアルカリ水熱処理を要するため、反応のより迅速化が求められる。例えば電磁波等で高エネルギーを付加させることで、反応に要する時間大幅に削減できる見込みを得ており、この方法の覆うようにより、アルカリ廃水の削減にもつながる。

以上、三宅島火山灰をアルカリ水熱法によりゼオライト化した結果、ゼオライト化反応の進行度の低さから、十分なゼオライトの収率は得られなかったものの、表面の一部にゼオライト化した結晶が X 線回析分析によって、その存在が認められ、市販のゼオライトには及ばないものの、ゼオライトに見られるアンモニア吸着性が確認された。三宅島火山灰の除去や処理はもとより、火山灰のゼオライト化によって有効利用できる見通しを得た。前報1) で報告した土壌改良剤としての利用に加え、本研究の成果が三宅島の産業復興支援の一助になることを期待する。

5. 謝辞

本研究を進めるに当たり、三宅島の火山灰の提供および、ご意見、ご指導を賜りました(株)新産業研究所の仁田 隆様に心より感謝致します。

6. 文献

- 1) 平田, 庄司, 成毛, 須藤; 東京高専研究報告書, 2002
- 2) 重本, 白神, 平野; 石炭灰を原料とするゼオライトの合成と性質, 日本化学会誌(5), 484~492, 1992
- 3) 長沢, 吉村, 三宅, 鈴木; 焼却製紙スラッジからの無機イオン交換体の創製, 日本化学会誌(5), 493~498, 1986
- 4) 原, 高橋; ゼオライト基礎と応用, 講談社, 1975

(平成15年6月19日 受理)

東京工業高等専門学校研究報告書

第 35 (1) 号

平成15年度

平成15年 9 月 1 日発行

編 集 者 東京工業高等専門学校図書専門委員会

発 行 者 東 京 工 業 高 等 専 門 学 校

東京都八王子市櫛田町1220の2

TEL 八王子 (0426) 68-5111

〒193-0997

印 刷 所 電算印刷株式会社

長野県松本市筑摩1-11-30

TEL 松本 (0263) 25-4329

〒390-0821

The name of the journal has been changed from “*Research Reports of Tokyo National Technical College*” into “*Research Reports of Tokyo National College of Technology*” since the 1984 issue.

