

**福井大学大学院
工学研究科
研究報告**

Vol.60 2012 MARCH

目 次

仮想ホワイトボードシステムによる情報の集約と共有徐剣磊 小高知宏 小倉久和 黒岩丈介 白井治彦	1
A Study on Harmful Rumor about Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident in NewspaperSachiyo KAMIMURA and Yoshimi KAWAMOTO	9
アーク溶接した鋼材の溶接変形に及ぼすシールドガスの影響齋藤努 竹下晋正	13
塩析出下の土壌アルベドモデルの開発寺崎寛章 草間政寛 福原輝幸	19
キトサンの研究レビュー — 構造・物性から nanofiber 製作と応用開発まで—桜井謙資	27
L-ロイシンセグメントとエチレングリコールセグメントを含む ABA 型トリブロック・コポリマーの合成と水溶液の粘度に対する濃度の効果中埜達朗 田中穰	35
Succinct Landmark DatabaseTomomi NAGASAKA and Kanji TANAKA	41
圧縮 Gist ランドマークの研究:時系列圧縮 Gist に基づくモンテカルロ自己位置推定近藤賢佑 田中完爾 池田剛一郎	51

CONTENTS

Virtual Whiteboard System for Sharing and Aggregating InformationJianLei XU, Tomohiro ODAKA, Hisakazu OGURA, Jousuke KUROIWA, Haruhiko SHIRAI	1
A Study on Harmful Rumor about Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident in NewspaperSachiyo KAMIMURA and Yoshimi KAWAMOTO	9
Effect of Shielding Gas on the Welding Distortion of Arc Welded SteelsTsutomu SAITO and Kunimasa TAKESHITA	13
Development of Soil Albedo Model under Salt CrystallizationHiroaki TERASAKI, Masahiro KUSAMA, Teruyuki FUKUHARA	19
A Review of Studies on Chitosan -Structures and Properties on Solid State, and Production and Applications of Nanofibers-Kensuke SAKURAI	27
Synthesis of ABA Triblock Copolymer Containing L-leucine Segments and Ethylene Glycol Segments and Effect of Concentration on Viscosity of SolutionTatsuro NAKANO and Yutaka TANAKA	35
Succinct Landmark Database Tomomi NAGASAKA and Kanji TANAKA	41
Study on Compressed Gist Landmark : Monte Carlo Localization Using Compressed Gist Sequence Kensuke KONDO, Kanji TANAKA, Kouichirou IKEDA	51

仮想ホワイトボードシステムによる情報の集約と共用

徐 劍磊* 小高 知宏* 小倉 久和** 黒岩 丈介** 白井 治彦***

Virtual Whiteboard System for Sharing and Aggregating Information

JianLei XU * Tomohiro ODAKA * Hisakazu OGURA ** Jousuke KUROIWA ** Haruhiko SHIRAI ***

In this paper, we present a solution for solving the problem of information sharing with the Etherphone technology. Owing to a number of advantages on some aspects, we adopt the Etherphone technology to implement a virtual whiteboard system, which is easy to be installed and support multiple users. The input of data by each user can be saved and read by any user in the same network. Via performing an experiment, the designed whiteboard system is available. However, operability needs to be improved.

(Received February 10, 2012)

Key Words : Virtual White Board, Sharing, Aggregating Information, Disaster Countermeasures Headquarters

1. はじめに

黒板の代わりにホワイトボード使用する施設は、学校だけではなく、企業や病院、官庁など、テレビ、ラジオなどの報道機関にも広がっている。これらのホワイトボードの主な役割は、情報のまとめや記述をすることである。

ホワイトボードは気軽に文字や図形を書いたり、消したりできる。この特性を生かし、ミーティングやブレインストーミングなどで、ホワイトボード上に、意見を次々と書き足すことによって、グループコミュニケーションが活性化される。小型のホワイト

ボードを用意し、メモや思考整理に利用する人もいる。またホワイトボードは、黒板のようにチョークの粉が出ることがないから、吸引による健康被害が出ないため、よく使われるようになった。

しかし、従来のホワイトボードには、不便さと不足点が多い。ホワイトボードは重いので、携帯性の面で不便であり、マジックペンと貼り紙のコストがかかる。また内容がたまりやすい、整理しにくい、データ化することができない、保存ができないため一旦内容を消したら元に戻せない、検索できないなどの問題点がある。

そこでこれらの問題を解決するために考案されたのが、ホワイトボードの利点を保ち、欠点を取り除き、ネットワークを利用し、情報の集約と共有を支援する、仮想ホワイトボードシステムである。仮想ホワイトボードシステムは、複数の参加者がネットワークを介して参加でき、誰でも情報を書き込め、内容が閲覧でき、書き直す機能を持ち、入力した内容がデータとして保存でき、さらにイーサフォン技術を用いるので接続する設定が簡単である。

また、実験により、本仮想ホワイトボードシステムでは、図と発言を同じように扱えること、発言間の関係を明示的に表すことの有効性が示された。また、実際に行われた協調作業では、図を用いて作業を支援することができた。

* 大学院工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

** 大学院工学研究科知能システム工学専攻

*** 技術部

* Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course, Graduate School of Engineering

** Human and Artificial Intelligent system Engineering Course, Graduate School of Engineering

*** Dept. of Technology

本論文では、2章で仮想ホワイトボードシステムの概要について述べ、3章で仮想ホワイトボードシステムの設計と構成について述べる。4章では仮想ホワイトボードシステムの実現について述べ、5章では実験および実験結果について述べる。そして、6章で考察を述べ、7章でまとめ及び今後の課題を示す。

2. 仮想ホワイトボードシステム

2.1 従来のホワイトボードの問題点

従来のホワイトボードには、多くの問題点がある。従来のホワイトボードの問題点を表1に示す

表1 従来のホワイトボードの問題点

面積が大きく、重量が重く、持ち運びが不便である
マジックペンと貼り紙のコストがかかる
人とホワイトボードの距離が遠い場合は、見えにくい
必要な情報を検索できない
一人ずつしか書き込めない
書いた内容が保存できない

ホワイトボードは重いので、携帯性の面で不便である。マジックペンと貼り紙などのコストがあり、負担がかかる。ホワイトボードの表面に反射材を使っているので、人とホワイトボードの距離が遠い場合は、見えにくい。必要な情報を検索できない。一人ずつ書くので、せっかく考えた記載する予定内容を忘れやすい。書いた内容が保存できないので、一旦消したら、戻せない。従来のホワイトボードは、以上の問題点がある。

2.2 仮想ホワイトボードシステム

これらの問題を解決するために、仮想ホワイトボードシステムは複数の参加者をリンクする通信の手段とすることができ、更に、参加者は誰でも、内容も見れるだけでなく、書き直すこともできる。

2.3 仮想ホワイトボードシステムの機能

本研究では、コンピュータおよびイーサネットを用いて、あたかも仮想ホワイトボードに板書しているかのように記述可能な仮想ホワイトボードシステムを構成した。

このシステムは、図1のように、イーサフォン技術を用いて、イーサネット上に構築した。イーサフォンプロトコルを用い、サーバ及びユーザの間で情報共有することができる。複数の参加者をリンクする通信の手段とすることができ、更に、参加者は誰でも仮想ホワイトボードに書けるし、書いた情報を貼り付ける機能を利用できる付箋を利用できる。内容を見ることが出来るだけでなく、書き直すこともできる。

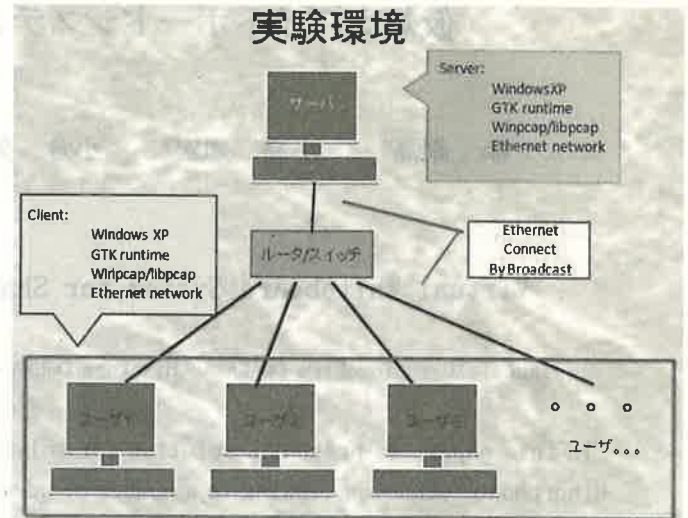


図1 仮想ホワイトボードシステムの構成

3.1 仮想ホワイトボードシステムの設計

これまでも記録がとれる仮想ホワイトボードシステムは数多くのもが商品化されているが、ほとんどがTCP/IPを利用したものである。TCP/IPは、IPアドレスというアドレスを後からハードウェアに対して付与し、ネットワークを構築して通信を行う。IPアドレスの設定はDHCPなどによって自動的に行えるが、DHCPサーバが必要である。DHCPサーバには複雑な設定項目があり、専門知識がないエンドユーザには扱うことが難しい。また、DHCPサーバがないネットワークや、何か問題が発生した場合には、IPアドレスを直接指定しなければならないため、ネットワーク設定が困難になる。

TCP/IPに比べて、イーサフォンはLANの範囲でしか通信を行えないが、外部ネットワークと積極的に通信を行わないアプリケーションではTCP/IPのアプリケーションより利便性が向上すると考えられる。本システムは、イーサフォン技術を用いるので、接続のための設定が非常に簡単である。さらに本システムでは、図を描きながら、リアルタイムで複数の参加者と情報を共有でき、その場で共同作業を実現することが可能である。

また、入力した内容をデータとして保存できることが特徴である。

3.2 仮想ホワイトボードシステムの構成

3.2.1 クライアントボード

図2のように、一番大きいコンポーネントはクライアントボードである。クライアントボードの中に二つ重要なコンポーネントがある。

まず、左の描画パネルは、すべての図面の操作を収集して、図面に表示する。簡単にいうとUser Interfaceである。イベントハンドラとは、JavaScriptで記述された、マウスの動きのような動作・操作に対して特定の処理を与えるための命令のことである。リンクの上にマウスポインタが乗った、ボタンがクリックされた、テキストボックスの内容

が変更された，フォームの内容が送信されようとするなど，ユーザーが行う様々な操作に対して特定の処理を行わせる．イベントに応じて適切に設定された処理は，Web ページをより動的・対話的なものにする事が可能である．

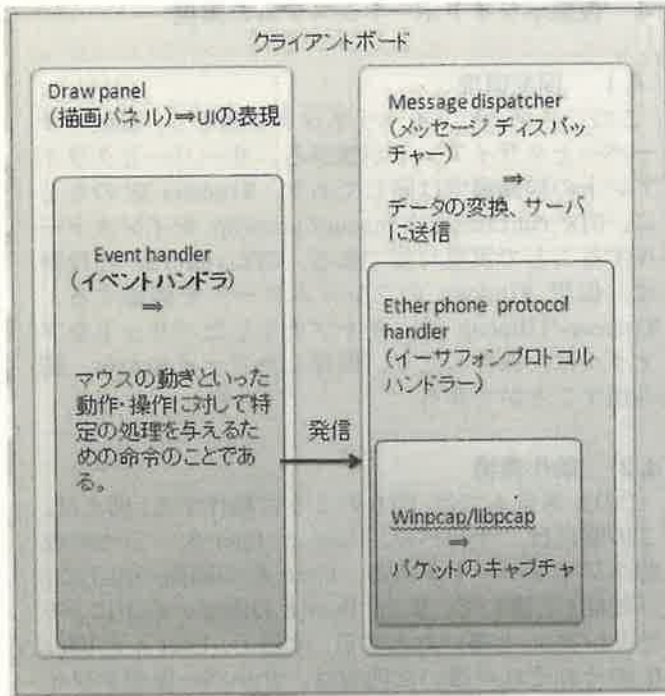


図2 クライアントボード

次に，右のメッセージディスパッチャーについて説明する．メッセージディスパッチャーの役割はイーサフォンプロトコルを通じて，操作した内容を変換して，サーバに送信することである．この結果，サーバ側の仮想ホワイトボードにも同じような操作がされる．メッセージ ハンドラーはイーサフォンを通じて，ブロードキャスト パケットを送信する．

3.2.2 サーバーボード

図3が図2と異なる点は，メッセージ・リスナーである．サーバ側ではブロードキャスト パケットを受信する．また，サーバ側の描画パネルにしらせて，同じの操作を命令する．クライアント側から送信された情報をサーバ側で受信し，処理するという形態をとる．

3.2.3 Key Point (GUI)

図4のように，このGUIはwindows あるいはLinux環境で使用可能である．windows ならば user32.dllが必要である．Linux ならば，x11 をインストールしなければならない．

次にGTK windows のは，windows とLinux のOS 両方のOS で使えるようにするために用いた．GTK イベントハンドラーでは，すべてのGTK windows のイベントに反応する．一番外側は，描画ロジックである．Winpcap/libpcap がOS ネットワークのコアとともに動いている．Winpcap/libpcap はキャプチャしたパケットをファイルに保存する．

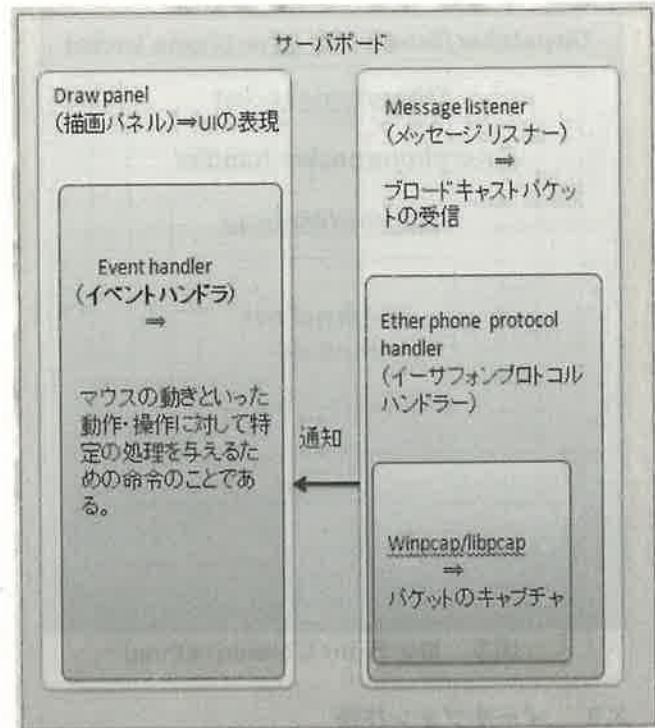


図3 サーバーボード

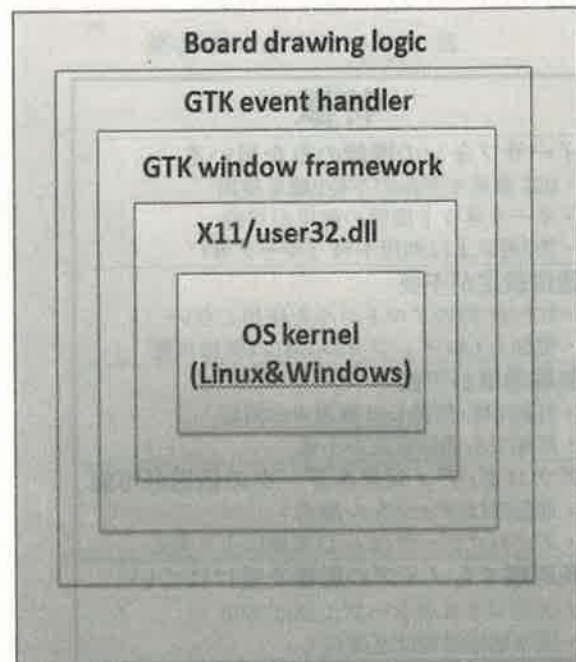


図4 Key Point (GUI)

3.2.4 Key Point (Communication)

図5はネットパケットの Key Point である．Winpcap/libpcap がOS ネットワークのコアとともに動いている．Winpcap/libpcap はキャプチャしたパケットをファイルに保存する．

イーサフォンパケットハンドラーの役割は，イーサフォンプロトコルを通じて，ブロードキャスト パケットを選択して，受け取る．イーサフォンソケットは受け取ったパケットを解析して，有効なデータを一番外側の socket に送信する．

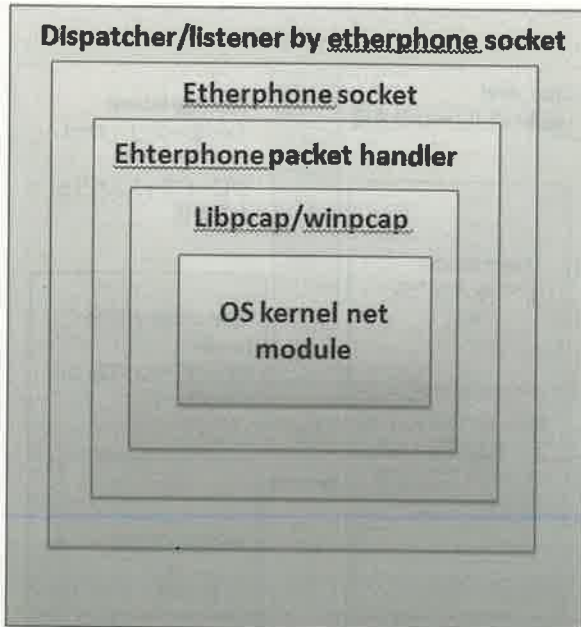


図5 Key Point (Communication)

3.3 イーサフォン技術

3.3.1 イーサフォンの特徴

イーサフォンとは福井大学が特許を有する通信技術（特許4110251号）のことである。

表2 イーサフォンの特徴

特徴	
1	イーサフォンの機能のみを用いる <ul style="list-style-type: none"> OSI 参照モデルの下位2層を使用 イーサネット機器の使用が可能 第3層以上は利用不可（ルータ等）
2	通信設定が不要 <ul style="list-style-type: none"> TCP/IP 等のプロトコルを使用しない 電源と LAN インフラがあれば使用可能
3	無線通信が可能 <ul style="list-style-type: none"> 有線 LAN/無線 LAN 章双方に対応 無線でも通信設定が不要
4	アナログ/デジタルデータの伝送が可能 <ul style="list-style-type: none"> 通信時はデジタル形式 アナログデータは A/D 変換により対応
5	長距離でもノイズの影響を受けにくい <ul style="list-style-type: none"> カテゴリ 6 のケーブル長は100M 信号増幅措置は必要なし

OSI 参照モデルの下位2層に相当するイーサネットの機能のみを使用することによって通信を行う技術のことである。それにより TCP/IP 等のプロトコルを使用しないで通信できる。しかし、当然のように第3層以上のプロトコルであるルータ等は超えることができない。イーサフォンはネットワークに LAN ケーブルを繋ぎ電源を供給することで使用することができるが、無線による通信も可能でその場合も通信設定の必要がない。通常時はデジタル形式でデータの伝送を行っているが A/D 変換を用いることによりアナログデータにも対応できる。また、カテゴリ 6 のケーブルを使用し、ケーブルの最大長は100mであ

る。信号増幅装置は必要なく、長距離でもノイズの影響を受けにくい。この中で通信設定なしにネットワークに接続することができるというのがイーサフォンの利点である。

4 仮想ホワイトボードシステムの実現

4.1 開発環境

このシステムは、イーサネットを通じて、複数のサーバーとクライアントが繋がる。サーバーとクライアントの稼働環境は同じであり、Windows XP のもとに、GTK runtime と Winpcap/libpcap をインストールすることで実現可能である。GTK runtime の役割は、仮想 Windows のフレームワークを構築する。Winpcap/libpcap は、キャプチャしたパケットをファイルに、保存したり、保存したファイルから、読み出すことができる。

4.2 動作環境

このシステムでは、図6のように動作する。例えば、この図には、サーバー、User A、User B、三つの仮想ホワイトボードがある。User A の画面の左上に、「知能」と書いて、また、User B の画面の右下に「モデリング」と書いたとする。すると、User A と User B のそれぞれが書いた内容は、サーバー仮想ホワイトボードに移される。

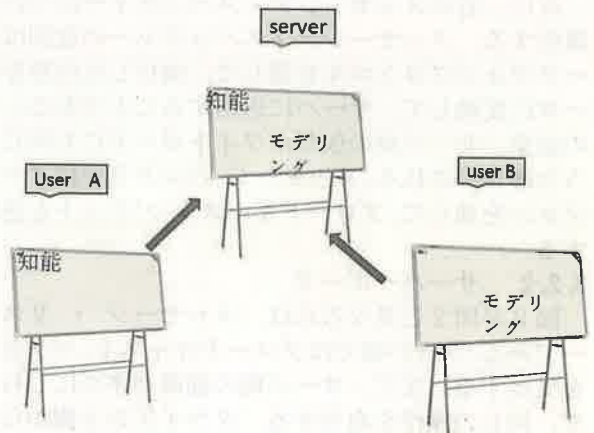


図6 動作イメージ

ユーザー側で、入力した内容をブロードキャストパケットで、サーバー側に発信する。サーバー側が、キャプチャしたパケットを選択して、有効なデータがサーバー側に入力される。

4.3 仮想ホワイトボードシステムの実装

本仮想ホワイトボードシステムは、参加者のコンピュータで動作する。それぞれのクライアントとデータの送受信を行うサーバーからなる。サーバーは、各クライアントからのデータを受け取り、他のクライアントへ送信する。このシステムは、誰でも気軽に書きこめる。

図7のように、一番上のオブジェクトは、保存と開く機能を持つ。描いたものも、保存もできるので、議論の結果を他の人と後で共有することも可能である。また、ペンのサイズの調整や色の変換をすることもできる。

また、みんなで編集したり、画面を共有したり、LANの範囲内でスケッチを共有することができる。

4.4 仮想ホワイトボードシステムの動き

図8は、4人の協調作業で作った防災必需品リストである。まず利用者Aは、インタフェースに、「防災必需品」と描いた。利用者B、Cも「防災必需品」を巡って、利用者Aの描いた「防災必需品」の下に、赤字で「簡易トイレ」と青の「暖房用品」を追加した。この時、利用者Dが、LANに接続し、システムを起動した。利用者Dが、みんなの作業を見て、最後に他の色で「防災物質」を追加した。

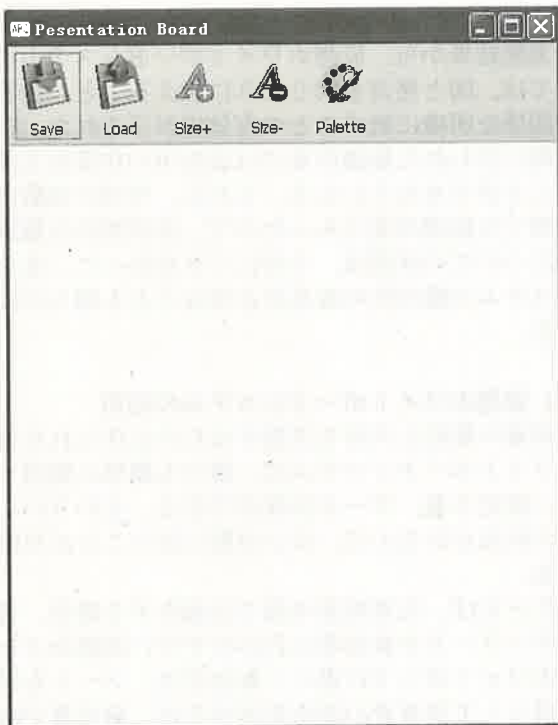


図7 仮想ホワイトボードシステム

以上が、協調作業のイメージである。仮想ホワイトボードシステムを用いることで、色を変換したり、みんなのペンサイズを調整したりすることで防災必需品リストを協働により完成させることができる。

5 実験および実験結果

5.1 実験

提案システムの有効性を検証するため、従来のホワイトボードより仮想ホワイトボードシステムが使いやすいかどうかを実験した。



図8 仮想ホワイトボードシステム



図9 実験の様子

図9のように、6人の大学院生からなる被験者に対し、構築した仮想ホワイトボードシステムを用いて、実験を行った。各被験者は、普段授業やセミナーのとき、ホワイトボードを使っていた学生で構成され、互いに面識がある関係である。最初に、システムの使用方の説明を行い、15分程度使ってもらい、操作に慣れてもらった。その後、6人で30分程、このシステムを使って、議論などを実施した。そして、この仮想ホワイトボードシステムに関するアンケートをとった。

5.3 実験結果

アンケート Q1～Q3に関する主な意見を、表3に挙げる。

表3 Q1～Q3に関する主な意見

Q1	月2～4回を選択した人が多かった。
Q2	言葉で、はっきり説明できないとき
	先生の授業の時
	みんなに、情報を連絡するとき
Q3よく使用する理由	図や絵を使えば、問題が簡単に説明できる
	研究室スタッフに、会議日時などの連絡する時
	意見を出し合い、意見の集約まで、できるため
Q3使用しない理由	字が汚いので、書きたくない
	面倒くさい
	みんなの前に立つことが、恥ずかしい

表4 従来のホワイトボードに関するアンケート結果

評価(悪1 ← → 5 良)	1	2	3	4	5	平均
Q4 について (人)	0	2	3	1	0	2.5

表5 情報の集約と共有を支援する仮想ホワイトボードシステムに関するアンケート結果

評価(悪1 ← → 5 良)	1	2	3	4	5	平均
Q5 について (人)	0	1	3	2	0	3.1
Q6 について (人)	0	0	3	2	1	3.6
Q7 について (人)	1	0	2	2	1	3.3

Q4 従来のホワイトボードに関するアンケート結果を表4に示す。

Q5～Q7 情報の集約と共有を支援する、仮想ホワイトボードシステムに関するアンケート結果を、表5に示す。

従来のホワイトボードが、役立ったかについて、アンケート調査をした評価は、5段階で、役に立たないは「1」、普通は「3」、役に立つは「5」と設定した。評価結果の平均は、2.5である。

Q6「仮想ホワイトボードシステムは、従来のホワイトボードの問題点を改善したと思いますか」について、平均点は3.6であったが、3人の評価は3点

であった。その理由として、ペンの太さ調節機能は、使いにくいという理由であった。これを改善する方法については、検討の余地があるので、今後の課題とする。

また、Q7は、6人中5人が、3以上に評価を選択しており、とても有用であると考えられる。しかし、1人だけ評価1を選択していた。これに関して、何もコメントが書かれていなかったため、理由はわからないが、必要ないと思う人もいるということがわかった。

そして、Q7で、従来のホワイトボードより、仮想ホワイトボードシステムは、役立ったかどうかの、アンケート評価結果は、平均は3.3であり、集約と共有を支援する仮想ホワイトボードシステムは、従来のホワイトボードより、使いやすいことが判明した。

6 考察

実験結果から、仮想ホワイトボードシステムについては、図と発言を同じように扱えること、発言間の関係を明確に表すことの有効性が示された。また、実際に行われた協調作業では図を用い作業を支援することができたといえる。しかし、今回の実験は短時間での協調作業であったので、非同期的な協調作業についての評価は、十分にできなかった。また、システムの操作性の改良が必要なことも明らかになった。

6.1 仮想ホワイトボードシステムの応用

情報の集約と共有を支援するために作られた仮想ホワイトボードシステムは、誰でも簡単に使用できる、設定不要、データが保存できる、といういくつかの利点があるので、広い分野に使うことが可能である。

たとえば、災害対策本部で会議をする場合、普段はキーワードや参加者にわかりやすい図形などを仮想ホワイトボードに書く。参加者は、ノートを保存手段として発表者の話を記述するが、発表者が時間の都合などで早口で話した場合、一つの話目が終わって内容をすぐ消したり次の話題に行くことがよくある。参加者は、間に合わなく記述できない恐れがある。この時、仮想ホワイトボードシステムが有用である。一つの部屋で、ネットワークを通じて、発表者は、仮想ホワイトボードシステムの画面にキーワードとか図形などを書いて、リアルタイムで複数の参加者と共有できる。参加者も自分の意見と考えなどが、仮想ホワイトボードシステムの画面に書ける。仮想ホワイトボードシステムは、書いたことをすぐ他の人のスクリーンに反映でき、情報を共有することが可能になる。会議が終わったあと、仮想ホワイトボードに書いた内容を印刷することもできるので、参加者はプリントを持ち帰って、参考にすることもできる。

7 まとめと今後の課題

7.1 まとめ

情報の集約と共有を支援するため、仮想ホワイトボードシステムの開発をおこなった。

本システムを用いると、参加者や議題が当事者以外でも分かり、必要に応じてすぐに会議に参加できるオープンな環境である。会議参加者でなくても飛び入りで議論に参加できるため、周囲の持っている情報が集まりやすくなる。データ変更やホワイトボード情報をそのままデータ化しながら議論を進めることができる。議論をどんどん可視化することで、情報は暗黙知から形式知となり、確実に共有化され、透過性のある会議になる。参加者に、常に見られているという緊張感を与え、無駄話や目的の無い議論を抑制させ、関係者を巻き込んで、その場で意思決定を行うことにより、議論のスピードがアップする。参加者間の情報共有や、共同作業、トップ方針、一斉通知など全員での情報共有など、様々な使い方を活用できる。

開発したシステムは、多くの社会、学校、研究室が所持している、従来のコンピューターのみを準備すればよいということもあって、将来的には、LANを中心に多くの方々に、使ってもらえると考えている。

7.2 今後の課題

今回のシステムでは、誰もがいつでもオブジェクトの操作を自由に行うことができる。しかし、参加者の人数が増えてきたら、それぞれの参加者が好き勝手に操作することによって、仮想ホワイトボードの記述が複雑化してしまう。これを解消するために、例えば、自分の作成したオブジェクトのみしか動作させないようにしたり、会議をまとめる役割の人しか動作させないように制限をつけたりすることも考えられる。また、ネットワークを利用した犯罪は劇的に増加し、問題視されている。セキュリティの問題も考えなければならない。

文献

- [1] Richard J. Anderson, Crystal Hoyer, Steven A. Wolfman, Ruth Anderson: A study of digital ink in lecture presentation. CHI: 567-574 (2004).
- [2] 辰川肇: “ノート作成用アプリケーションの研究”, 東京大学大学院平成 13 年度修士論文(2002).
- [3] mimio: <http://www.kokuyomimio.com/>.
- [4] PoinTech: <http://www.plus-vision.com/PoinTech/index.html>.
- [5] Sun Microsystems - Java テクノロジ: <http://jp.sun.com/learnabout/java/>.
- [6] Creating a GUI with JFC/Swing: <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/uiswing/>.

[7] 東京農工大学中川研究室: http://www.tuat.ac.jp/nakagawa/index_ja.html.

[8] 柏原正三: Java GUI コンポーネント完全制覇, 技術評論社 (2002).

[9] 戸松豊和: Java プログラムデザイン, SOFTBANK.

[10] 小池英樹, 小林貴訓, 佐藤洋一: “机型実世界指向システムにおける紙と電子情報の統合および手指による実時間インタラクションの実現”, 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 3, pp. 577- 585 (2001).

[11] 暦本純一: “InfoRoom 実世界に拡張された直接操作環境”, インタラクション 2000, pp. 9- 16 (2000).

[12] 酒井慎司, 三末和夫, 田中二郎: “ガリバー: 板書内容の再利用環境”, 第 5 回知識創造シンポジウム, pp. 119- 126 (2008).

[13] 細谷英一, 北端美紀, 佐藤秀則, 原田育夫, 野島久雄, 森澤文晴, 武藤伸一郎: “実世界インタラクションのためのミラーインタフェース”, インタラクション 2003, pp. 95- 96 (2003).

[14] 飛田 春樹, 白井 治彦, 黒岩 丈介, 小高 知宏, 小倉 久和: “イーサフォンによる授業支援システムの実現”, 全国大会講演論文集 第 70 回平成 20 年, pp. 661-662 (2008).

A Study on Harmful Rumor about Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident in Newspaper

Sachiyo KAMIMURA* and Yoshimi KAWAMOTO*

(Received February 10, 2012)

Harmful rumor have repeated by nuclear power plant accidents. But harmful rumor is not understood by general public. Moreover, literature review on harmful rumor can't grasp the actual condition in detail. In this paper we intend to conduct surveys on the actual conditions of harmful rumor by Fukushima No.1 nuclear power accident. And we have propose subject, situation, and feature of countermeasure against harmful rumor. From the results of content analysis, there are summarized in 13 subjects. It is grasped that 13 subjects have variety of harmful rumor not only goods but also human-rights issue by the accident from Asahi newspaper. Common points of countermeasure are supply of information. These are performed by government and victim.

Key Words: Harmful Rumor, Countermeasure Against Harmful Rumor, Subject of Harmful Rumor, Newspaper, Understanding of Harmful Rumor

1. Introduction

Academic journal and newspaper made several important statements on the lessons and reflections from Fukushima No.1 nuclear power plant accident occurred in March 11, 2011. Yamaguchi^[1] says that ensuring nuclear safety is thought of universal standard. There are five important affair about defense in depth. Two of them are risk management and emergency response. In detail, the universal standard is promised to doing accident management and emergency response if nuclear accident get above design dimension or radioactive material away in nuclear plant. He says that Japan have an absence of understanding and knowledge of important affair.

Harmful rumor is also similar to lack of understanding and knowledge of those two. Because harmful rumor have repeated by nuclear power plant accidents. And harmful rumor have greater impact in society and hard to understand. Literature review on harmful rumor can't grasp the actual condition in detail.

In this paper, we intend to conduct surveys on the

actual conditions of harmful rumor by the accident. Moreover, we have propose subject, situation, and feature of countermeasure against harmful rumor.

2. Research Content

We clarify the details of accident harmful rumor in newspaper. Meantime, the survey used newspaper because it has strong influence and credible data^[2]. Also the survey extract article about harmful rumor from newspaper and magazine search service in Nifty.

First, we had count the number and percent of the article about harmful rumor. And we select the article to analyze.

Next, we had content the analysis based on, subject content, opinion and countermeasure against harmful rumor.

Lastly, we have proposed that subject, content and feature of countermeasure by the accident.

3. Feature of Harmful Rumor by Fukushima No.1 Nuclear Power Plant Accident in Newspaper

* Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course,
Graduate School of Engineering

3.1 Analytical Subject and Method

Utilization procedure of searching service is configure for word of search, newspaper company and period.

Word of search specifies "Fukushima No.1 nuclear power " and " harmful rumor". Newspaper specifies Asahi newspaper and period is from March 11, 2011 to November 31 (the analysis time). Also search condition specifies article included headline or text.

Articles were found 358 from result of search and organized by each month. Numbers and percent of article show Table 1. In this survey we treat number of search as number of article ¹⁾.

Table 1 show that the number of article are concentrated in two month after the accident and slowly decreased afterward. Although number of article vary each month, but it is relatively stable. Also, articles from March to May are much more large number of article than other period when viewed on three month basis. Moreover analytical subject is 148 articles from March to May to learn about situation and countermeasure against harmful rumor in this period.

Next, we did content analysis in order to grasp situation and countermeasure against harmful rumor by the accident article of newspaper. Table 2 shows the subject of harmful rumor and number of article. And table 3 and table 4 show the content sand countermeasure against harmful rumor.

Table 1 Number and percent of article

Month	Number of Article (Particular)	Percent of Article (%)	Subtotal (%)
March	16	4	41
April	80	22	
May	52	15	
June	44	12	30
July	40	11	
August	24	7	
September	38	11	29
October	29	8	
November	35	10	
Total	358	100	100

3.2 Subject of Harmful Rumor

As shown table 2, there are 13 subjects of harmful rumor by the accident from Asahi newspaper. Contents of 5 are (No.1) Agriculture, Forestry and Fisheries, Food industry, (No.2) Manufacture, (No.3) Export business, (No.4) Tourist business, and (No.5) Service business. In the 5 subjects guiding principle of midterm in committee for disputes concerning nuclear power damage have determine extent of restitution ^[3]. The remaining 8 subjects are (No.6) Human rights, (No.7) Schooling, (No.8) Local resident, (No.9) Nuclear power stations are located, (No.10) Event · Convention, (No.11) Japan, (No.12) Music and (No.13) Sea bathing · Pool. These are positioned in this paper. By the look number of article,

Table 2 Subject of harmful rumor and number of article

No	Subject	Damage situation (Particular)		Countermeasure (Particular)		
		Content	Opinion	Execute	Inquests	Requirement
1	Agriculture, Forestry and Fisheries · Food industry	20	14	29	8	20
2	Tourist business	10	0	3	2	4
3	Manufacture	6	2	6	0	1
4	Service business	5	0	0	0	0
5	Export business	7	2	8	1	1
6	Human rights	1	0	0	0	0
7	Schooling	1	0	1	0	1
8	Local resident	1	1	1	0	0
9	Nuclear power stations are located	0	1	0	0	0
10	Event · Convention	4	1	0	0	0
11	Japan	3	2	0	0	0
12	Music	1	1	0	0	0
13	Sea bathing · Pool	1	1	1	0	0
14	Others	1	5	8	2	18

※Although worded differently as price decline and rapid fall in price the same contents is one count.
Exempli gratia) Price decline, Rapid fall in price → Total 1 count

we were found that Agriculture, Forestry and Fisheries and Food industry are affected most severely by harmful rumor.

Thus we have clarified subject of harmful rumor by the accident. Next section, we clarify content and countermeasure against damage.

3. 3 Content and Countermeasure against Harmful Rumor

As shown Table 3 consumers tend to abstain from buying the products of disaster area and Japan.

Somewhere else there are price decline, refusal to deal, demand a certificate showing safety, denial of

transportation business, cancellation of lodging and a decline in tourists (in the heart of foreign citizen, elderly adult and groups). Also there are anxiety that statement like discrimination or bullying, decrease of kids and direct a cool look toward local where nuclear power stations are located.

As shown Table 4 countermeasure against harmful rumor are issuances of certificate showing safety, back up of sale, PR, survey and all that. Common points of countermeasure are supply of information and conduct more countermeasure for Agriculture, Forestry and Fisheries and Food industry.

Table 3 Contents of harmful rumor

No	Subject	Goods is clean	Production in the same prefecture* Produce of Japan	Toggleable	Limited	Price decline	Get turned down* Cessation of business	Safety (Certificate)	Hold off	Come down	Stop	News* Speech
1	Agriculture, Forestry and Fisheries* Food industry	○	○	○	○	○	○	○	○		○	
2	Tourist business				○					○	○	
3	Manufacture	○	○		○		○	○	○	○		
4	Service business			○			○			○	○	
5	Export business	○	○		○		○	○	○		○	
6	Human rights											○
7	Schooling									○		
8	Local resident						○					
9	Nuclear power stations are located											
10	Event* Convention						○			○	○	
11	Japan											○
12	Music										○	
13	Sea bathing* Pool									○		
14	Others											○

※If applicable ○

Table 4 Countermeasure of harmful rumor

No	Subject	Emergency temporary standard	Recompense	Support	Check	Survey	Sell goods at low prices	Work adjustment	PR* Statement	Mull measures	Pause in one's task	Certificate	Briefing session* Study session
1	Agriculture, Forestry and Fisheries* Food industry	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
2	Tourist business						○		○				
3	Manufacture								○				○
4	Service business												
5	Export business								○			○	
6	Human rights												
7	Schooling												○
8	Local resident												
9	Nuclear power stations are located								○				
10	Event* Convention												
11	Japan												
12	Music												
13	Sea bathing* Pool					○							
14	Others		○			○			○				

※If applicable ○

In conclusion, we are grasped that 13 subjects have variety of harmful rumor not only goods but also human-rights issue by the accident from Asahi newspaper.

Harmful rumor based on nuclear power different from harmful rumor that genesis in food-related like BSE or avian influenza and disaster like Great Hanshin Earthquake^{[4], [5]}. Because nuclear power harmful rumor have enormous influence of subject and content.

In fact we have studied to assess what state harmful rumor. In July 2007 author had worked out hearing survey to one Power Company about receive question and complaint of harmful rumor by the accident.

The power company say that inquiry and complain can't still in order. In reality, they didn't say about harmful rumor understanding.

4. Results

In this paper we intend to actual conditions survey of harmful rumor by the accident of Asahi newspaper article from March to May. In the result, we clarify, subject content and feature of countermeasure against harmful rumor by the accident. Here is a study result.

From the results of this survey, there are 13 subjects of harmful rumor by the accident article of Asahi newspaper. In the 5 subjects guiding principle of midterm in committee for disputes concerning nuclear power damages have determine extent of restitution. And the remaining 8 subjects are positioned in this paper. It is grasped that 13 subjects have variety of harmful rumor not only goods but also human-rights issue by the accident from Asahi newspaper. Countermeasure against harmful rumor is issuance of certificate showing safety, back up of sale, PR, survey and all that. Common points of countermeasure are supply of information. These are performed by government and Victim. But wounded party and all say that we ask new countermeasure of government.

Thus we have clarified, subject, content and countermeasure against harmful rumor by the accident.

Notes

1) We can check the research and analysis of amount of media reporting by article of nuclear power.

For example, search specifies article included headline or text. They're doing quantify the amount of article from

search result^{[6], [7]}. Also They're doing quantify the amount of article from space of article^{[8], [9]}.

This way, quantitative research method of article is not constant.

We had checked number and percent of the article about harmful rumor. In this survey we treat number of search as number of article.

References

- [1] A. Yamaguchi: Fukushima genshiryoku-hatudensyo jiko no keii to kongo, Fukui Shinbun, 2011.12.18, (2011).
- [2] Japan Newspaper Publishers and Editors Association: Besu-media to seikatsu-sya, Atarashii hyouka-jiku wo kangaeru, 3-26 (2009).
- [3] Genshiryoku-Songai-Baisyuu-Funsou-Iinkai: Tokyodenryoku-kabushiki-kaisha Fukushima daiichi daini genshiryoku-hatsudensyo-jiko ni yoru genshiryoku-songai no hani nado ni kansuru Chukan shishin, Agency for Natural Resources and Energy, 2011.8.5 (2011).
- [4] N. Ueno: Syokuhin no fuhyou-higai to risk-communication, The Japan Society for Science Policy and Research Management, Nenji-Gakujyutu-Taikai-Kouen-Youshi-syuu 22, 675-677 (2007).
- [5] A. Hokugo and S. Kimoto: A study on business continuance plan at disaster of hotels located in sightseeing area, Study Report of Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, 10, 159-167 (2006), [in Japanese].
- [6] J. Kitada: Impact of the TEPCO incident on the public's attitude to nuclear power generation —Periodic survey No.3—, INSS Journal, 10, 44-62 (2003), [in Japanese].
- [7] K. Okamoto and S. Miyamoto: JCO rinkai jiko-go no genshiryoku yoron, Nakanishiya (2004).
- [8] K. Ohnishi: Variation of public opinion regarding nuclear energy with the change of nuclear information by the media, Journal of the Atomic Energy Society of Japan, 40-7, 563-571 (1998), [in Japanese].
- [9] T. Tsuchida and H. Kimura: Research of the way of communicating information to the mass media by comparison with the media coverage about nuclear accidents, Journal of the Atomic Energy Society of Japan, 10-2, 132-143 (2011), [in Japanese].

アーク溶接した鋼材の溶接変形に及ぼすシールドガスの影響

齋藤 努* 竹下 晋正*

Effect of Shielding Gas on the Welding Distortion of Arc Welded Steels

Tsutomu SAITO* and Kunimasa TAKESHITA*

(Received January 12, 2012)

Bead on plate arc welding for steel sheets of S20C, SCr415 and SCM415 were performed varying oxygen content from 0 to 4% in shielding gas of argon containing 20% carbon dioxide. The effect of oxygen content in the shielding gas on the welding distortion of the steel sheets was investigated in connection with the weld bead shapes. In all the cases of steels, the angular distortions were not influenced with the oxygen content in the shielding gas. However, the standard deviations of the angular distortions were minimized in the case where the oxygen content in the shielding gas was 1~2%, regardless of the steels. The experimental results are discussed in connection with the stability of arc.

Key Words : Arc Welding, Shielding Gas, Welding Distortion, Angular Distortion

1. 緒 言

現在利用されている多くの溶接法の中で基本となる溶接法がアーク溶接法である。アーク溶接法の用途は幅広く、自動車やバイク、船舶、航空機など、多くの金属構造物で利用されている^[1-3]。しかしながら、金属部材の溶接では局部的に大量の熱が与えられるため、それによる局所的な不均一膨張と冷却中の収縮が生じ、その結果溶接後に部材の寸法や形状が変化する、いわゆる溶接変形が生じることが問題となっている^[4]。溶接変形は構造物の寸法精度や強度、美観性などに大きく影響することから、溶接変形を極力小さくすることが重要である。

溶接変形に影響を及ぼす主要因子として、溶接近傍部の急激な温度上昇による不均一な温度分布が挙げられる^[4]。温度分布は溶接時の熔融金属による熔融池形状と密接に関係しており、Fig.1(a)のように熔融池内の流れが外向きの場合には、部材上下で温度差が生じ、それに伴う上下の収縮量の差異で大きな変形が起きる。しかし、マランゴニ効果により Fig.1

(b)のように熔融池内を内向きの流れにすることで、ビード幅が狭く、溶込みが深くなり、不均一な温度分布が改善されると考えられる。マランゴニ効果とは、表面張力を低下させて熔融池内の流れを内向きに変える効果で、母材の微量酸素の影響により起こる^[5]。しかし、これは母材中の酸素であり、シールドガスに含まれる酸素による影響についてはほとんど研究されていない。また、シールドガスに酸素を加えることにより、シールドガスがビード断面形状（ビード幅及び溶込み深さ）に及ぼす影響^[6]については研究されているものの、溶接変形に及ぼす影響については研究されていない。

そこで本研究では、シールドガスに含まれる酸素の比率を変えて鋼材をアーク溶接し、溶接変形に及ぼすシールドガスの影響について検討する。

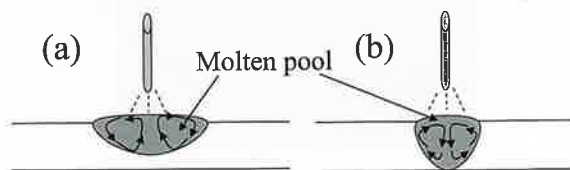


Fig.1 Schematic illustration of weld beads and their corresponding inner flow patterns: (a) outward and (b) inward.

* 大学院工学研究科機械工学専攻

* Mechanical Engineering Course, Graduate School of Engineering

2. 実験方法

2.1 試験材

試験材には長さ 160mm, 幅 130mm, 厚さ 4mm の S20C, SCr415 及び SCM415 の圧延平板を用いた。S20C, SCr415 及び SCM415 を試験材に用いた理由は, Cr と Mo は酸素と反応しやすく, 加えて Cr を含んでいる SCr415 や, Cr と Mo の両方を含んでいる SCM415 ではマランゴニ効果の影響がより現われ易いと考えられるため, C 量が同じで Cr と Mo 量に違いのある SCr415 と SCM415 を用いた。また, C 量が同じで Cr と Mo を含んでいない S15C を用いる予定であったが, 圧延平板材を用意することができなかつたため C 量の近い S20C で代替した。

2.2 溶接方法及び溶接条件

実験では, シールドガス中の酸素含有量の違いによる溶接変形の差異がより顕著に現われるように, Fig. 2(a)に示すように 4 ヶ所でばね拘束した。用いたばねのばね定数は 22.9N/mm とした。また, 実験時の抜熱状況を確認するため, 到達温度 191°C で色が変化する温度指示塗料を Fig. 2(b)に示す位置で試験材表面に塗った。試験材の片側だけに塗った理由は, 溶接時の温度分布が溶接線に対して対称となるからである。ばね拘束をするために試験材に空けた穴の位置, ばね定数及び温度指示塗料の感応温度, 位置は 2.3 で示される解析結果に基づいて決定した。

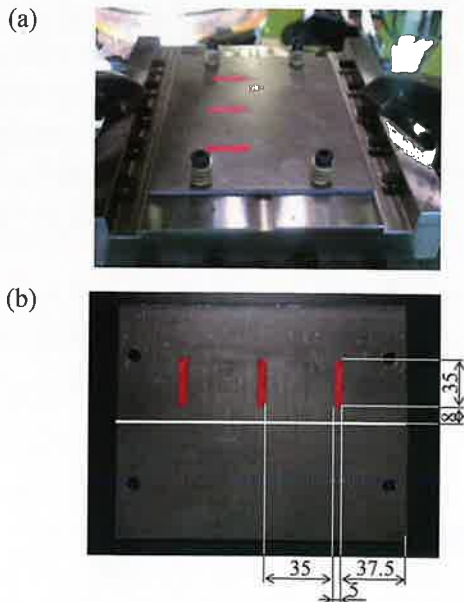


Fig. 2 Photographs of specimens showing (a) constraint using springs and (b) temperature designation coatings.

実験では Ar80%+CO₂20%に加える O₂ を 0, 1, 2, 3, 4%と変化させたシールドガスを用い, Table 1 に

示す溶接条件で各々 4 回, ビード・オン・プレート溶接を行った。また, 溶接終了 1 分後にばね拘束を外し, 空冷した。

Table 1 Welding conditions.

Welding current [A]	130
Arc voltage [V]	23.4
Wire extension [mm]	15
Welding speed [mm/s]	15
Gas flow rate [L/min]	22

2.3 拘束用穴の位置, ばね定数及び温度指示塗料の感応温度決定

2.3.1 解析モデル

溶接時に試験材を拘束するために空ける穴の位置, ばね定数及び温度指示塗料の感応温度を決定するため, 溶接・熱処理用有限要素解析ソフトウェア (SYSWELD) を用いて解析を行った。解析で使用したモデルを Fig. 3 に, 解析条件を Table 2 に示す。

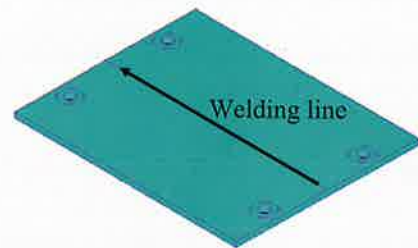


Fig.3 Model used in analysis.

Table 2 Analytical conditions.

Air temperature [°C]	20
Initial temperature [°C]	20
Welding speed [mm/s]	15
Welding heat input [W]	2850

2.3.2 解析結果

Fig. 4 に溶接終了 3600 秒後の板厚方向の変位, Fig. 5 に溶接終了 4 秒後の温度分布を示す。いずれの場合も, ばね定数は 22.9N/mm とした。

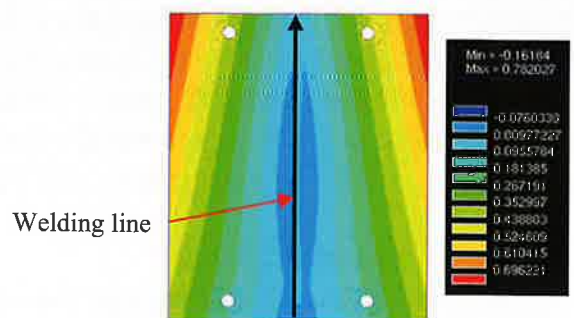


Fig.4 Calculated distribution for displacement in plate thickness direction at 3600s after finish time of welding.

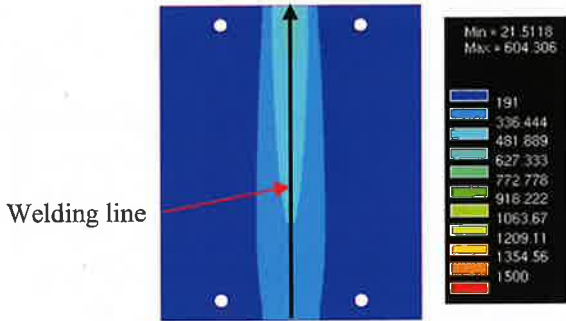


Fig.5 Calculated temperature distribution at 4s after finish time of welding.

Fig. 4 より, 板厚方向の変位が溶接線に対してほぼ対称であることがわかる. また, Fig. 5 より, 191°C の等温線が到達温度幅を測定する際に遠すぎず近すぎない位置にあることがわかる. これらの解析結果より, 試験材に空ける穴の位置, ばね定数及び温度指示塗料の感応温度を決定した.

2.4 ビード断面形状及び到達温度 191°C幅測定

ビード断面形状 (溶接ビード幅及び溶込み深さ) は, 溶接した試験材のビード部分を Fig.6(a)の点線の位置でマイクロカッターを使用して切断し, 測定面 (Fig. 6(a)の赤太線側) をエメリー紙で研磨した後, 粒径 3 μm のアルミナの懸濁液を用いてバフ研磨で鏡面仕上げを行った. その後, 測定面を 3%硝酸アルコール溶液でエッチングし, 光学顕微鏡を使用して撮影した写真を画像データとして取り込み, 画像処理ソフトを用いて測定を行った. Fig. 6(b) にエッチング後の画像とビード断面形状の測定場所を示す.

また, アークの安定性及び実験時の抜熱状況を確認するため, 溶接後の試験材表面を画像データとして取り込み, 画像処理ソフトを用いて到達温度 191°C幅の測定を行った. 測定では Fig. 7 に示すように, 溶接開始側から 40, 80, 120mm の位置で, ビードの中心から到達温度 191°Cの間隔を測定し, その値を到達温度 191°C幅とした.

(a)

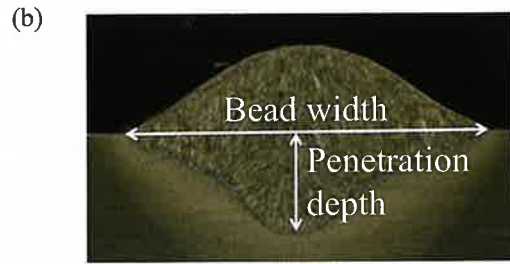
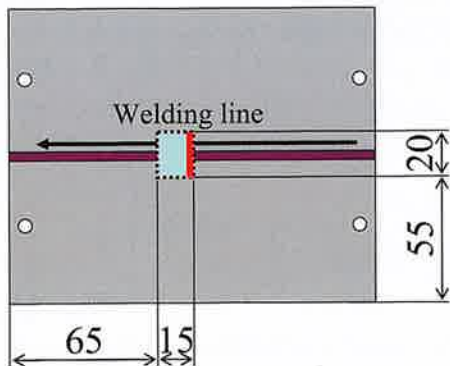


Fig.6 Position cut for bead shape observation (a) and photograph of bead section (b).

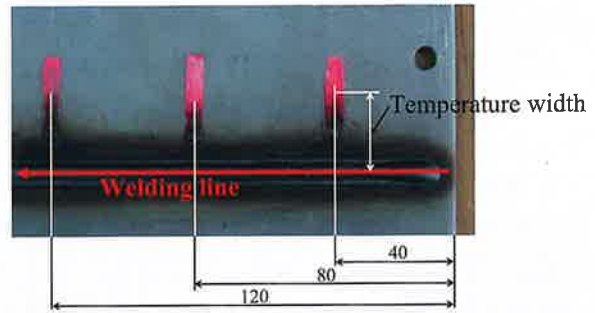


Fig.7 Photograph showing temperature width measurement.

2.5 板厚方向の変位測定

接触式三次元測定機を使用して, 溶接前後の試験材裏面の板厚方向の変位を Fig. 8 に示す 30 点で測定した. 試験材裏面の板厚方向の変位を測定した理由は, 表側を測定した場合, 溶接の際に発生するスパッタ (金属粒) によって, 正確なデータが得られない可能性があるためである. 測定時には, Fig.9 に示されるように試験材の一箇所をボルトで固定した.

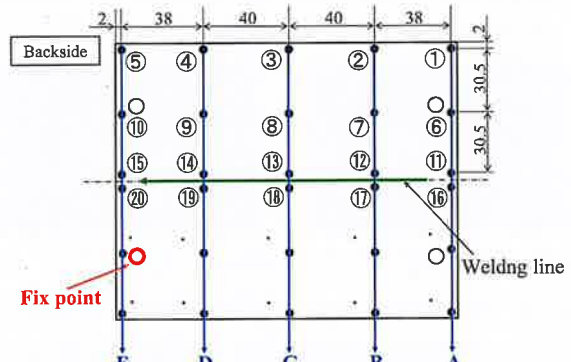


Fig. 8 Points conducted measurement for displacement in plate thickness direction.

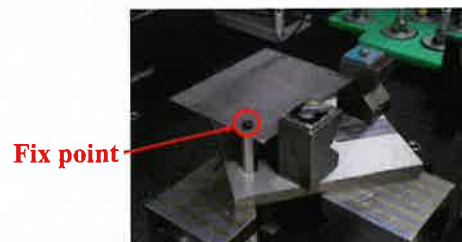


Fig.9 Appearance of displace measurement apparatus.

反応が起こる。

- 2) 二酸化炭素の解離による吸熱反応によりアークの温度が下がるため、アークは熱損失を抑制しようと収縮してアーク径は小さくなる^[7]。
- 3) 酸素にはアークの温度を上昇させる効果があり^[7]、二酸化炭素が解離した時に発生した酸素によりアークの温度が上昇し、アーク径が大きくなる。
- 4) しかし、酸素の量が少ないため、二酸化炭素の解離による吸熱によりアークの温度が下がり、アーク径が小さくなる。
- 5) アーク径が大きく変動することで、角変形量のバラツキも大きくなる。

[酸素含有量 1, 2%のとき]

- 1) 高温下で二酸化炭素が吸熱をともなって解離するためアークの温度が下がろうとするが、シールドガスに含まれる酸素によってアークの温度が上昇するため、アークの温度はあまり変化しない。
- 2) アークの温度があまり変化しないためアーク径の変動も小さく、角変形量のバラツキも小さくなる。

[酸素含有量 3, 4%のとき]

- 1) 高温下で二酸化炭素が吸熱をともなって解離するが、酸素量が多いためアークの温度が上昇し、アーク径が大きくなる。
- 2) アークの温度が上昇することにより金属蒸気が増える。
- 3) 金属蒸気が電離する時にエネルギーを使うためアークの温度が下がり、アーク径が小さくなる。
- 4) アーク径が大きく変動することで、角変形量のバラツキも大きくなる。

以上のメカニズムより、酸素含有量が 1~2%のときに角変形量のバラツキが最も小さくなったと考えられる。

4. 結 言

本研究では、アーク溶接法において、シールドガスに含まれる酸素の量を 0~4%と変えて S20C, SCr415, SCM415 のビード・オン・プレート溶接を行い、シールドガスが溶接変形に及ぼす影響について検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) いずれの鋼種の場合も、酸素含有量が変わってもビード幅が狭く、溶込みが深くなる、いわゆるマランゴニ効果の影響はなかった。
- (2) いずれの鋼種の場合も、酸素含有量が変わっても角変形量に影響はなかった。しかしながら、酸素を 1~2%加えることでアークの安定性が増し、

角変形量のバラツキが小さくなった。

参考文献

- [1] 鷹羽新二：溶接学会誌, 78-8, 45-56 (2009).
- [2] 奥本泰久：溶接学会誌, 79-6, 51-56 (2010).
- [3] 近藤正恒：溶接学会誌, 79-8, 42-51 (2010).
- [4] 寺崎俊夫：溶接学会誌, 78-2, 55-62 (2009).
- [5] 松縄 朗：日本金属学会会報まてりあ, 34-4, 412-419 (1995).
- [6] 佐藤豊幸：溶接学会誌, 69-8, 33-36 (2000).
- [7] 田中 学：溶接学会誌, 77-2, 50-60 (2008).

塩析出下の土壌アルベドモデルの開発

寺崎 寛章* 草間 政寛** 福原 輝幸*

Development of Soil Albedo Model under Salt Crystallization

Hiroaki TERASAKI*, Masahiro KUSAMA** and Teruyuki FUKUHARA*

(Received February 10, 2012)

This paper proposes an empirical model, "Albedo model" to estimate the change in the albedo, al , of Chao soil associated with salt accumulation on the soil surface and the volumetric water content, θ , of the soil surface. A basic element of the model is derived from experimental results by a new method, "Box method". It is seen from the box method that (1) al in a dry state is larger than that in a wet state but the difference becomes small as the crystallized salt mass, $M_{crystal}$, increases, (2) al decreases with the increase in θ , for $0.05 \leq \theta \leq 0.30$. From these results and a similarity law of the dependency of al on θ , the albedo model was created in this study. The model made it possible to calculate the albedo of Chao soil with an arbitrary θ and $M_{crystal}$.

Key Words : albedo, albedo model, salt accumulation, crystallized salt, Chao soil, box method, soil filled plate method, volumetric water content

1. はじめに

近年, 世界的に拡大している環境問題の1つに, 土壌の塩害が挙げられる. 塩害とは, 土壌中の塩濃度の上昇により土壌の浸透圧が上昇し, 植物が十分な吸水を行えず, 枯死や生育障害を起こす現象である. 塩害は砂漠化の原因の一つであり, 中国やタイをはじめとする諸外国では, 塩害による土壌の不毛化や砂漠化した農地が多数報告されている^{[1], [2]}. 日本では, 台風によって九州地方で塩害が発生した例^[3]を除き, 特別問題視されていなかった. しかしながら, 先の東日本大震災に起因する津波によって, 東北地方を中心に23,600haの農地が海水により冠水し, 土壌中に浸入した塩類が農業の早急な再開を妨げている. 従って, 一刻も早い除塩が実施されるべきだが, 実際にはコストや実施手順, またはその除塩効果に不明な点が多く, 必ずしも順調に進んでいるとは言えない.

代表的な除塩方法の1つに, 土壌に淡水を灌水し, 土壌中の塩を洗脱するリーチング法^[4]が挙げられる. リーチング法は降水の多い地域には適しているが, 海水が陸側に浸入し易い地域, あるいは塩性地下水位の浅い地域では, 灌水によって地表と塩性地下水域の間に形成される水みちを介して, 蒸発に伴う2次の塩害を起こすことがある^[5].

このように, 除塩方法を検討する際には降雨・灌水(散水)による浸潤過程(塩類の下方移動)のみならず, 蒸発に伴う乾燥過程(塩類の上方移動)も重要となる.

蒸発の影響因子の1つに, 地表の日射反射率(アルベド, al)が挙げられる. 例えば, Blyth et al.^[6]は野外実験を行い, al および植生が蒸発に及ぼす影響をそれぞれ評価し, 蒸発量予測精度に及ぼす al の影響は無視できないことを示した. また, 従来から al は地表の体積含水率 θ および地表の析出塩量 $M_{crystal}$ に影響されることが報告されている. 例えば, Farifteh et al.^[7]は, 塩水湿潤-乾燥過程を経た土壌表面の分光特性を調べ, 土壌と純水を質量比1:2で攪拌した溶液の塩濃度と al の関係を定量評価したが, $al-M_{crystal}$ 関係には言及していない. Idso et al.^[8], Gu et al.^[9]およびFujimaki et al.^[10]は $al-\theta$ 関係を調べ, その分布形状は土性に依存しないことを示した. また, Fujimaki et al.^[10]は地表から

* 福井大学大学院工学研究科

** 福井大学大学院工学研究科建築建設工学工学専攻

* Dept. of Architecture and Civil Engineering

** Architecture and Civil Engineering Course,
Graduate School of Engineering

5mmおよび20mmの土壤に含まれる塩量と al を調べ、両者の関係の定量評価を試みたが、データのバラつきが多く、特定の関係を見出すまでには至っていない。この原因は、 al に影響を及ぼす $M_{crystal}$ の抽出(析出塩と土壤内塩の分離)ができなかったことに起因する。以上のように、 $al-\theta$ 関係に比して、 $al-M_{crystal}$ 関係を定量評価した研究例は少なく、依然として塩害の象徴とも言うべき析出塩の al に関して不明な点が多く、モデル化はできていない。

一般的に al は、植生や構造物のない周囲が開けた空間で全天日射量と反射日射量の比から求められるが^[11]、対象土壤が広範囲かつ均一に分布している必要がある。また al の測定は長期化し、多大な労力を要する場合があります、決して容易ではない。土壤試料に限られる場合、野外土壤を模した土壤盤法^[10]が用いられる。土壤盤法は、野外土壤に比べて少ない試料で済むが、試料の準備に要する労力が大きく、加えて測定された al には試料面積による補正が必要となる。また、小規模な装置で al を求める方法として分光特性法^[12]が挙げられる。分光特性法は予め al が既知の試料を用意し、試料と対象土壤を一画像に同時撮影することで、両者の輝度から対象土壤の al を推定する方法であり、測定期間が短く、労力が少なく済むなどの利点を有する。しかしながら、両者の輝度が必ずしも al を反映している保証がなく、 al の測定精度に課題を有する。また、ヒートランプ

を用いた室内アルベド測定^[7]では、太陽光の al が既知の試料を用意し、太陽光とヒートランプの al の比較に基づいて、ヒートランプの al を補正する必要がある。以上のように、既往のアルベド測定方法は必ずしも容易ではなく、それぞれ課題を有している(表1を参照)。

そこで本研究では、土壤盤法よりも小規模かつ簡易なアルベド測定方法(以下、ボックス法)を提案し、土壤盤法との比較に基づいてボックス法の精度を検証するとともに、ボックス法を用いた蒸発実験により、任意の θ および $M_{crystal}$ を有する土壤の al を推定できるアルベド予測モデルの提案を目的とする。

2. 実験概要

2.1 土壤盤法

実験は周囲に遮蔽物の無い福井大学の屋上で、図1に示す土壤盤(内法:1.5×1.5m、高さ:0.02m)を用いて2010年6月から8月にかけて行われた。土壤盤を白色シート(寸法:6×6m)の中央に設置し、中国の代表的な塩害土壤であるチャオソイル(シルト質ローム)を密度1500kg/m³で土壤盤に充填した。その後、土壤盤中央の地表から0.25m上方にアルベド計(Kipp & Zonen製)を設置して al を測定した。なお、この al を見かけのアルベド al_a と呼称する。

本実験では、土壤盤の表面積(2.25m²)がアルベド

表1 既往のアルベド測定法

測定法	コスト	試料面積	測定精度	労力	測定期間	備考
一般的な野外観測 ^[11]	低	大	高	大	長	天候による影響を受ける
土壤盤法 ^[10]	高	中	高	多大	長	
分光特性法 ^[12]	低	小	課題有り	小	短	al が既知の試料が必須
室内アルベド測定 ^[7]	高	小	不明	小	短	

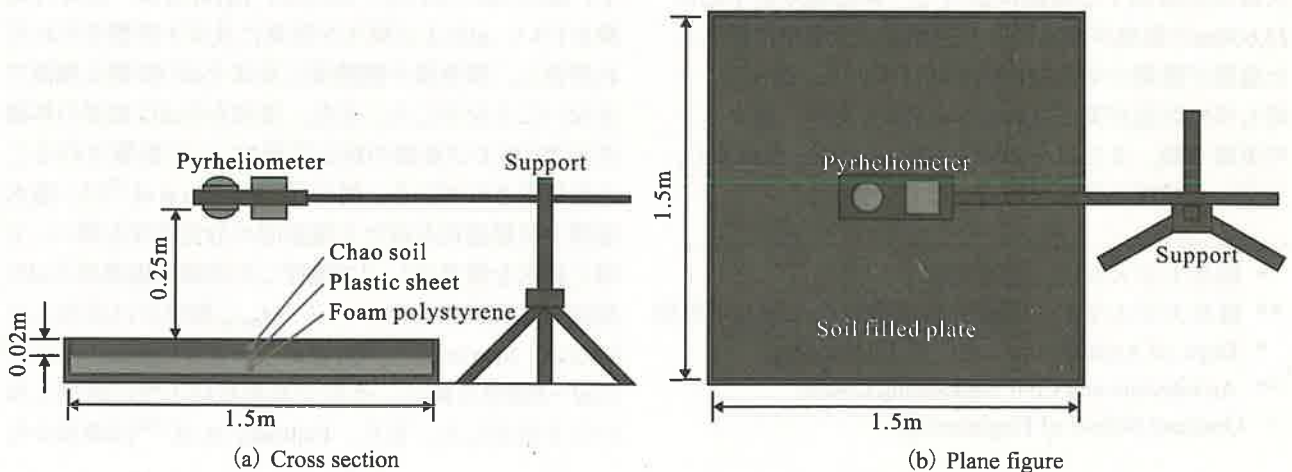


図1 土壤盤法概要

計の受感域 (6.33m^2)^[13]よりも小さいため、 al_a の補正が必要である。そこで、Fujimaki et al.^[10]に倣い、以下の手順で al_a の補正を行った。

- 1) アルベド計の受感域より十分に大きいシート (寸法: $6 \times 6\text{m}$, 色: 白色, 茶色, 青色および黒色の4種類)を屋上床面に敷設し, シート中央の上方 0.25m にあるアルベド計で測定された al を真の(信頼性の高い)アルベド al_r と呼称する。
- 2) 上述と同種のシート (寸法: $1.5 \times 1.5\text{m}$)を土壤盤上に敷設し, 屋上で土壤盤法と同様の手順にて装置を設置し, 各シートの al_a を測定する。
- 3) 各シートの al_a と al_r を比較し, $al_a - al_r$ 関係を求める。

次に, $al_r - \theta$ 関係を求めるための実験手順を述べる。

- 1) 既知量の淡水を含むチャオソイルを土壤盤に均一に充填し, 目標とする θ の土壤を作製する。
- 2) al_a を測定した後, 鋼管(高さ: 0.10m , 内径: 0.05m)を用いて, 地表から 1mm までの土壤を3箇所て採取する。
- 3) 採取後および炉乾燥後の質量を最小読み $1/1000\text{g}$ の重量計(Mettler Toledo製)で測定し, 両者の差より水量および土量をそれぞれ求める。
- 4) 土量と充填密度より土壤体積を求めた後, 水量と土壤体積より θ を求める。
- 5) $al_a - \theta$ 関係を求めた後, $al_a - al_r$ 関係より al_r を計算し, $al_r - \theta$ 関係を求める。

2.2 ボックス法

実験は図2に示す矩形の小型アルベド測定装置(以下, ボックス)を用いて恒温恒湿室にて行われた。木製のボックス(内法: $0.40 \times 0.40\text{m}$, 高さ: 0.70m)を用意し, ボックス底面に鏡(寸法: $0.39 \times 0.39\text{m}$)または

土壤トレイ(内法: $0.39 \times 0.39\text{m}$)を設置した(図2(a)を参照)。土壤トレイの底面には金網および織物を敷設し, 厚さ 20mm のチャオソイルを密度 $1500\text{kg}/\text{m}^3$ で充填した。その後, その表面中央から上方 0.18m に受感部を下向きにした小型短波放射計(プリード製)を, 上方 0.70m , 側面内壁から 0.10m の位置にヒートランプ(東芝製赤外線家畜用電球: $150\text{W} \times 4$ 基)を設置した。

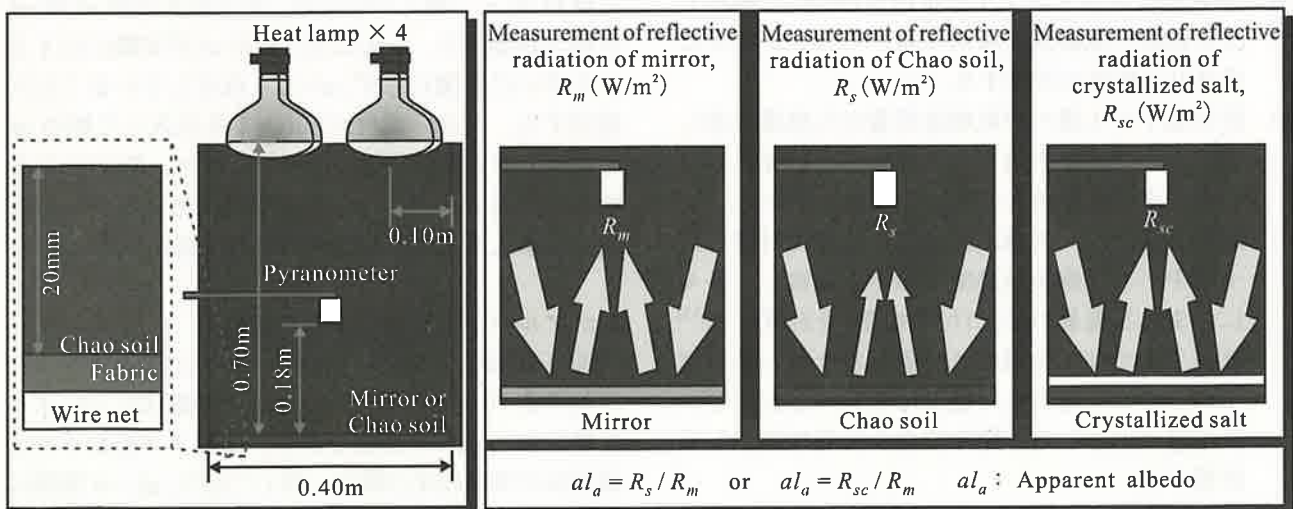
ボックス法では, 図2(b)に示すようにして al_a を求めた。ヒートランプを照射し, 鏡の反射フラックス R_m , チャオソイルの反射フラックス R_s および析出塩の反射フラックス R_{sc} を測定する。次に, 鏡の al を1と仮定し, R_m と R_s の比および R_m と R_{sc} の比を al_a とした。なお, 内壁面によるヒートランプの多重反射を極力小さくするため, 内壁に黒色布を貼り付けた。

光源およびアルベド計の受感域の補正はFarifteh et al.^[7]およびFujimaki et al.^[10]に倣い, 以下の手順で行われた。

- 1) 土壤盤法に用いた4種のシートに加えて, al が既知のケント紙およびトレーシングペーパー^[14](寸法: $0.39 \times 0.39\text{m}$)をボックス底面に設置し, それぞれの al_a を測定する。
- 2) 各シートの al_r は, 前述の土壤盤法で測定された各シートの al_r を採用する。
- 3) 1)と2)を用いて $al_a - al_r$ 関係を求める。

また, $al_r - \theta$ 関係は土壤盤法と同様の手順にて, 目標とする θ の土壤を土壤トレイに充填し, al_a を測定した。その後, θ を変化させて実験を繰り返し, 上述の $al_a - al_r$ 関係を用いて, $al_r - \theta$ 関係を求めた。

次に, $al_r - M_{crystal}$ 関係を求めるための実験手順を述べる。



(a) Set up of the box method

(b) Measurement of three different reflective radiation fluxes

図2 ボックス法

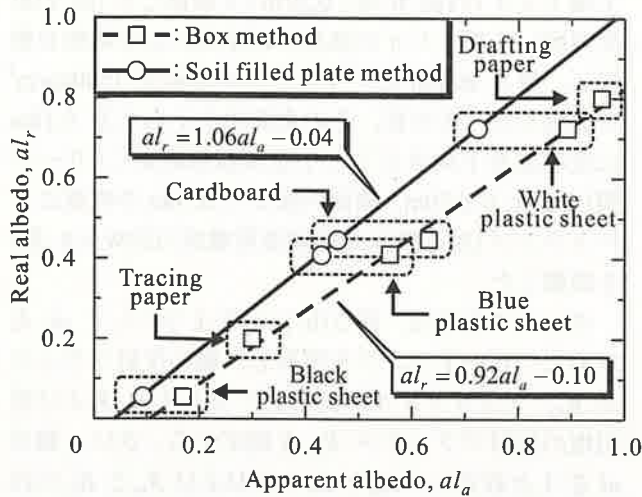


図3 見かけのアルベドと真のアルベドの関係

- 1) 土壤トレイ底面から塩水を常時供給して高含水状態を保持しつつ、地表から 0.55m 上方にヒートランプ(東芝製赤外線乾燥用電球:375W×4基)を設置し、これらを照射することで地表からの蒸発および析出塩の成長を促進させる。
- 2) (I) 湿潤土壤(給水停止後、重力排水およびヒートランプの照射によって目標とする θ に水分を制御した土壤)および (II) 乾燥土壤(給水およびヒートランプの照射停止後、土壤トレイを 60°C のオーブンに入れ、乾燥させた土壤)をそれぞれ作製する。
- 3) al_a を測定した後、土壤盤法と同様に、鋼管を用いて析出塩および析出塩下の土壤(1mm厚)のサンプルを3箇所それぞれ採取する。
- 4) 各サンプルの採取後および炉乾燥後の質量をそれぞれ測定し、両者の差より各サンプルに含まれる水量を求める。
- 5) 炉乾燥後の各サンプルを希釈水(純水)で攪拌し、その溶液の塩濃度と希釈水量から各サンプルに含まれる塩量を計算する。
- 6) 析出塩下の土壤の炉乾燥後質量から塩量を差し引くことで土量を求め、土壤盤法と同様にして土量、充填密度および水量より θ を求める。
- 7) 湿潤土壤では、析出塩および析出塩に付着した土壤中の水は飽和塩濃度であると仮定し、各々に含まれる塩量の合計(付着塩量)を計算する^[15]。乾燥土壤では、析出塩に付着した土壤と析出塩下の土壤の土量当りの塩量は等しいと仮定し、析出塩に付着した土壤の塩量を付着塩量として計算する。
- 8) 3)のサンプルの塩量から付着塩量を差し引くことで $M_{crystal}$ を計算する。

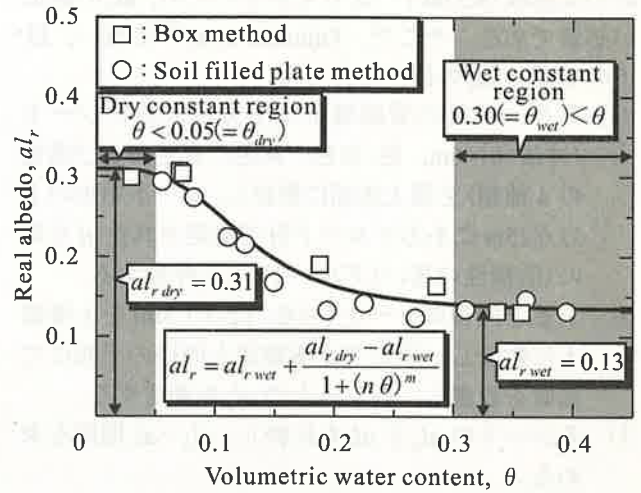


図4 真のアルベドと体積含水率の関係

- 9) $al_a - al_r$ 関係より al_r を求め、 $al_r - M_{crystal}$ 関係を求める。

なお、本論文中の θ および $M_{crystal}$ の値は3箇所のサンプルの平均値とした。

3. 実験結果および考察

3.1 見かけのアルベドと真のアルベドの関係

図3はボックス法(□)および土壤盤法(○)によって得られた $al_a - al_r$ 関係を示す。ボックス法および土壤盤法の $al_a - al_r$ 関係は、以下の式(1)および式(2)によりそれぞれ表される。

$$\text{ボックス法: } al_r = 0.92al_a - 0.10 \quad (1)$$

$$\text{土壤盤法: } al_r = 1.06al_a - 0.04 \quad (2)$$

式(1)、式(2)ともに線形であり、土壤盤法の al_a は概ね al_r と一致しているが、ボックス法の al_a は al_r を過大評価する。これは主に鏡の al が実際には1より小さいにも関わらず、 $al=1$ と仮定していることに起因する。なお、式(1)に $al_a=1$ を代入して鏡の al_r を推定した結果、0.82となった。また、式(1)により得られた各シートの al_r と土壤盤法により得られた al_r を比較した結果、その平均誤差は約4%であった。

3.2 アルベドと体積含水率の関係

図4は塩を含まない(淡水を用いた)チャオソイルに対するボックス法(□)および土壤盤法(○)によって得られた $al_r - \theta$ 関係を示す。ボックス法および土壤盤法の実験結果は概ね一致しており、 $al_r - \theta$ 関係は、以下の式により表される。

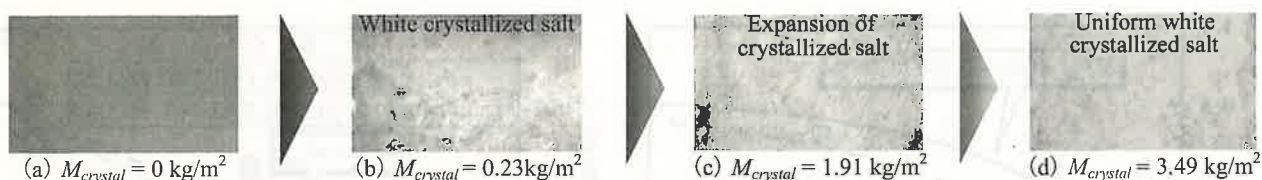


図5 乾燥土壌上の析出塩の成長

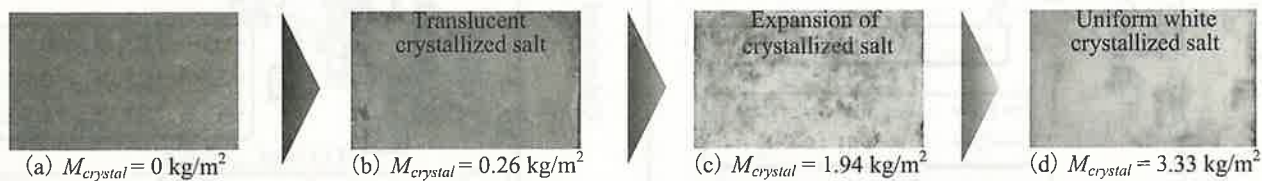


図6 湿潤土壌上の析出塩の成長

$$\left\{ \begin{array}{l} = al_{r,dry} \quad (\theta < \theta_{dry}) \quad (3) \\ al_r = al_{r,wet} + \frac{al_{r,dry} - al_{r,wet}}{1 + (n\theta)^m} \quad (\theta_{dry} \leq \theta \leq \theta_{wet}) \quad (4) \\ = al_{r,wet} \quad (\theta_{wet} < \theta) \quad (5) \end{array} \right.$$

ここに、 al_r および θ の添え字 *dry* および *wet* は、2.2 で述べた乾燥土壌および湿潤土壌をそれぞれ意味する。なお式中、 $al_{r,dry} = 0.31$ 、 $al_{r,wet} = 0.13$ 、 $\theta_{dry} = 0.05$ 、 $\theta_{wet} = 0.30$ 、 $n = 7.87$ および $m = 3.49$ である。

式(3)～式(5)に示すように、 $al_r - \theta$ 関係は3つの領域に分類される。すなわち、式(3)のように(I)乾燥によって al_r が一定値を示す領域、式(4)のように(II) al_r が θ の増大に伴い減少する領域、式(5)のように(III)十分な湿潤によって al_r が一定値を示す領域である。なお、(I)を乾燥一定域、(II)を遷移域、(III)を湿潤一定域、とそれぞれ呼称する。

また、他の土壌での $al_r - \theta$ 関係においても、同様に3領域に分類されることが認められている^{[8]~[10]}。

3.3 アルベドと析出塩量の関係

図5および図6は、 $M_{crystal}$ の増加に伴う乾燥土壌および湿潤土壌上の析出塩の成長過程をそれぞれ示す。両土壌ともに、 $M_{crystal}$ が少ない場合は析出塩が地表に斑点状に現れ、白色化が進行した(図5(b)および図6(b)を参照)。その後、 $M_{crystal}$ が増加するにつれて、析出塩は地表全体を覆う堅固な析出塩層を形成し(図5(c)および図6(c)を参照)、さらに析出塩の層厚が増すと、一様な白色状態となった(図5(d)および図6(d)を参照)。

上述のように、乾燥土壌および湿潤土壌に依らず、 $M_{crystal}$ の増加に伴い地表の白色化は進行するが、その過程において顕著な差異が観られた。写真では判別し難いが、乾燥土壌の析出塩は $M_{crystal}$ に無関係に白色であったのに対し、湿潤土壌の析出塩は $M_{crystal}$ が少ない場合、図6(b)および(c)に示すように、白色半透明であった。そのため、図6(b)および(c)は図5(b)

および(c)に比べて濃色となる。その後、析出塩層が厚くなるに従い、図6(d)のように透明性が消えて白色化が鮮明となり、図5(d)と比較して色彩の違いは殆ど観られなくなった。これは初期の湿潤土壌においては、析出塩が土壌水と付着することにより半透明化した為である。一方、析出塩層が厚くなるにつれて、土壌水と析出塩が付着し難くなるため、上述の透明化が生じなくなったと推察できる。

図7はボックス法によって求められた乾燥土壌および湿潤土壌の $al_r - M_{crystal}$ 関係を示す。両土壌ともに $M_{crystal}$ の増加に伴い al_r は非線形的に増加した。両土壌の $al_r - M_{crystal}$ 関係は、以下の式(6)および式(7)によりそれぞれ表される。

$$\text{乾燥土壌: } al_{r,dry} = 0.83 - 0.52e^{-0.39M_{crystal}} \quad (6)$$

$$\text{湿潤土壌: } al_{r,wet} = 0.81 - 0.68e^{-0.33M_{crystal}} \quad (7)$$

ここに、 e は自然対数の底を意味する。

$M_{crystal} = 0$ における $al_{r,dry}$ と $al_{r,wet}$ の差は0.18であったが、 $M_{crystal}$ の増加に伴いその差は小さくなった。これより、 $M_{crystal}$ の増加に伴い θ が al_r に及ぼす影響は小さくなり、 $al_{r,dry}$ および $al_{r,wet}$ は概ね0.8に漸近すると推測される。

4. アルベド予測モデル

上述のように、 $M_{crystal}$ の増加(析出塩の層厚が増す)に伴い $al_r - \theta$ 関係は変化すると予想される。そこで、任意の θ および $M_{crystal}$ に対する al_r を予測するモデル(アルベド予測モデル)は以下の3つのシナリオ(S1, S2 および S3)に基づいて構築される。

(S1) 図7より $M_{crystal}$ の増加に伴い $al_{r,dry} = al_{r,wet}$ になることが予想される。そこで、 al_r は θ に依存せず、

$$al_r = al_{r,dry} \quad (8)$$

に従うとする。ここで、 $al_{r,dry}$ は式(6)で与えられる。

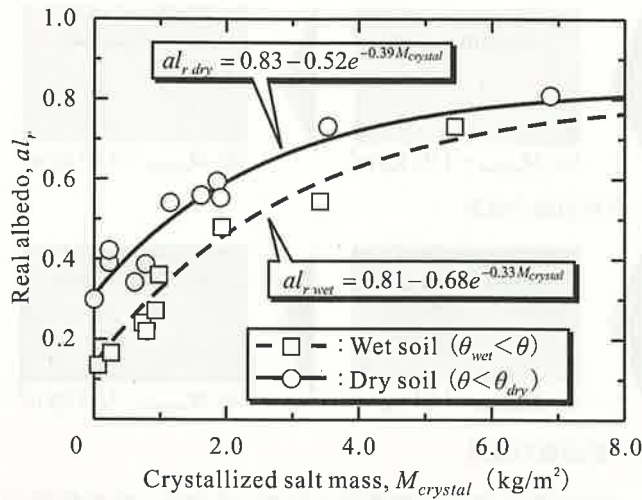


図7 アルベドと析出塩量の関係

(S2) 遷移域の $al_r - \theta$ 関係は $M_{crystal}$ に依らず式(4)に従い、 θ の適用範囲も変わらないとする。なお、式(4)中の $al_{r,dry}$ および $al_{r,wet}$ は式(6)および式(7)で与えられる。

(S3) S1 と S2 の中間として、遷移域の $al_r - \theta$ 関係は $al_{r,dry}$, $al_{r,wet}$, θ_{dry} および θ_{wet} を用いた線形比例関係で与えられるとする。すなわち、 $(al_{r,dry} - al_r) : (al_{r,dry} - al_{r,wet}) = (\theta - \theta_{dry}) : (\theta_{wet} - \theta_{dry})$ (9)

al_r は式(9)を変形して、次式となる。

$$al_r = al_{r,dry} - (al_{r,dry} - al_{r,wet}) \left(\frac{\theta - \theta_{dry}}{\theta_{wet} - \theta_{dry}} \right) \quad (10)$$

ここに、式(10)中の $al_{r,dry}$ および $al_{r,wet}$ は S2 と同様に、式(6)および式(7)で与えられ、 θ_{dry} および θ_{wet} も $M_{crystal}$ の値に関わらず、変化しないとする。

図8は S1, S2 および S3 のシナリオに従って計算された遷移域の $al_r (= al_{r,cal})$ と実験値 ($= al_{r,obs}$) の比較を示す。各シナリオの精度は θ および $M_{crystal}$ に依存するため、図中に全データ(A~F)の両値を記載する。S1の $al_{r,cal}$ (□)は θ の増大に伴う al_r の低下が考慮されていないため、 $al_{r,obs}$ を過大評価する。また、S2の $al_{r,cal}$ (△)は $al_{r,obs}$ が大きくなるに従って、過小評価となる。これは $M_{crystal}$ が増大、すなわち析出塩の層厚が増すと、土壤水による析出塩の透明性が薄れ、 θ の増大に伴う al_r の低下が図4の分布ほど顕著にならないためと推察される。同様の傾向が S3 の $al_{r,cal}$ (○)に認められるが、S3はS2に比して θ の増大に伴う al_r の低下が緩やかなため、S3の $al_{r,cal}$ はS2のそれよりも全体的に $al_{r,obs}$ に近づいた。

S1, S2 および S3 (式(8), 式(4)および式(10))の精度は、図中に示すそれぞれの回帰直線(一点鎖線、

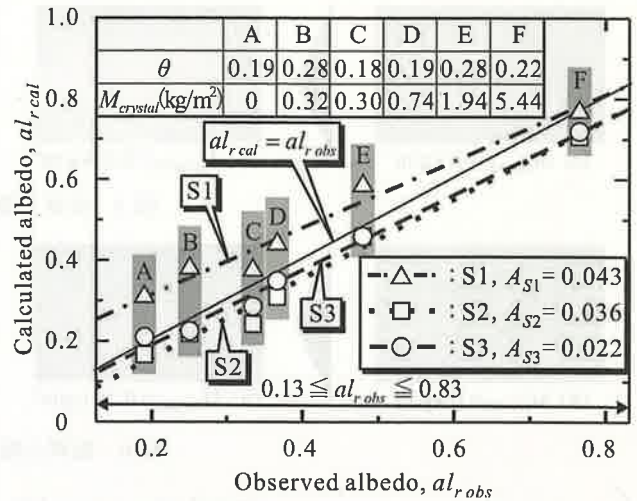


図8 3つのアルベド予測モデルの精度比較

点線および破線)と $al_{r,cal} = al_{r,obs}$ (実線)で囲まれた面積 A_{S1} , A_{S2} および A_{S3} で評価した(ただし、 $0.13 \leq al_{r,obs} \leq 0.83$ とする)。結果は図中に示すように、 $A_{S1} = 0.043$, $A_{S2} = 0.036$ および $A_{S3} = 0.022$ となり、計算による $al_{r,obs}$ の再現性は S3, S2, S1 の順に向上した。

5. おわりに

本研究では、土壤盤法よりも小規模かつ簡易にアルベドを測定できるボックス法を提案するとともに、土壤の体積含水率および地表の析出塩量を考慮したアルベド予測モデルの構築を試みた。

その結果を以下に列挙する。

- (1) 真のアルベドに対するボックス法のアルベド測定誤差は4%であり、ボックス法はアルベド測定に有効である。
- (2) 塩の析出が発生しない場合、チャオソイルのアルベドと体積含水率の関係は、アルベドが体積含水率に依存せず、一定値を示す(I)乾燥一定域および(II)湿潤一定域、および(III)体積含水率の増大とともにアルベドが減少する遷移域の3つに区分される。
- (3) 乾燥土壌の析出塩は析出塩量に無関係に白色だったが、湿潤土壌では析出塩量が少ない場合は白色半透明であり、析出塩量が増加するにつれて白色化する。
- (4) 乾燥土壌と湿潤土壌のアルベドの差は析出塩量が増加するにつれて小さくなり、両者は概ね0.8に漸近すると推測される。
- (5) 本研究で提案した3つのアルベド予測モデル(式(4), 式(8)および式(10))の中では、式(10)の計算精度が最も高いことが分かった。

参考文献

- [1] 佐藤文彦：中国の塩害・乾燥地視察報告—河北省の塩類集積土壌を見学して—, 植物の成長調節, Vol. 38, No. 1, pp. 139-141, 2003.
- [2] Thirapong, P., 飯塚敦, 河井克之: タイ東北部の塩害調査と「ジグソー・ピース作戦」, 土と基礎, Vol. 55, No. 3, pp. 22-24, 2007.
- [3] 山本晴彦, 岩谷潔, 鈴木賢士, 早川誠而, 鈴木義則: 1999年台風18号による九州・山口地方の農業災害の概要と水稲塩害の実態, 日本作物学会記事, Vol. 69, No. 3, pp. 424-430, 2000.
- [4] Letey, J., Hoffman, G. J., Hopmans, J. W., Grattan, S. R., Suarez, D., Corwind, D. L., Oster, J. D., Wu, L., Amrhein, C.: Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines, Agricultural Water Management, Vol. 98, pp. 502-506, 2011.
- [5] 何超, 福原輝幸, 高野保英: 浅い地下水位をもつ地下水と散水浸透水との連結および蒸発に伴う塩集積, 水文・水資源学会誌, Vol. 18, No. 3, pp. 221-232, 2005.
- [6] Blyth, E. M., Evans, J. G., Finch, J. W., Bantges, R., Harding, R. J.: Spatial variability of the English agricultural landscape and its effect on evaporation, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 138, pp. 19-28, 2006.
- [7] Farifteh, J., Van der Meer, F., Van der Meijde, M., Atzberger, C.: Spectral characteristics of salt-affected soils: A laboratory experiment, Geoderma, Vol. 145, pp. 196-206, 2008.
- [8] Idso, S. B., Jackson, R. D., Reginato, R. J., Kimball, B. A., Nakayama, F. S.: The dependence of bare soil albedo on soil water content, Journal of Applied Meteorology, Vol. 14, pp. 109-113, 1975.
- [9] Gu, S., Otsuki, K., Kamichika, M.: Albedo characteristics of Tottori sand dune, Journal of Agricultural Meteorology, Vol. 56 pp. 217-225, 2000.
- [10] Fujimaki, H., Shiozawa, S., Inoue, M.: Effect of salty crust on soil albedo, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 118, pp. 125-135, 2003.
- [11] Matthias, A. D., Fimbres, A., Sano, E. E., Post, D. F., Accioly, L., Batchily, A. K., Ferreira, L. G.: Surface roughness effects on soil albedo, Soil Science Society of America Journal, Vol. 64; pp. 1035-1041, 2000.
- [12] 藤田剛志, 寺崎寛章, 齊田光, 福原輝幸: 不飽和チャオソイルの分光特性を利用したアルベド測定, 土木学会第64回年次学術講演概要集, III-166, pp. 331-332, 2009.
- [13] 牛山素行編: 身近な気象・気候調査の基礎, pp. 115-116, 古今書院, 2000.
- [14] 建築学大系編集委員編: 建築学大系22 室内環境計画, pp. 206-207, 彰国社, 1957.
- [15] 寺崎寛章, 福原輝幸, 竹嶋大貴: 析出塩直接測定法による飽和チャオソイルの塩析出特性, 水工学論文集, Vol. 53, pp. 511-516, 2009.

キトサンの研究レビュー

— 構造・物性から nanofiber 製作と応用開発まで —

桜井 謙資

A Review of Studies on Chitosan

— Structures and Properties on Solid State, and Production and Applications of Nanofibers —

Kensuke SAKURAI

(Received February 1, 2012)

The structures and properties or the production and application of nanofibers on chitosan that I have studied for 30 years or more were reviewed. Chitosan is one of polysaccharides, i.e., deacetylated material of chitin which is usually obtained from crustaceans such as crab, shrimp and prawn. Therefore, chitosan can be regarded as one of natural polymers and possesses the characteristics due to the presence of many free amino groups on the molecule, resulting in a cationic polymer as well as a variety of special properties. That's why chitosan is expected to be potentially useful material, especially for medical applications because of non-toxic and bio-compatible natures.

First, surveying the distribution of chitin on the biological production point, the molecular structures of the polysaccharide family of chitin, chitosan and cellulose, the use application of chitosan, and then some crystal or liquid crystal structures of chitosan will be given. Finally, production of chitosan nanofibers by the electrospinning method and application to an artificial skin are presented.

Key Words : Chitosan, Structure and Properties, Solvated Crystal, Nanofibers of Chitosan, Artificial Skin

1. 緒言

これは、私のライフワークの一つとしてこれまで長く行ってきたキトサンに関する研究を振り返り、短く纏めたものである。キトサンはキチンの脱アセチル化物であり、キチンはカニやエビ等の甲殻類の外皮から採取される。したがって、キトサンは天然高分子の一つであり、また分子中に多くのアミノ基があるためカチオン性高分子であると共に反応性に富みいろいろな特性を有する。それ故、キトサンは潜在的に有用な高分子材料となること、特に無毒性や生体適合性のため医用材料への応用に高い期待が寄

せられている。

はじめにキチンの生物生産分布、キトサン、キチン、セルロースの分子構造、キトサンの用途に言及し、その後、キトサンの結晶構造や液晶等について述べる。最後に最近の研究で行ったキトサンの nanofiber とその人工皮膚への応用について述べる。

2. キトサンとは何か

キトサンはキチンの脱アセチル化により得られるバイオマスとして今日よく知られている。キチンはカニやエビ等の甲殻類や昆虫などの生物の外皮や細胞壁などにタンパク質と炭酸カルシウムと複合体として存在しており、キチンの生物生産は年間 1,000 億トンと推定され豊富である。これらのバイオマスの有効利用を目的に多くの研究が行われてきた。しかしながら活発な研究の歴史は比較的浅く、成書

“CHITIN”が発刊^[5]されたのは1977年のことであり、その後日本では多くの研究成果や企業商品化実績を広範にわたり纏めた「キチン、キトサンハンドブック」^[1]が1995年に出版され、また、2006年には“Material Science of Chitin and Chitosan”^[20]が出版されている。

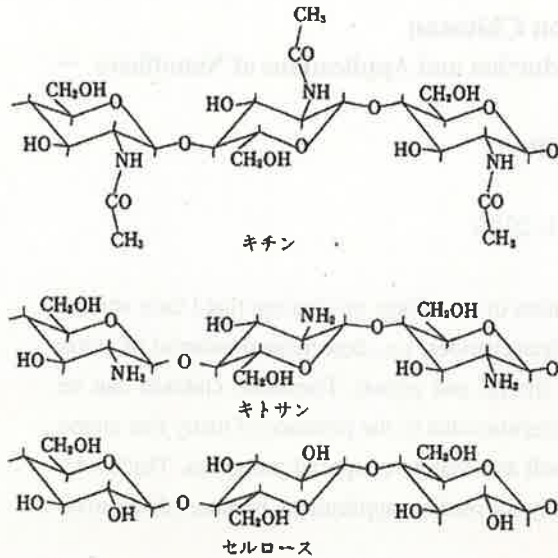


Fig. 1 キチン、キトサン、セルロースの化学構造

キチン [β -(1→4)ポリ-D-N-アセチルグルコサミン]、キトサン [β -(1→4)ポリ-D-グルコサミン]の化学構造は図1に示すようにセルロースに酷似しC2位の-OH基部位のみ異なるだけであるが、その性質は大きく異なる。特にキトサンは-NH₂基をもつため高い反応性や機能性を示し、酸溶液への溶解性からビーズ、繊維、フィルム等の成形加工性が良い。

キチンは、下等生物(甲殻類、昆虫類、貝類、菌類)の組織繊維成分として生物生産され、生体内では必ずタンパク質や炭酸カルシウムと複合体を作っている。カニの甲羅が大変堅いことを思い出したとき、高分子複合材料(Composite)としても興味もたれる。キチンの生物分布を表1に示す。また、セルロースが高等植物組織を形成していることを考えると、両者の分子構造と役割の類似性の観点からもキチンは大変興味深い。

キチンは結晶学的には、 α 、 β 、 γ -formの3種のキチンが存在するが、多くのキチン源からは α キチンが得られる。イカからは結晶構造が少しルーズな β キチンが得られる。しかし、興味深いことに脱アセチル化により得られるキトサンは1種類の同じ結晶構造^[6]のみを持つ。キトサンは現在ほとんどの場合、カニ、エビ殻から図2に示す工程で作られている。すなわち、キチンを強アルカリ処理して得られ

る脱アセチル化キチンをキトサンと言う。

やや本論を外れるが、近年、高齢者の膝関節の軟骨再生に有効と言われている健康食品に「グルコサミン」を良く見かけるようになったが、これはキトサン [β -(1→4)ポリ-D-グルコサミン]の単量体であり、キトサンの消費の中で大きな割合を占めるようになってきている。

Table 1 潜在的入手可能なキチン質の推定値 ($\times 10^3$ t/年)

キチン源	収穫量	含キチン廃棄物		潜在的なキチン量
		湿量	乾量	
カニとエビ	1,700	468	154	39
オキアミ	18,200	3,640	801	56
二枚貝とカキ	1,390	521	482	22
イカ	660	99	21	1
糸状菌	790	790	182	32
昆虫	微量	-	-	-
計	22,740	5,118	1,640	150

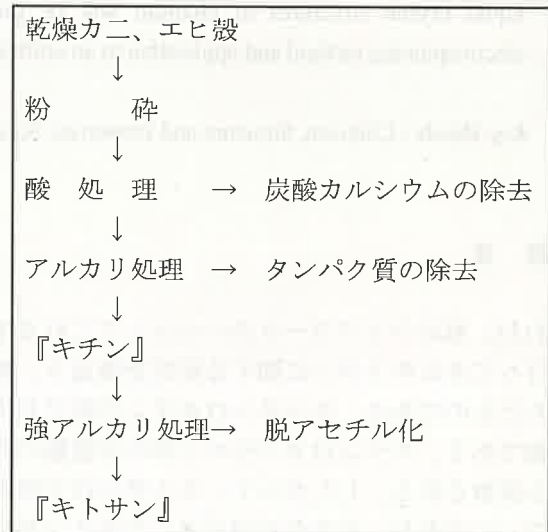


Fig. 2 キチン、キトサンの製造工程

2. キチン、キトサン及びその誘導体の用途・機能

キチン、キトサンの有効利用が叫ばれて約20年以上経過したが、ヒット商品が現れていない。上述したように、キトサンの分解反応生成物「グルコサミン」が大量に販売されていることを除いて、この問題点・理由を考えてみよう。

○キチン、キトサンの研究分野は工学、農学、生

物学, 薬学, 医学など広い分野に渡っている。

○セルロースのように大量消費用途をみつけにくい

○薬学, 医学サイドの実用化には他の分野より相当時間がかかる。

○高付加価値化の研究が行われてきたが, 他の既存素材を凌駕できない。他と同程度で, 特異性が発揮されていない。

○特異性を活かす研究の不足。2研究分野以上に渡る学際的な研究が必要のため。例えば, 抗菌性材料の開発には, 高分子材料の知識に加え微生物・薬学の知識が必要。

以上が考えられるが, これらの問題点はそろそろ克服され, 新たな発展段階に来たように感じられる。

さて, キチン, キトサン及びその誘導体の用途・機能を以下に簡単に記述する。

- (1) 廃水処理剤: キトサン/有機酸水溶液: カチオン系凝集剤: 生活廃水, 工業廃水, 食品工業廃水, 活性汚泥の凝集と肥料・試料への再利用
 - (2) キレート化剤: リン酸化キトサン: 重金属イオンの回収, 海中の天然ウランの回収 (ウラニルイオン UO_2^{2+} の高い吸着性)
 - (3) 化粧品: 水溶性キチン: 髪形のセット, 保温性, トリートメント, 化粧品の制酸性,
 - (4) 酵素固定化担体: ゲル, ビーズ, 膜: バイオリアクター, バイオセンサー, 高い酵素活性の維持
 - (5) 医薬・医用材料: 塩基性多糖, リゾチーム加水分解性: 医薬品原料 (オリゴマー)
食物繊維素: 胃の制酸, 潰瘍制御, 血中コレステロールの低下
抗菌性 (キトサン, ニトロ化, 硫酸化, アルキル化)
抗凝血剤 (硫酸化, ヘパリン代用)
制癌性 (キチン, キトサン, CM-キチン)
体内消化性手術糸 (キチン糸, ユニチカ)
人工皮膚 (キチン繊維の不織布, ユニチカ)
薬物持効性・徐放性: 膜, カプセル
 - (6) 膜材料: 透析膜, 逆浸透膜, 限外濾過膜, 気体バリアー膜
 - (7) その他:
食品・飼料添加剤: コレステロールの低下や虫歯予防
農薬: 植物細胞のキチナーゼ, キトサナーゼ誘導による病原菌耐性
繊維・紙へのコーティング: 染色・印刷性, 吸湿・耐水性
スピーカーコーン: 周波数特性の一定性
- さらに, キトサンはリオトロピック液晶も形成し液

晶紡糸^[11]も試みられた。キチンやキトサンの繊維^[7-10]はセルロース繊維と同様にビスコース法や銅アンモニア法等の湿式紡糸により得られる。その他, ビーズや膜の固定化酵素担体としての応用^[12,13]や水-アルコール共沸混合物の浸透気化法による有効な分離膜^[20]の開発, また, 荷電型限外濾過膜への可能性^[14,15]も示されて来た。さらに, 疎水化キトサン誘導体の合成物による LB 膜の作製^[16,17]やキトサンの棒状ナノカプセルの合成^[18]等についても研究されている。また, キトサンの Tg に関する研究^[22]は 150件近くの論文に引用された。

3. キトサンの溶媒和

一般的にキチンの結晶性は高く特殊な溶媒にしか溶解せず取扱いにくい。一方, キトサンの結晶性はそれ程高くなく酸水溶液に容易に溶解する。キトサン酸水溶液から溶媒蒸発により溶媒和結晶が生成する。キトサンは分子中に遊離の一級アミノ基を持ち, 希薄な酸水溶液中でこのアミノ基と酸分子の間で複合体すなわち溶媒和が生じ, キトサン酸塩を形成して溶解する。このようなキトサン溶液から溶媒キャストした膜には, 溶媒種により異なる溶媒和結晶が生ずる。

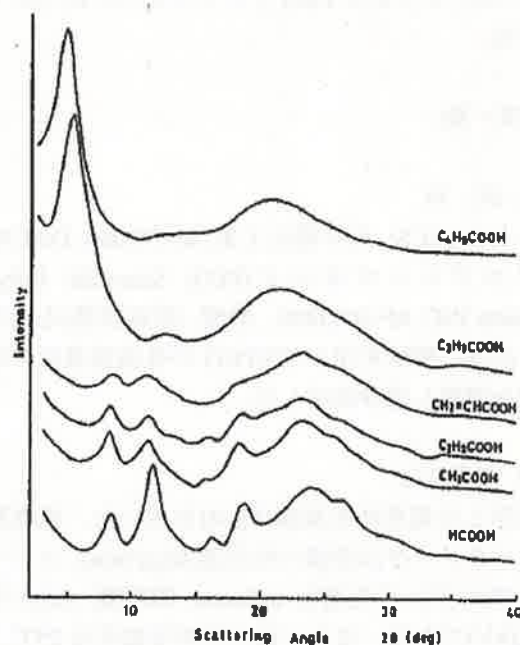


Fig. 3 キトサンの酸水溶液からキャストしたキトサン膜の広角X線回折強度曲線

Fig. 3に溶媒キャスト膜の広角X線回折(WAXD)強度曲線を示す。酸分子の大きさの増大とともに, 結晶性が低下し乱れが増大する。特に, 吉草酸と酪酸の

溶媒系で散乱角 5 度付近の低角領域に強い回折が現れるが、他の回折はブロードで弱くなる。すなわち、酪酸のような大きな酸分子と溶媒和したキトサン酪酸塩結晶では、キトサン分子鎖間に酪酸分子を取り込むため、分子鎖パッキングに対応する面間隔が大きくなり、同時に結晶乱れが増大する。溶媒和結晶の形成は、①溶媒種による WAXD 強度曲線の変化、②キャスト膜の水溶解性、③キャスト膜のメタノール処理やアルカリ処理による不溶化、④キャスト膜の IR 測定によるカルボニルバンドの出現等の事実から支持される。

4. 電界紡糸法による chitosan nanofiber の作製

— CS/PEO nanofiber の調製とモルフォロジー —

4.1 はじめに

近年、nanotechnology による材料開発が盛んになり、繊維に関しても nanofiber が作られてきた。最も一般的な方法は電界紡糸 (Electrospinning) 法^[2-4]であり、多くの高分子溶液から nanofiber が作られている。我々はキトサンおよび水溶性キチン・キトサン誘導体 (CM-キチン, サクシニル CM-キトサン) に注目し、酸水溶液や水を溶媒としてこれらの電界紡糸を試み nanofiber 作製の紡糸条件を検討してきた。ここでは、キトサン/PEO ナノファイバーについて報告する。

4.2 実験

4.2.1 試料

キトサン(CS; 大日精化工業, $M=97,000$, DAC95%), ポリエチレンオキシド(PEO; Scientific Polymer Products INC, $M=400,000$), 酢酸 (特級試薬)を使用した。溶媒に酢酸を用い CS/PEO の各種重量比の紡糸溶液を調製し電界紡糸した。

4.2.2 電界紡糸

試作した電界紡糸装置(Fig.4)を用いた。電界紡糸条件パラメータは溶液の吐出速度($\mu\text{l}/\text{min}$), エアーギャップ(シリンジ先端と collector 間距離, cm)と印加電圧(kV)である。また、紡糸雰囲気温度は 25°C , 湿度は $45\sim 55\%$ とした。Collector は直径 50mm の回転コレクターも使用した。

4.2.3 モルフォロジー

電界紡糸で得られた nanofiber mat (or sheet) 試料の走査電子顕微鏡観察(SEM)および広角 X 線回折

(WAXD)写真撮影を行った。

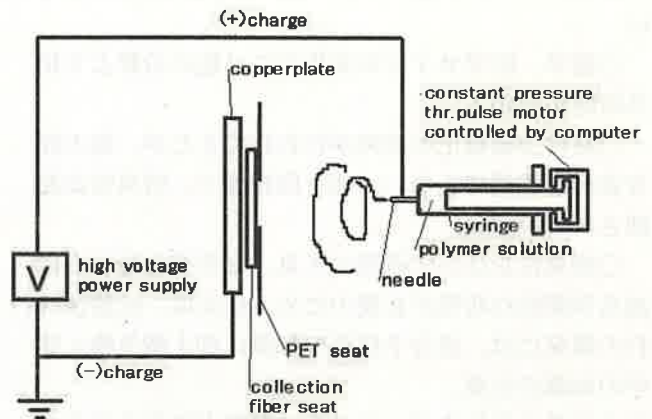
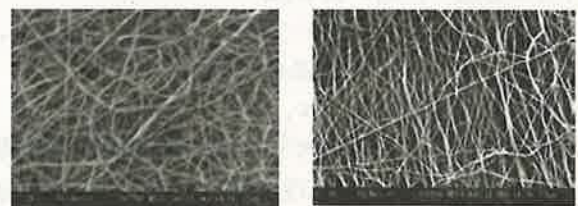


Fig. 4 Electrospinning apparatus.

4.3 結果と考察

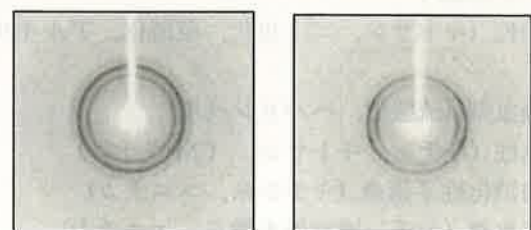
Fig.5, 6 に CS/PEO(2/8) NF sheet の SEM と WAXD 写真をそれぞれ示す。Fig.5 に示すように直線的で綺麗な NF が作製された。繊維直径は約 220nm である。



(a) 500 rpm

(b) 3000 rpm

Fig.5 SEM observation of CS/PEO (2/8)



(a) 500 rpm

(b) 3000 rpm

Fig.6 WAXD Photographs of CS/PEO (2/8)

高回転数(3000rpm)では繊維が配向している。同様に WAXD 写真において、高回転数で繊維図形が見られ分子鎖が配向していることを示した。動的粘弾性測定から得られた NF sheet の見かけの貯蔵弾性率は配向の増大と共に増大した。NF sheet の含水性は GA 蒸気架橋して測定した。CS/PEO NF の CS の混合割合が減少するにしたがい、含水性は減少した。含水測定試料を乾燥後 SEM 観察すると含水性の高い NF sheet では、含水前後の NF の形状変化が少ない。一

方、含水度の低い NF sheet (PEO 含有量が多い NF sheet) では、NF は部分的に溶解し繊維形状が大きく失われ film 形状に近付いている。前者では、ナノ繊維間に含水できるナノポイド(空間)が多数存在するが、後者では多くのポイドが消滅し、含水量の大きな低下が生じたと考えられる。創傷治癒効果を示した CS/PEO (8/2) や(10/2) NF sheet では含水しても十分繊維形状を維持し、多くのナノポイドを持ち、それらの含水度は 700%、800%以上と非常に高い含水性を示し、これらの事実が創傷治癒促進効果に大きく寄与していると推測された。

次に、電界紡糸で作製したキトサン複合 nanofiber mat (膜状の不織布) の人工皮膚 (創傷被覆材) への応用を検討した。

5. キトサン/セリシン複合ナノファイバー人工皮膚膜 (創傷被覆材) の開発

5.1 はじめに

キチン、キトサンは生体適合性高分子であり、副作用もなく、鎮痛効果、止血効果、殺菌作用があり、さらに新生肉芽細胞の再生促進作用があり、また、酵素分解による体内吸収性である。いち早くキチン不織布による人工皮膚 (創傷被覆材) をユニチカ㈱が開発・製品化^[19]し病院等で使用されている。また、キトサンは血圧降下に有効であることが科学的に示され特定保健用食品 (トクホ) として認可されている。このように、キチン、キトサンは生体に対して様々な分野でその応用が大いに期待されている。

ここでは、CS/SER/PEO 複合ナノファイバーを電界紡糸法で作製し、創傷治癒特性を検討したので報告する。

5.2 試料

キトサン(CS)、ポリエチレンオキシド(PEO)、セリシン(SER)、酢酸 (特級試薬)を使用した。電界紡糸溶液 (CS/SER/PEO 溶液) は各成分を 4%酢酸水溶液に溶解して準備した。これらを Table 2 に示す。

5.3 創傷治癒実験

マウスを用いた創傷治癒実験では、ジエチルエーテル蒸気で麻酔をかけたマウスの背中を金ブラシで擦り、真皮に達する程度の創傷 (深い傷) を作り、そこに作製した nanofiber mat を貼り付け、0, 3, 6 日目に治癒状態を観察し、最終日に皮膚断面切片試料をヘマトキシレン・エオジン染色で染色し、光学顕微鏡観察から組織再生状態を検討した。

5.4 結果と考察

ここで作製したキトサン nanofiber mat の典型例として CS/SER/PEO(8/2/2) の SEM 写真を Fig.7 に示す。平均直径 170 nm の綺麗なナノファイバーが形成している。

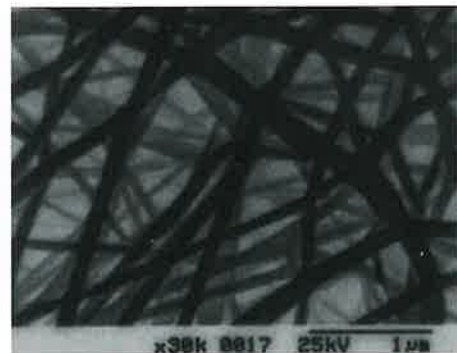


Fig.7 SEM photograph of CS/SER/PEO (8/2/2) nanofibers mat.

Table 2 に示したセリシンを含む溶液の電界紡糸を印加電圧 20~25kV, エアーギャップ 8cm, 溶液の吐出速度 9 μ l/min の条件で紡糸し、すべての溶液から nanofiber mat (平均直径は 150~200 nm) を得た。WAXD 測定から nanofiber 中のキトサン、セリシンともほぼ非晶状態であった。セリシンは、主なアミノ酸組成が、セリン(36mol%), アスパラギン酸(21mol%), グリシン(16mol%)からなるシルクタンパク質の一種であり、高吸湿性、抗酸化性、紫外線吸収能などの優れた特性や、ガン抑制、皮膚炎に対する生理的作用を持つことが報告されている^[21]。そこで、この複合 nanofiber の創傷治癒効果について動物

Table 2 Weight ratio and concentration in CS/SER/PEO mixtures

Sample	CS	SER	PEO	(/100 g)
				Polymer conc.
CSSER100	10	0	2	12%
CSSER91	9	1	2	12%
CSSER82	8	2	2	12%
CSSER73	7	3	2	12%

実験により検討した。

マウス動物実験から創傷治癒過程のマクロ観察によると、controlに比べすべての試料で治癒効果が見られた。特にCS/SER/PEO(8/2/2) nanofiber matは顕著な効果を示し、3daysの時点では剥がした際に多少の出血が見られたが、6daysでは皮膚の状態が非常に良く、正常皮膚細胞が再生し傷跡が残らない程度まで治癒された (Fig. 8 参照)。

また、皮膚断面写真 (Fig. 9) では、controlでは表皮の肥厚化と細胞核が崩れ壊死を起こした。しかし8/2/2 nanofiber mat使用では表皮が他の組成比のnanofiber mat試料使用より厚く再生しており、細胞核も正常な形を保っていることが確認できた。

これらは修復期にキトサンの抗菌作用により細菌の増加を防ぎ増殖期での細胞増殖を促すことができ、組織再構築期でセリシンの保湿作用、美肌効果、抗酸化作用により皮膚がきれいに再生したためであると推測された。一方、nanofiber mat構造の観点からは、繊維がナノファイバーであるため表面積が通常繊維よりも極めて大きく、また、上述したようにナノファイバー間にナノボイド(間隙)が多数存在し、その結果、含水度が700%以上の保水性を持ち、したがって、体液を保持しやすくし、皮膚と試料が一体化できる等の効果が考えられた。

なお、本研究成果は平成23年9月に特許^[23]として認められた。

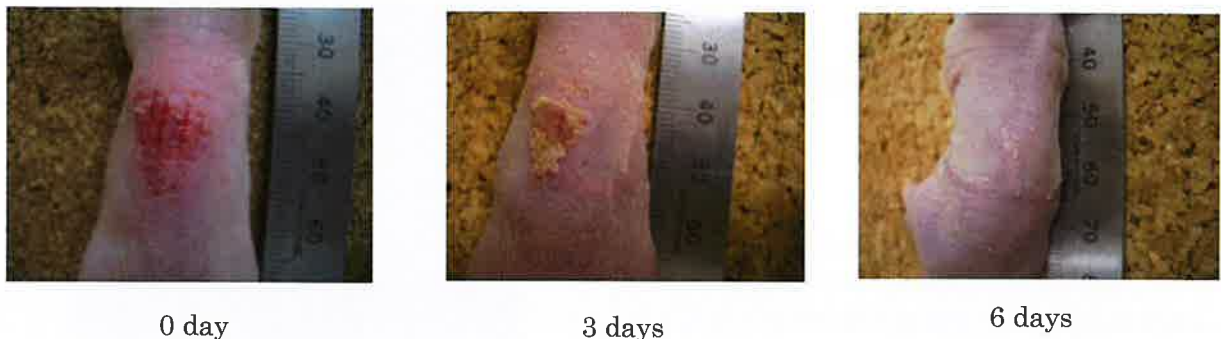


Fig. 8 Wound healing process using nanofiber mat of CS/SER/PEO (8/2/2).

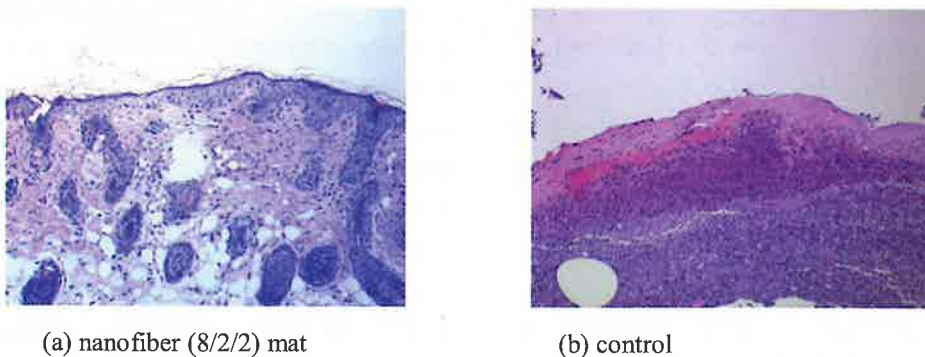


Fig. 9 Optical microscopic observations of cross-sections of skins treated with (a) NF(8/2/2) mat compared with (b) control after 6 days.

参考文献

- [1] キチン、キトサン研究会編: “キチン、キトサンハンドブック”, p.228 (1995) 技報堂
- [2] Salem, D.R.: “Structure Formation in Polymeric Fibers”, p. 225 (2001) Hanser
- [3] Min, B.M., Lee, S.W., Lim, J.N., Lee, T.S., Kang, P.H., Park, W.H.: *Polymer*, **45**, 7137 (2004)
- [4] Bhattarai, N., Edmondson, D., Veisoh, O., Matsen, F., Zhang, M.: *Biomaterials*, **26**, 6176 (2005)

- [5] Muzzarelli, R.A.A. : "CHITIN", (1977) Pergamon Press
- [6] キチン、キトサン研究会編: "キチン、キトサンハンドブック", p.134 (1995) 技報堂
- [7] Tokura, S., Yoshida, J., Hishi, N., Hiraoka, T.: *Polym. J.*, **14**, 527 (1982)
- [8] Tokura, S., Nishimura, S., Nishi, N., Nakamura, K., Hasegawa, O., Sashiwa, H., Seo, H.: *Sen-I Gakkaishi*, **43**, 288 (1987)
- [9] Hirano, S.: *Macromolecular Symposia*, **168**, 21 (2001)
- [10] 平野茂博: *BIO INDUSTRY*, **19**, 62 (2002)
- [11] 桜井謙資, 宮田應則, 高橋利禎: 繊維学会誌, **46**, 79-81 (1990)
- [12] 桜井謙資, 北田和之, 高橋利禎: 福井大工研究報告, **37**, 173-182 (1989)
- [13] 草桶秀夫, 松井典子, 坪倉幸男, 桜井謙資: 繊維学会誌, **46**, 109-114 (1990)
- [14] 桜井謙資, 上田賢司, 高橋利禎: 膜, **16**, 347-351 (1991)
- [15] 桜井謙資, 上田賢司, 高橋利禎: 膜, **16**, 352-355 (1991)
- [16] Wu, Y., Seo, T., Sasaki, T., Irie, S., Sakurai, K.: *Carbohydr. Polym.*, **63**, 493 (2006)
- [17] Wu, Y., Hisada, K., Maeda, S., Sasaki, T., Sakurai, K.: *Carbohydr. Polym.*, **68**, 766 (2007)
- [18] 清水美智, 川南仁史, 吳玉松, 谷川純一, 佐々木隆, 桜井謙資: キチン・キトサン研究, **14**, 124 (2008)
- [19] キチン、キトサン研究会編: "キチン、キトサンハンドブック", p.338 (1995) 技報堂出版
- [20] Uragami, T., Tokura, S.: "Material Science of Chitin and Chitosan", 113 (2006) Kodansha
- [21] Katoh, N., Satoh, S., Yamanaka, A., Yamada, H., Fuwa, N., Nomura, M.: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **62**, 145 (1998).
- [22] K. Sakurai, T. Maegawa and T. Takahashi: *POLYMER*, **41**, 7051-7056 (2000)
- [23] 桜井謙資: 特許, 第 4821004 号 (2011)

謝 辞

キトサン試料をご提供して頂いた大日精化工業株式会社, CM-キチン, サクシニル CM-キトサンをご提供して頂いた北海道曹達株式会社, また, セリシンをご提供して頂いたセーレン株式会社にお礼申し上げます。

また, 電界紡糸装置試作に大変お世話になりました技術職員の辻正晴氏に, 創傷治癒実験にあたりご協力を頂きました本学医学部の三好憲雄先生に深く感謝いたします。さらに, 卒論・修論として多くの実験に不断の努力を傾けて頂いた本研究室の多くの卒業生の皆さんに心より感謝申し上げます。

参考文献

1. 王德信, 1981. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

2. 王德信, 1982. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

3. 王德信, 1983. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

4. 王德信, 1984. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

5. 王德信, 1985. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

6. 王德信, 1986. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

7. 王德信, 1987. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

8. 王德信, 1988. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

9. 王德信, 1989. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

10. 王德信, 1990. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[1] 王德信, 1981. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[2] 王德信, 1982. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[3] 王德信, 1983. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[4] 王德信, 1984. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[5] 王德信, 1985. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[6] 王德信, 1986. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[7] 王德信, 1987. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[8] 王德信, 1988. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[9] 王德信, 1989. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[10] 王德信, 1990. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[11] 王德信, 1991. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[12] 王德信, 1992. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[13] 王德信, 1993. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[14] 王德信, 1994. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[15] 王德信, 1995. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[16] 王德信, 1996. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[17] 王德信, 1997. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[18] 王德信, 1998. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[19] 王德信, 1999. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[20] 王德信, 2000. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[21] 王德信, 2001. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[22] 王德信, 2002. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[23] 王德信, 2003. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[24] 王德信, 2004. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[25] 王德信, 2005. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[26] 王德信, 2006. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[27] 王德信, 2007. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[28] 王德信, 2008. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[29] 王德信, 2009. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[30] 王德信, 2010. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[31] 王德信, 2011. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[32] 王德信, 2012. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[33] 王德信, 2013. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[34] 王德信, 2014. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[35] 王德信, 2015. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[36] 王德信, 2016. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[37] 王德信, 2017. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[38] 王德信, 2018. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[39] 王德信, 2019. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

[40] 王德信, 2020. 中国植物志. 北京: 科学出版社.

L-ロイシンセグメントとエチレングリコールセグメントを含む ABA 型 トリブロック・コポリマーの合成と水溶液の粘度に対する濃度の効果

中埜 達朗* 田中 穰*

Synthesis of ABA Triblock Copolymer Containing L-leucine Segments and Ethylene Glycol Segments and Effect of Concentration on Viscosity of Solution

Tatsuro NAKANO* and Yutaka TANAKA*

(Received February 8, 2012)

In this research, the synthesis of ABA triblock copolymer(PLL-PEG) containing L-leucine segments and ethylene glycol segments, and the effect of concentration on viscosity of solution was investigated. In order to obtain the triblock copolymer, PLL-PEG was synthesized from L-leucine and polyethylene glycol. The details of FT-IR and ¹H-NMR spectra were clarified for syntheses. PLL-PEG has critical chain length. With the increase in repeating number of L-leucine segments, the melting temperature measured by DSC is lowered. PLL-PEG solution shows critical concentration *c** which characterise the plot of viscosity and concentration.

Key Words : Tri-block Copolymer, L-leucine, Poly(ethylene glycol), Viscosity

1. 緒言

この研究では、ABA 型のトリブロックコポリマー (A が L-ロイシンセグメント, B がエチレングリコールセグメント) を合成し、水溶液の粘度、ゲル形成、プロパノール添加による増粘効果を調べた^{[1],[2]}。トリブロックコポリマー合成のために①L-ロイシンからロイシン NCA(n-カルボン酸無水物)の合成、②ポリエチレングリコール(PEG-OH)からアミノ化ポリエチレングリコール(PEG-NH₂)の合成、③ロイシン NCA とアミノ化 PEG からポリ-Lロイシン-ポリエチレングリコール(PLL-PEG)の合成、の 3 つの実験段階を経ている。それぞれの生成物の同定を行い、FT-IR, ¹H-NMR スペクトルの詳細を明確にした。

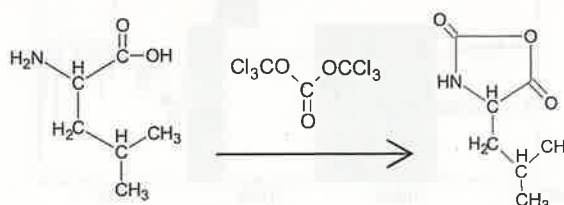
PLL-PEG 水溶液の還元粘度は、PLL-PEG の濃度を増加するとある濃度(*c**)で急激に変化する。*c**以上の濃度では PLL-PEG 鎖の数に加えて L-ロイシンセグメント同士の分子間架橋も影響する。この影響を粘度測定によって調べた。

また、PLL-PEG 水溶液の溶媒に 2-プロパノール (PrOH) を添加することで、還元粘度を変化させることが期待できる。何故ならば、PLL-PEG の側鎖の L-ロイシンセグメントはイソプロピル基を持っているため PrOH と構造が似ていることと、PrOH は水に溶解するためである。このことから、PLL-PEG 水溶液に PrOH を添加したサンプルについても実験を行った。

2. 実験

2.1 ロイシン NCA の合成

L-ロイシンとトリホスゲンからロイシン NCA を合成した(Scheme 1)。ロイシン NCA は水と反応すると分解して L-ロイシンに戻るため、溶媒はすべて脱水したものを使用した。



Scheme 1 Reaction for leucine NCA.

* 材料開発工学専攻

* Materials Science and Engineering Course, Graduate School of Engineering

<合成>

ベーキングを行った三ツ口フラスコに L-ロイシンとトリホスゲンを加えた。ここに THF を加えて、窒素を吹き込みつつ 50°C で 1 時間攪拌して反応した。

<精製>

L-ロイシンは THF に溶けず、ロイシン NCA は溶解する。このことでロイシン NCA が合成できたことを確認し、ロータリーエバポレーターを使用して THF を留去した。ある程度 THF が留去できたら、ヘキサンを加えてロイシン NCA を再沈殿した。未反応の L-ロイシンとトリホスゲンを取り除くために、再沈殿したロイシン NCA を THF で溶解しろ過した。ロイシン NCA の純度を上げるために、この手順を 3 回繰り返した。

<乾燥>

ベンゼンを加えて試料を凍結した。凍結乾燥を行ってベンゼンを昇華し粉末状のロイシン NCA を得た。

2.2 ロイシン NCA の同定

合成したロイシン NCA の FT-IR 測定と $^1\text{H-NMR}$ 測定を行った。L-ロイシンは CDCl_3 に不溶だが D_2O に溶解し、ロイシン NCA は CDCl_3 に溶解する。

<FT-IR 測定の結果>

Fig.1 から分かる様に L-ロイシンの IR スペクトルでは、 $3300\text{--}2400\text{cm}^{-1}$ 付近の O-H 伸縮振動(カルボン酸)による幅の広いピークと、 1580 cm^{-1} 付近の C-O 伸縮振動(カルボン酸)によるピークが見られた。

ロイシン NCA の IR スペクトルでは、L-ロイシンの IR スペクトルでは見られなかった 3310 cm^{-1} 付近の N-H 伸縮振動(第二級アミン)によるピークと、 1750 cm^{-1} と 1820 cm^{-1} 付近の C-O 伸縮振動(カルボン酸無水物)によるピークが見られた。

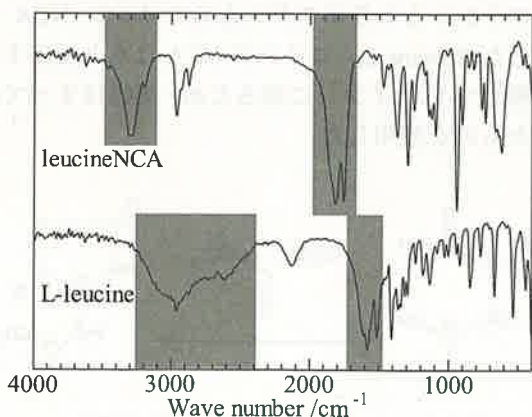


Fig. 1 IR spectra for leucineNCA and L-leucine.

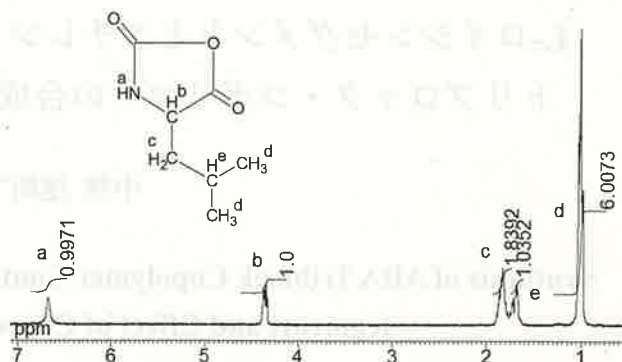


Fig. 2 $^1\text{H-NMR}$ spectrum for leucineNCA.

Table 1 Peak intensity in $^1\text{H-NMR}$ spectrum for leucineNCA.

	Chemical shift(ppm)	Intensity(Cal. Val.)
H^d	0.978-1.02	6.00(6)
H^e	1.68	1.06(1)
H^c	1.82-1.84	1.87(2)
H^b	4.32-4.37	1.0(Ref.)
H^a	6.71	0.98(1)

< $^1\text{H-NMR}$ 測定の結果>

ロイシン NCA の $^1\text{H-NMR}$ 測定の結果を Fig.2 と Table1 に示す^[3]。ロイシン NCA の構造式は Fig.2 に示した。計算値と積分値はほぼ等しいことが分かる。

2.3 PEG-NH₂ の合成と同定

PEG-OH($M_n=35\text{k}$)から PEG-NH₂ を合成した。その過程を三段階に分けて次に示す^[4]。

2.3.1 PEG-Ts の合成

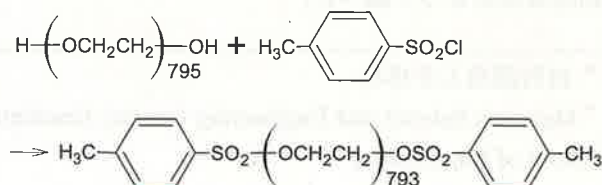
PEG-OH からトシル化ポリエチレングリコール(PEG-Ts)を合成した(Scheme 2)。

<合成>

ピリジンで溶解した PEG-OH を、ベーキングした三ツ口フラスコに加えた。15°C で 10 分間放置後、ピリジンに溶解した p-トルエンスルホン酸クロライド(TsCl)を滴下した。滴下後、15°C で 12 時間攪拌した。

<精製>

クロロホルムを加えてよく攪拌した。ここに HCl (1.0mol/L)を加えた後、分液漏斗を用いて水の相を除



Scheme 2 Reaction for PEG-Ts.

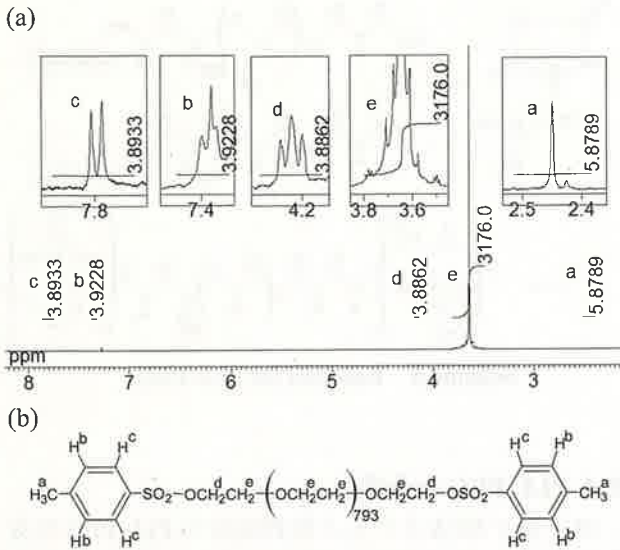


Fig. 3 $^1\text{H-NMR}$ spectrum(a) and chemical structure(b) for PEG-Ts.

Table 2 Peak intensity in $^1\text{H-NMR}$ spectrum for PEG-Ts.

	Chemical shift(ppm)	Intensity(Cal. Val.)
H ^a	2.45	5.88(6)
H ^c	3.78-3.50	3176(Ref.)
H ^d	4.17-4.15	3.89(4)
H ^b	7.35-7.34	3.92(4)
H ^c	7.81-7.79	3.89(4)

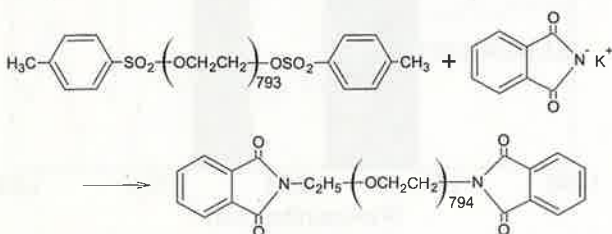
いた^[5]. 次に 4%の NaHCO_3 水溶液を加えた後、分液漏斗を用いて水の相を除いた。最後に 20%の NaCl 水溶液を加えた後、分液漏斗を用いて水の相を除いた。一連の抽出でピリジンを取り除いた。

硫酸ナトリウムで脱水してろ過した。クロロホルムを留去し 20 倍量のヘキサンに沈殿させた。この再沈殿で未反応の TsCl を取り除いた。

ヘキサンを除き、ベンゼンに溶解して凍結乾燥を行った。得た PEG-Ts は FT-IR 測定、 $^1\text{H-NMR}$ 測定、DSC 測定によって同定した。

2.3.2 PEG-Ts の同定

合成した PEG-Ts の DSC 測定を行い TsCl の吸熱ピーク (68.8°C) が出ていないことで単離を確認した。



Scheme 3 Reaction for PEG-Pi.

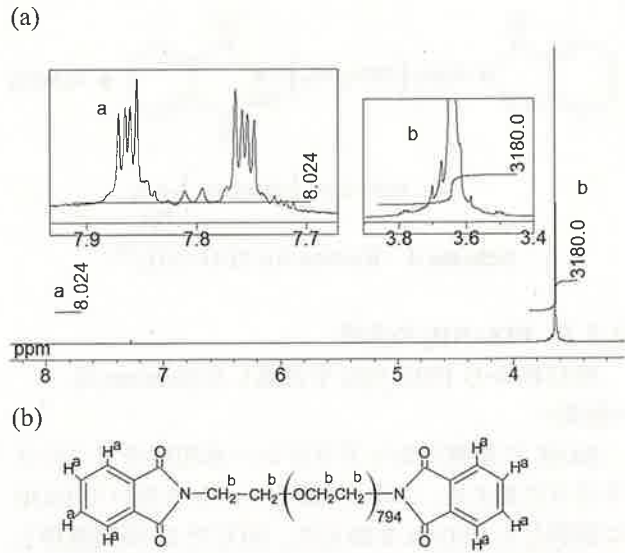


Fig. 4 $^1\text{H-NMR}$ spectrum(a) and chemical structure(b) for PEG-Pi.

Table 3 Peak intensity in $^1\text{H-NMR}$ spectrum for PEG-Pi.

	Chemical shift(ppm)	Intensity(Cal. Val.)
H ^b	3.78-3.51	3180(Ref.)
H ^a	7.87-7.75	8.02(8)

< $^1\text{H-NMR}$ 測定の結果>

PEG-Ts の $^1\text{H-NMR}$ 測定の結果を Fig.3 と Table2 に示す^{[6],[7]}. 全てのピークが重ならずに見えた。エチレングリコールユニット内のプロトンを基準に積分値を決定した。

2.3.3 PEG-Pi の合成

PEG-Ts から PEG-Pi (フタルイミド化ポリエチレングリコール) を合成した (Scheme 3)。

<合成>

フタルイミドカリウム (PiK) を三ツ口フラスコに入れ、DMF に溶解した PEG-Ts を加えた。 120°C で 3 時間攪拌しながら懸濁した。

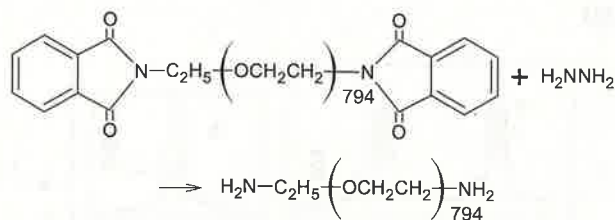
<精製>

沈殿物をろ過し DMF を留去して、クロロホルムを加えた。ろ過した後、留去し 20 倍量のヘキサンに沈殿させた。この再沈殿で、未反応 PiK とトルエンスルホン酸カリウムを取り除いた。ヘキサンを除き、ベンゼンに溶解して凍結乾燥した。

2.3.4 PEG-Pi の同定

< $^1\text{H-NMR}$ 測定の結果>

PEG-Pi の $^1\text{H-NMR}$ 測定の結果を Fig.4 と Table3 に示す。PEG-Ts の $^1\text{H-NMR}$ スペクトルでは H^d と H^c に分けたが、PEG-Pi ではトシル基がフタルイミドに置換されたことによって H^b とした。



Scheme 4 Reaction for PEG-NH₂ [8].

2.3.5 PEG-NH₂ の合成

PEG-Pi から PEG-NH₂ を合成した(Scheme 4).

<合成>

EtOH に溶解したヒドラジン-水和物を三ツロフラスコに加えた. ここに, 滴下ロートを用いて EtOH に溶解した PEG-Pi を加えた. 80°C で 24 時間攪拌しながら還流した^[9].

<精製>

EtOH を留去して, クロロホルムを加えた. 吸引ろ過してから留去し 20 倍量のヘキサンに沈殿した. この再沈殿で 1,4-ジケトフタラジンを除いた.

沈殿物を蒸留水に溶解し, 48 時間透析した. ここで低分子の残渣をすべて取り除いた. 水を留去して, ベンゼン・ジオキサン(体積比 7:3)混合溶媒を加え, 凍結乾燥して粉末にした. 得た PEG-NH₂ は FT-IR 測定, ¹H-NMR 測定, UV 測定, 中和滴定で同定した.

2.3.6 PEG-NH₂ の同定

<中和滴定の結果>

0.03mol/L の HCl を用いて, 合成した PEG-NH₂ の両末端アミン基の数(活性化率)を求めた. 中和滴定の結果を Fig.5 に示す. この研究で合成した PEG-NH₂ の活性化率は 85~90%であった. 参考値として, 市販品のアミノ化 PEG(日油株式会社, 品名 SUNBRIGHT DE-300PA)の活性化率は 80%である.

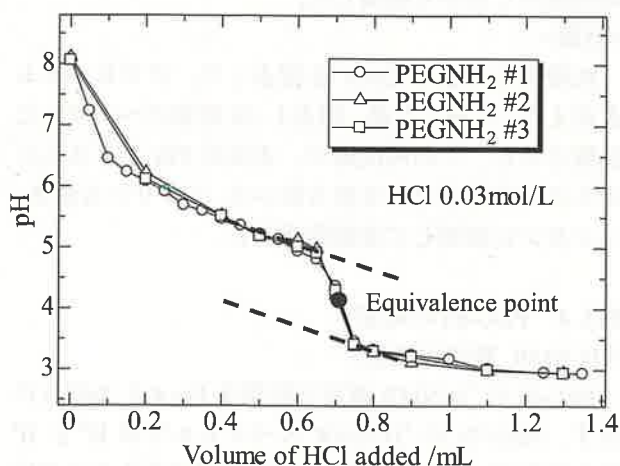
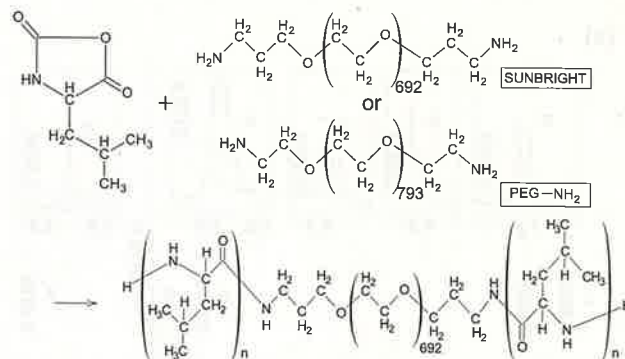


Fig. 5 Titration curves for PEG-NH₂.



Scheme 5 Reaction for PLL-PEG.

2.4 PLL-PEG の合成

ロイシン NCA とアミノ化 PEG から PLL-PEG を合成した(Scheme 5). PLL-PEG\$1\sim 4\$ は SUNBRIGHT DE-300PA を使用し, PLL-PEG\$5, 6\$ は PEG-NH₂ を使用した.

<合成>

DMF に溶解したロイシン NCA と DMF に溶解したアミノ化 PEG を 50°C で 18 時間攪拌して反応させた.

<精製>

DMF を留去して, ヘキサンに滴下して PLL-PEG を再沈殿した. ヘキサンを除き THF に溶解してろ過した. ろ液を留去してベンゼンを加え, 凍結乾燥を行い PLL-PEG 粉末を得た.

2.5 PLL-PEG の同定

<FT-IR 測定の結果>

PLL-PEG の FT-IR スペクトルでは 1660cm⁻¹ 付近の C=O 伸縮振動(アミド基)によるピークと, 1540cm⁻¹ 付近の N-H 変角振動(アミド基)によるピークが見られた.

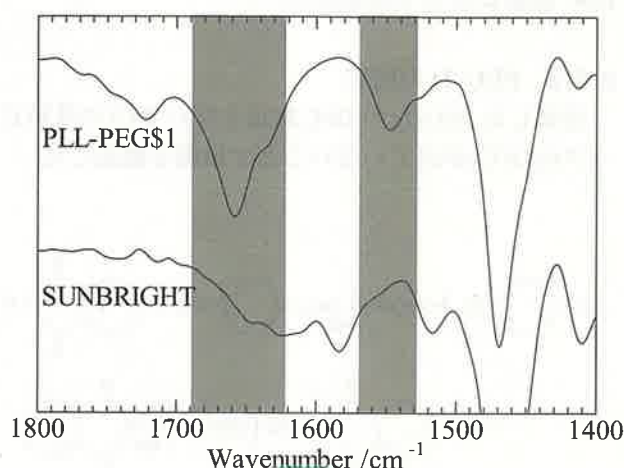


Fig. 6 IR spectra for PLL-PEG\$1 and SUNBRIGHT.

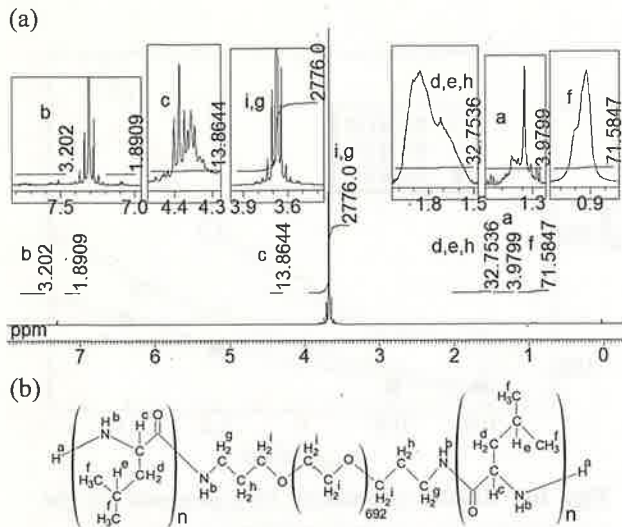


Fig. 7 $^1\text{H-NMR}$ spectrum(a) and chemical structure(b) for PLL-PEG\$1.

Table 4 Peak intensity in $^1\text{H-NMR}$ spectrum for PLL-PEG\$1.

	Chemical shift (ppm)	Intensity (Cal. Val.)
H^f	0.93	71.58(120)
H^a	1.29-1.35	3.98(2)
$\text{H}^d, \text{H}^e, \text{H}^h$	1.72-1.86	32.75(64)
H^g, H^i	3.53-3.582	2776(Ref.)
H^c	4.36-4.40	13.86(20)
H^b	7.10-7.74	5.09(20)

3. PLL-PEG の物性

3.1 側鎖の繰り返し数の決定

PLL-PEG の $^1\text{H-NMR}$ 測定の結果を Fig.7 と Table4 に示す。また、側鎖の L-ロイシンセグメントの繰り返し数を n とした。 n は、 H^d と H^e の積分値から $4(\text{H}^h$ の数) を引き $6(\text{L-ロイシンユニットの } \text{H}^d \text{ と } \text{H}^e \text{ の数})$ で割った値、 H^e を $2(\text{L-ロイシンユニットの } \text{H}^e \text{ の数})$ で割った値、 H^f を $12(\text{L-ロイシンユニットの } \text{H}^f \text{ の数})$ で割った値の平均値とした。 Table4 の計算値は仕込み値の値から求めたプロトンの数を示す。

Table 5 Repeating number, n for PLL-PEG\$1-\$6 calculated with the peak intensity in $^1\text{H-NMR}$ spectrum.

\$ //Amino-PEG	Feed	n
1 //SUNBRIGHT	10	5.90
2 //SUNBRIGHT	10	6.84
3 //SUNBRIGHT	10	7.64
4 //SUNBRIGHT	10	8.44
5 // PEG-NH ₂	2	2.07
6 // PEG-NH ₂	10	7.94

Table 6 Solution properties for PLL-PEG\$1-\$6.

\$	Soluble	Tranparency	Gelation
1	○	Trans.	Gel
2	○	Trans.	Sol
3	○	Opaque.	Sol
4	×	Opaque.	Sol
5	○	Trans.	Sol
6	×	Opaque.	Sol

合成時に PLL-PEG の側鎖の繰り返し数を任意に定めて、種々の繰り返し数を持つ PLL-PEG を合成した。 PLL-PEG 合成の仕込み値と n を Table5 に示す。

3.2 側鎖の繰り返し数が水溶液に与える影響

合成した PLL-PEG を脱気した蒸留水に溶解し、水溶液の特徴を観察した。 L-ロイシンセグメントの繰り返し数が異なると、 PLL-PEG 水溶液の溶解性、透明度、ゲル形成、という物性が異なった。 この結果を Table6 に示す。 物性の変化が小さな範囲で起こったため、 PLL-PEG は臨界鎖長を持つと考えた。

3.3 融点降下

PEG-OH, PLL-PEG\$5, \$6 について昇温 DSC 測定した結果を Fig.8 に示した(昇温速度=3°C/min)。 Fig.8 から分かる様に、 L-ロイシンセグメントの繰り返し数が増えると、融解ピークが低温側に移動する。 また、ポリ L-ロイシン単体について DSC 測定を行ったが、 20°C から 250°C に融解ピークは無かった。 この結果から L-ロイシンセグメントが PEG の融点降下を起こすと考えた^[10]。

3.4 粘度測定

水槽の温度を 25°C に保ち、ウベローデ粘度計を用

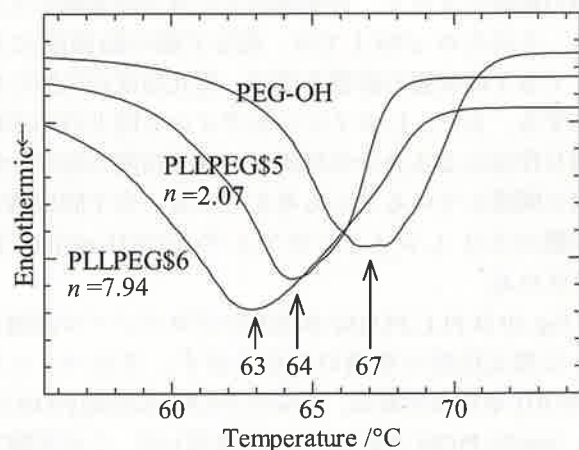


Fig. 8 Heating DSC curves for PEG-OH, PLLREG\$5, \$6. Melting temperatures are indicated by arrows in the figure.

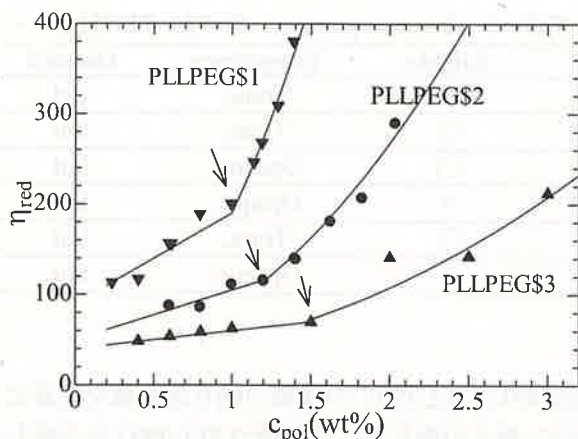


Fig. 9 Reduced viscosity for aqueous solutions of PLL-PEG\$1-\$3. Arrows in the figure indicate c^* .

いて落下時間 t (sec)を測定した。

t から還元粘度 η_{red} を計算した。 η_{red} は、

$$\eta_{red} = (t - t_0) / t_0 \cdot c \quad \dots (1)$$

から計算した。 t_0 は溶媒の落下時間、 c は水溶液の濃度を示す。

3.5 粘度測定結果

Fig.9 は、(1)式を使用して求めた PLL-PEG\$1, 2, 3 水溶液の還元粘度の挙動を示す。側鎖のポリ L-ロイシンセグメントの n によって還元粘度の挙動が変化する。矢印は還元粘度が急激に変化する濃度 c^* を指す^[11]。

c^* 未満では還元粘度は濃度に比例しており直線で表される。このことから、還元粘度は水溶液中の高分子鎖の数(濃度)に依存していて、PLL-PEG は水溶液中では互いに影響せず孤立している。

c^* 以上、即ち準希薄溶液では、還元粘度が急激に増加する。PLL-PEG 水溶液中では高分子鎖の数が増加して、高分子鎖同士が接近し始める。この高分子鎖の接近によって、官能基同士で分子間架橋を生じる。そのため c^* 以上では、高分子鎖の数(濃度)に加えて分子間架橋の影響を受け、還元粘度が急激に増加する。また、L-ロイシンセグメント同士の疎水性相互作用による会合の形成が、還元粘度の急激な増加に関係していることも考えられる。分子間架橋は側鎖のポリ L-ロイシンのアミド(-CONH-)の間で形成される。

Fig.10 は PLL-PEG\$2 水溶液のプロパノール添加による還元粘度の挙動の変化を示す。プロパノール(PrOH)-水混合溶媒は、10mol% PrOH 水溶液(PrOH10)と 5mol% PrOH 水溶液(PrOH5)を用いた。この実験では、粘度の増加という結果が得られたため、分子間架橋が増加したことが考えられる。

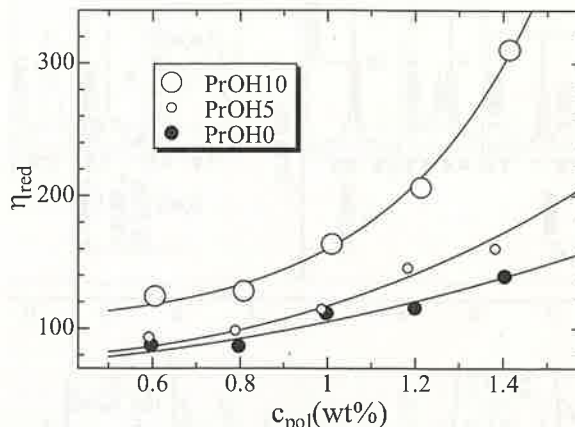


Fig. 10 Effects of addition of 2-propanol on the viscosity for aqueous PLL-PEG\$2 solution.

4. 参考文献

- [1] N. Sanabria-DeLong, S. K. Agrawal, S. R. Bhatia, G. N. Tew: *Macromolecules*, **39**, 1308 (2006)
- [2] K. A. Aamera, H. Sardinhab, S. R. Bhatiab, G. N. Tew: *Biomaterials*, **25**, 1087 (2004)
- [3] C. H. Len: *Radiat. Phys. Chem.*, **46**, 851 (1995)
- [4] M. Mutter: *Tetrahedron Letters*, **31**, 2839 (1978)
- [5] H. Tamiaki, K. Ogawa, K. Toma: 特開 2010-052764 [0065]
- [6] H. A. Klok, G. W. M. Vandermeulen, J. R. Hernandez: *Macromolecules*, **36**, 3673 (2003)
- [7] R. J. De Vos and E. J. Goethals: *Makromal. Chem. Rapid Commun*, **6**, 53 (1985)
- [8] M. N. Khan: *J. Org. Cem.*, **60**, 4536 (1995)
- [9] K. Matsuoka, T. Kohzu, T. Hakumura, T. Koyama, K. Hatano and D. Terunuma: *Tetrahedron Letters*, **50**, 2593 (2009)
- [10] E. Brown and M. G. Laborie: *Biomacromolecules*, **8**, 3074 (2007)
- [11] N. Cathebras, A. Collet, M. Viguier and J. F. Berret: *Macromolecules*, **31**, 1305 (1998)

5. 結言

この研究では、PLL-PEG を合成するために FT-IR, ¹H-NMR スペクトルの詳細を明確にした。また、繰り返し数の決定と水溶液の特徴から、PLL-PEG が臨界鎖長を持っていることが分かった。粘度測定では、分子間架橋による水素結合と疎水性相互作用による PLL-PEG 水溶液の c^* と、アルコール添加による粘度の増加を示すことが出来た。

Succinct Landmark Database

Tomomi NAGASAKA* and Kanji TANAKA*

(Received January 23, 2012)

Recently developed robotic mapping techniques enable the acquisition of large scale landmark databases. This paper explores an approach for succinct landmark database, which memorizes a large collection of point landmarks while allowing to random access the location of i -th landmark. Our approach combines and extends three independent compression techniques: space coding (space filling curve), succinct representation (directly addressable variable-length codes), and exemplar-based compression (Manhattan world exemplars). Experiments using real datasets evaluate effectiveness of the presented techniques in terms of compactness, access speed, and accuracy of landmark database.

Key Words : landmark database, space coding, succinct representation, exemplar-based compression.

1. Introduction

Landmark database plays an important role in robotic mapping and localization applications^{[1],[3]}. A landmark database aims to memorize a large collection of locations of point landmarks w.r.t. an environment map, while allowing to random access the location of i -th landmark. Classical data structures such as array of landmark locations allow a modern PC to memorize and random access tens of millions of landmarks. However, it is impossible to scale up to larger collection of landmarks, which is becoming available with recently developed robotic mapping techniques.^[4] This paper explores *succinct representation* of landmark database, i.e. compression of the data structure while preserving the random accessibility, in order to enhance compactness, access speed, and accuracy of landmark database.

The problem explored in this paper might be partially similar to the classical problem of point cloud compression in the field of point-based geometry. Many efforts have focused on compact 3D representation of a given point cloud while preserving details, by employing various types of model-based representations (e.g. meshes,^[5] depth maps,^[6] primitives,^[7] grammars,^[8] patches,^[9] hybrids^[10]) as well as point-based representations (e.g. spatial subdivision,^[11] predictive coding^[12]), although most of existing techniques do not support the random acces-

sibility. Model-based representations focus on simplification and approximation of surfaces while preserving details, and do not aim to recover the original point cloud. Point-based representations do not support random access to the decompressed points. Predictive coding,^[12] where points are predicted from previously coded neighbors, always relies on previous points in the encoded sequence. Spatial subdivision,^[11] where connectivity information is eliminated for compression, also needs to decode the entire point set.

Our approach combines and extends three independent compression techniques: **space coding**, **succinct representation** and **exemplar-based compression**. The following subsections briefly review individual techniques, and describe our approach.

1.1 Space Coding

Space coding methods aim at linearization of higher dimensional (e.g. 3D) spaces using **space-filling curves** that have several desirable properties,^[13] (1) they pass through each point in the space once and only once, (2) two points that are neighbors in space are neighbors along the curve and vice versa, and (3) easy to retrieve neighbor of a point. In particular, we are interested in the **Morton order** method, which uses bit interleaving of binary representation of the individual i -th coordinates of the point. Unlike other order methods such as Peano-Hilbert order, Canto order as well as Spiral order methods, the Morton

*Dept. of Human & Artificial Intelligent Systems

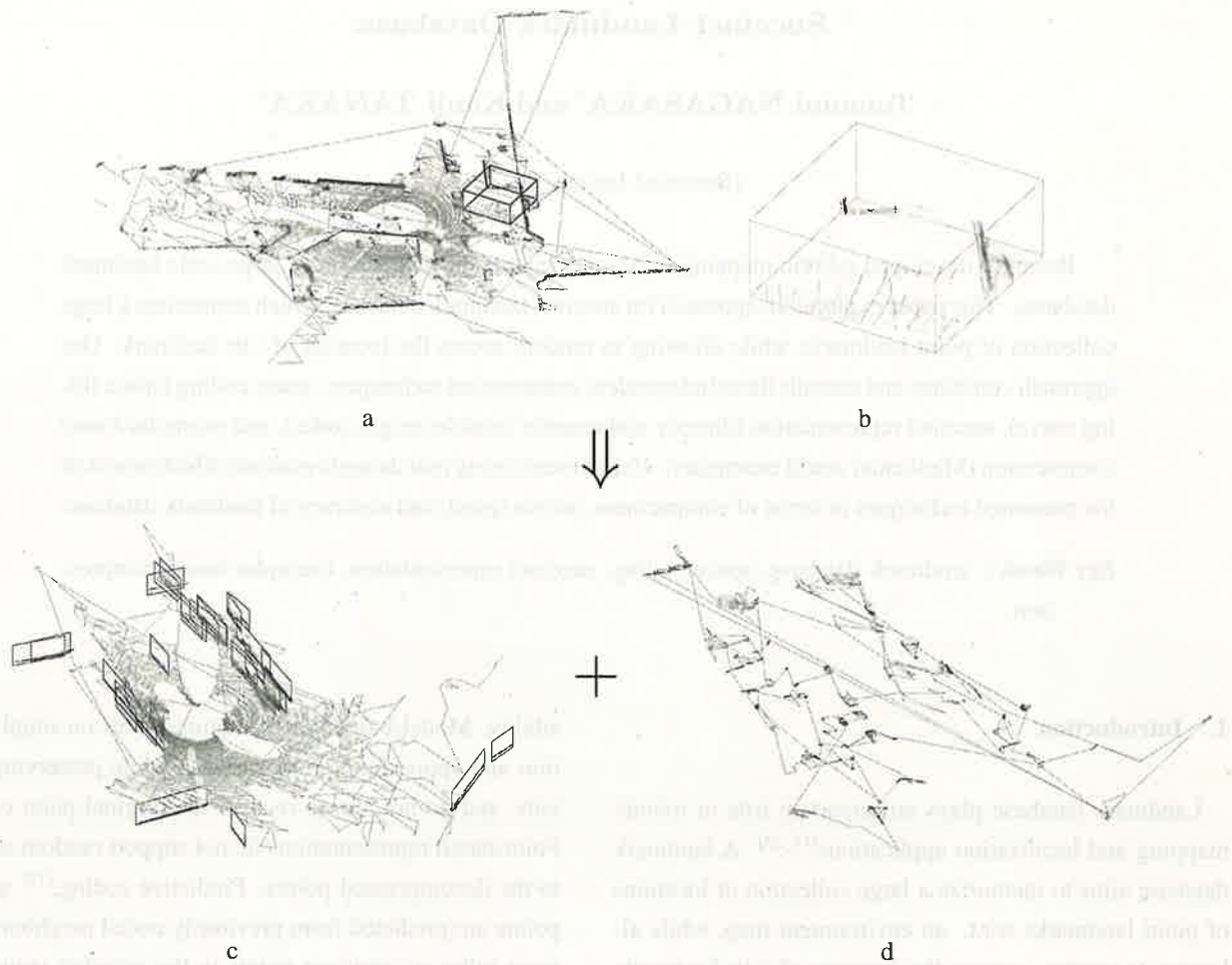


Figure 1: Overview of our approach. Top: Succinct representation, where the input pointset is directly encoded and reordered using the Morton-difference-Gamma coding scheme, and directly addressable variable length encoded. Bottom: Exemplar-based compression, where the input pointset is firstly split into those which belong to exemplar patterns and the rest, and then the resulted pointsets are individually encoded, reordered, and succinctly represented. (a) Input pointset. (b) A close-up. (c) Points belonging to the floor exemplar as well as wall exemplars. (d) Points belonging to non-exemplar patterns.

order method has all of the following desirable properties, (4) it supports **easy converting** between the 3D point locations and the curves, (5) it supports **stable** space ordering i.e. the relative order of the individual 3D locations is maintained when the resolution is doubled or halved, (6) it guarantees **admissible** curves, i.e. at every point on the curve, at least one horizontal and one vertical neighbor of each point have already been encountered.

It is reasonable to assume that difference-codes of Morton code are small integers and compress well by **Gamma codes**. Such an encoding strategy (**Morton+difference+Gamma**) has been already explored and verified by^[14] in the context of constructing nearest neighbor graphs.

1.2 Succinct Representation

We now address succinct representation of the Gamma codes. A well-known difficulty in variable length coding (e.g. Gamma code) is that it is not possible to access directly the i -th encoded element, since its position in the encoded sequence depends on the sum of the lengths of the previous codewords. A naive solution to random access a variable-length encoded sequence is to regularly **sample** it and store the positions of the samples in the encoded sequence, which introduces space and time penalty relying on the sequence's length. In contrast, succinct representation aims to save space cost close to information-theoretic lower bound while allowing random access.

In particular, we adapt **directly addressable variable length codes**, a succinct representation, recently devel-

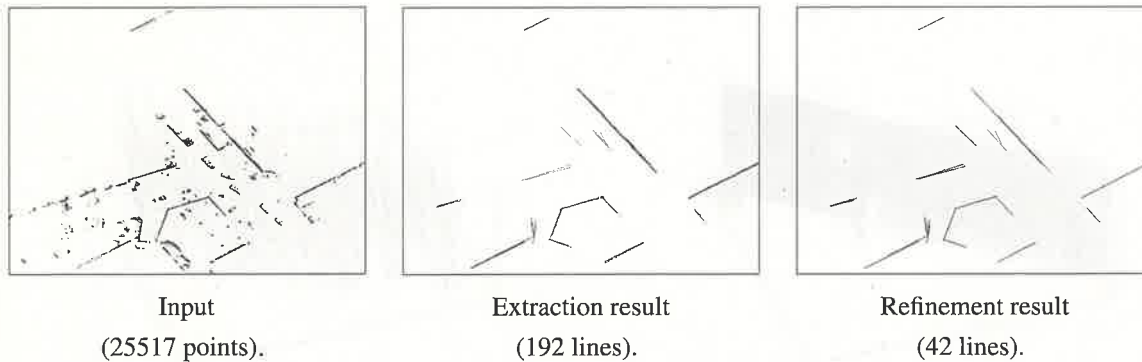


Figure 2: Exemplar extraction.

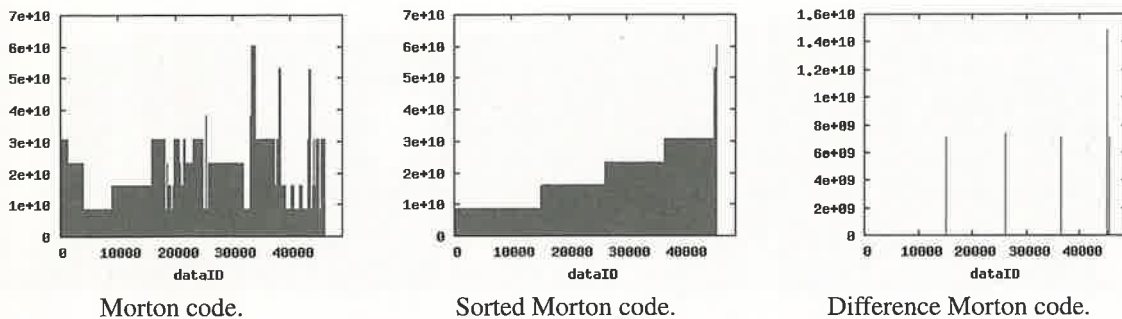


Figure 3: Morton code.

oped in,^[15] which consumes only exactly the same space as the original encoded sequence, and also supports fast random access as well as partial sums whose time costs are independent from length of the sequence.

1.3 Exemplar-based Compression

We further consider exemplar-based compression of the pointset’s representaton. Its basic idea is to exploit exemplar patterns of local point configuration, such as “walls” and “trees”, which should repetitively appear in typical natural scenes as well as in man-made environments. The technique analyzes and detects repetitive patterns in the input pointset, and replaces them with reference to a pattern dictionary. The pattern dictionary is a set of exemplar patterns, and could be learned on-the-fly in the input point cloud, or given in advance in the case of general purpose compressor.

In our approach, we extend the exemplar-based compression scheme so as to allow random access. First, points are reordered in the ascending order of exemplar IDs they belong, in order to eliminate the information of exemplar IDs. Second, points belonging to each exemplar pattern are further reordered and encoded into a space fill-

ing code (denoted as **local pointID**), so as to allow random access. In the above approach, overheads introduced by exemplar patterns are composed of the dictionary as well as parameters (e.g. size, location, shape) of each exemplar pattern. Points belonging to exemplar patterns compress well, since total length of their space filling curves should be smaller than that of the input pointset. Other points that do not belong to any exemplar pattern are directly Morton-difference-Gamma encoded. Best compression ratio is achieved when all the input points belong to exemplar patterns, and the overheads are practically small.

1.4 Contributions

This paper proposes a succinct representation of landmark database. We describe two different schemes in order to facilitate various applications. The first scheme aims to succinctly represent the landmark database in a lossless manner employing the techniques for space coding and succinct representation. The second scheme aims at further compaction of the landmark database in a lossy manner combining the above two techniques with the exemplar-based compression technique. In experiments, we investigate compactness of either scheme as well as ac-

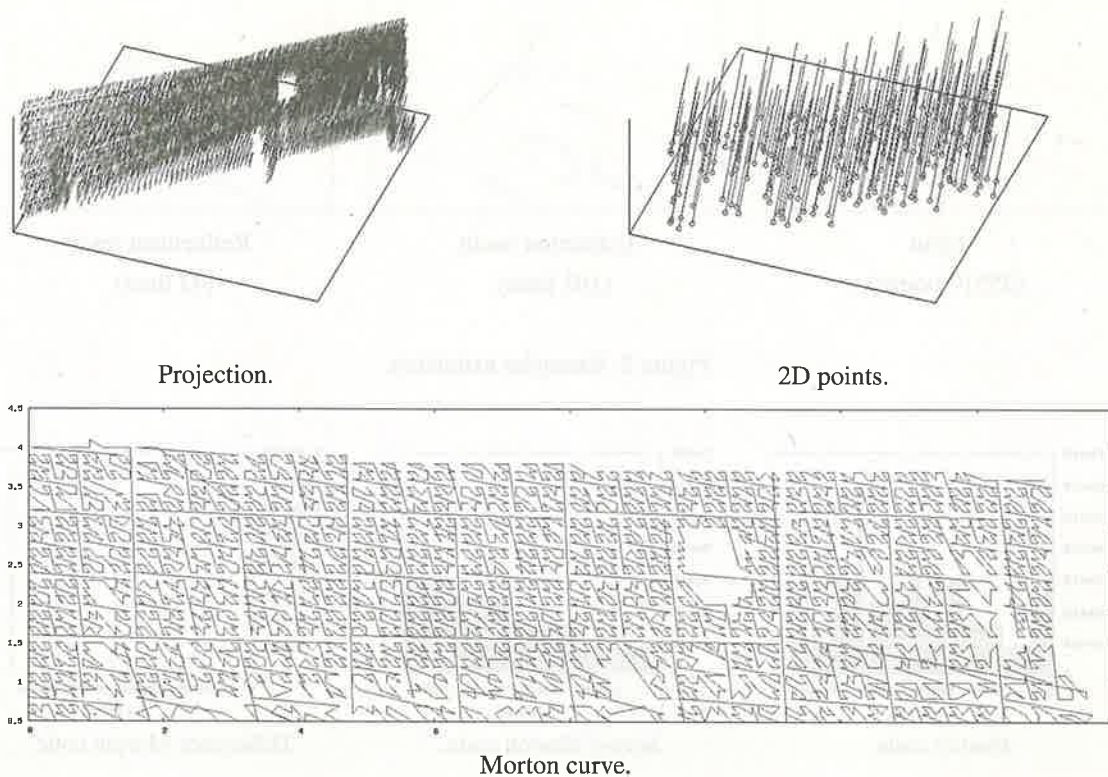


Figure 4: Encoding 2D exemplar.

cess speed and accuracy of the presented techniques using real datasets.

2. Approach

2.1 Succinct Representation

The compression problem addressed in this paper takes as input a sequence of $N + 1$ point locations to be compressed p_0, \dots, p_N , and outputs a succinct representation $S(i)$ of the landmark locations and a sequence of pointIDs (denoted as **global pointIDs**) i_0, \dots, i_N of the original point locations, so that $S(i)$ returns location of the landmark with global pointID i .

As aforementioned, our approach employs the Morton-difference-Gamma encoding scheme. In detail, the input points p_0, \dots, p_N are encoded into Morton codes (Fig.3left), and reordered in Morton order $\alpha_0, \dots, \alpha_N$ (Fig.3middle). Then, the Morton code sequence is encoded by difference coding $\Delta\alpha_i = \alpha_i - \alpha_{i-1}$ into a length N sequence $\Delta\alpha_1, \dots, \Delta\alpha_N$ (Fig.3right). Then, the difference code sequence is encoded into a sequence of Gamma codes $\gamma_1, \dots, \gamma_N$.

Our scheme for succinct representation is an adaptation of the reordering technique presented in^[15] for the Gamma code case. It aims to reorder codes such that it is possible to random access j -th codeword x_j without need of any sampling method. First, it separates the original Gamma code sequence into a pair of sequences of chunks U_r, \dots, U_1 and B_r, \dots, B_1 . Each stream U_i (or B_i) contains the i -th significant chunks of the unary part (or the binary part) of a Gamma code. The decoding algorithm recovers at each i -th step, i -th bit of each codeword at once. Since i -th bit of the unary part of a Gamma code indicates whether the codeword terminates at that bit or not, it can identify the number of codewords that have not been terminated yet as well as the concatenation of such non-terminated codewords in an incremental manner. The resulted data structure supports random access to the original Gamma code as well as partial sum $X[j] = x_1 + \dots + x_j$ for any given i with a constant cost $O(1)$ independent from the length N of original sequence.



Figure 5: Input pointsets.

2.2 Exemplar-based Compression

The basic idea of exemplar-based compression is to replace a part of input pointset with compact reference to a pattern dictionary. The pattern dictionary is a set of exemplar patterns of local point configuration, each of which is a parametric or non-parametric representation of a pointset, and each point is assigned with a unique local pointID.

The encoding procedure aims to obtain a succinct representation of a given input pointset (Fig.1a), and proceeds in the following steps:

1. Split points into those which belong to one of exemplar patterns P_1, \dots, P_M (Fig.1b) or those which do not belong to any exemplar pattern P_0 (Fig.1c).
2. Encode each point $\{p\}$ belonging to each exemplar pattern $P_i (i \in [1, M])$ with local pointID $j (j \in [1, |P_i|])$ into a pairing $k = (i, j)$.
3. Encode each point belonging to the non-exemplar pattern P_0 into a pairing $k = (0, j)$, where j is the 3D Morton code of the point's location.

Points in non-exemplar patterns are directly Morton-difference-Gamma encoded and converted to a succinct representation, denoted as **DB0**.

In experiments, we will focus on typical **Manhattan world-like** environments, mainly composed of planes perpendicular to the floor plane, and employ such plane as an exemplar point configuration. To obtain a set of plane exemplars, the input points are projected onto the floor plane, a set of 2D line segments are extracted from the 2D points by a **Hough transform** algorithm on the 2D projected points, and then those line segments whose score exceeds a preset threshold $C_{score} = 10$ as well as the floor plane are regarded as (2D projections of) exemplar planes (Fig.2), denoted as **DB1**. Given such exemplar planes P_1, \dots, P_M , each point in the input pointset is classified into an exemplar $P_i (i \in [1, M])$ whose distance from the point is smaller than a preset threshold $C_{dist} = 1.0\text{m}$ if there exists such an exemplar P_i , or the non-exemplar P_0

otherwise. We approximate each point belonging to an exemplar $P_i (i \in [1, M])$ by the perpendicular foot q from the point to the plane, and assign the 2D Morton code j of the 2D location q as the local pointID (Fig.4). Note that 2D Morton code given such a support plane approximates the 3D location with a spatially more efficient manner than the original 3D Morton code.

The exemplars are also encoded with the space coding as well as the succinct representation. First, points belonging to each cluster are reordered in the ascending order of local pointID, and then difference-Gamma encoded and converted to the succinct representation. Second, all the succinct representations are concatenated in the ascending order of clusterID, denoted as **DB2**. Note that length of the resulted sequence exactly equals size of the original pointset. We assign global pointID k to k -th point in the concatenated sequence. The information of clusterID is eliminated from each point, and instead, size of each cluster is memorized using the succinct representation, denoted as **DB3**.

The decoding procedure aims to obtain the location of a point with a given global pointID k , time-space efficiently. It proceeds in the following steps. First, clusterID j of the point is binary searched using the global pointID k as well as the information of cluster size **DB3**. Second, the cluster's 1st point's global pointID k_j is computed using the partial sum operation $X[j]$ over **DB3**. Third, the point's localID k' is computed using the partial sum operations $k' = X[k] - X[k_j]$ over **DB2**, decoded as 2D Morton (if $j > 0$) or 3D Morton (if $j = 0$) code, and then converted to the 3D location using the information of exemplar planes **DB1**, as well as non-exemplar patterns **DB0**.

Obviously, the compression schemes trade time (and accuracy) for space, when compared with the original uncompressed representation. In experiments, we will investigate the tradeoffs using real datasets.

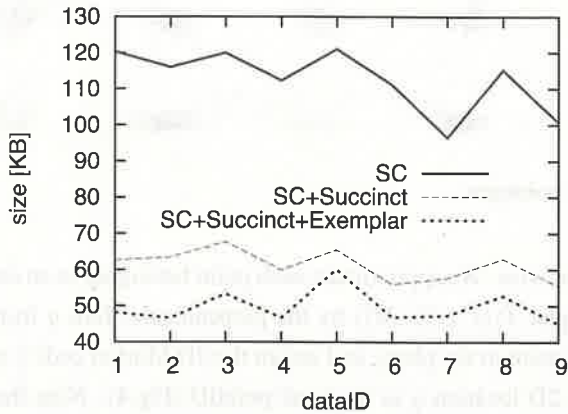


Figure 6: Datasize.

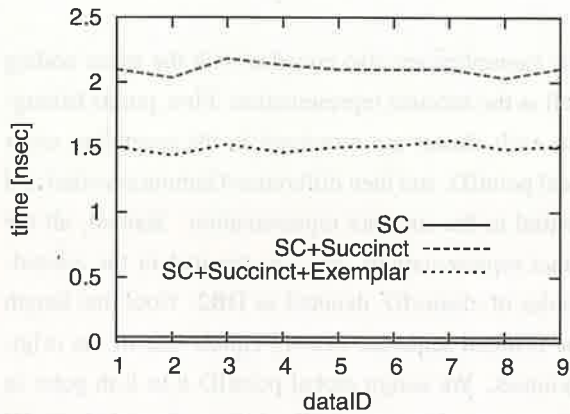


Figure 7: Access speed.

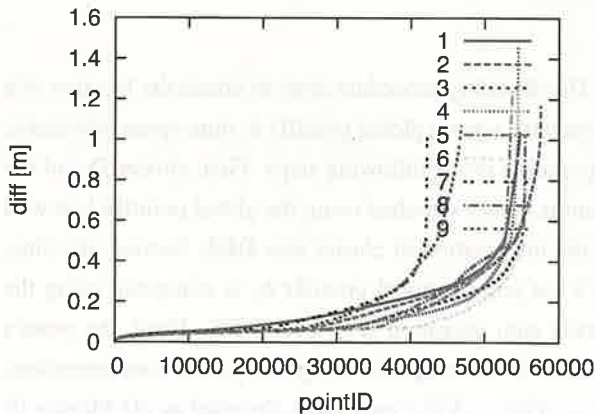


Figure 8: Accuracy.

3. Experiments

We evaluate effectiveness of the presented techniques, in terms of compression ratio, access speed, as well as

accuracy. Nine pointsets shown in Fig.5 are employed as benchmark dataset. Each pointset is an unorganized pointcloud with around 60K points acquired by a 3D laser scanner, although we never use the knowledge of sensor's viewpoint for the compression purpose. All experiments are performed on 2.4GHz Intel CPU and 2GB of RAM. The sensor resolution is assumed to be 0.1m. 21bit Morton code per point (+ an offset Morton code) suffice for that resolution. Fig.6 reports size of the original pointset ("SC"), size of the representations presented in 2.1 and in 2.2 ("SC+succinct" and "SC+succinct+Exemplar"), respectively. For fair comparison, the original pointset is fixed length encoded (i.e. 21bits) and stored in an array. One can see that, the variable length coding techniques ("SC+succinct", "SC+succinct+Exemplar") clearly outperform the naive fixed length coding scheme. "SC+succinct+Exemplar" saves around 10KB-20KB when compared with "SC+succinct". Fig.7 shows average time cost for random access per point. One can see that "SC" beats the other two, and "SC+succinct+Exemplar" is slightly better than that of "SC+succinct". Fig.8 reports approximation error of the "SC+succinct+Exemplar". One can see that around half of points have non-negligible approximation error. This is due to that the exemplar-based compression scheme approximates 3D points with their 2D projection onto exemplar planes. The examinations of compression ratio, access speed, as well as accuracy for two other resolutions, 0.2m and 0.05m, are also conducted and similar tendency is observed, as reported in Fig.9.

4. Conclusions

The primary contribution of the paper is proposal of succinct representation for landmark database. Our approach combines and extends three independent compression techniques: space coding, succinct representation, and Exemplar-based compression. The succinct representation reorders the sequence in a lossless manner so as to allow random access, which is an essential requirement for landmark database. The exemplar-based compression further compresses the landmark database while preserving the random accessibility. Experiments using real dataset have shown effectiveness of the presented techniques in terms of compactness, access speed, and accuracy.

The tradeoff between accuracy and space of our approach depends on how well the exemplar patterns fit input points. From the viewpoint of accuracy, better fitting be-

tween points and exemplars naturally leads to lower approximation error. From the viewpoint of space, better compression ratio is expected when larger portion of the input pointset is compactly explained out by the exemplar patterns. To improve the exemplar-based compression performance is a main direction of our future research.

In this paper, we employed a simple, plane-type exemplar, which is represented by a 2D straight line segment on the floor plane. However, our approach is not restricted to 2D straight line segments, but also applicable to arbitrary shape 2D curved segments, and even general 2D point sequences. Furthermore, a main limitation of segment-based representations is that they essentially require $O(N)$ space for size N input pointset. In our previous studies, we have presented several schemes for compactly representing **sparse feature maps** while preserving random accessibility, including **repetitiveness-based** compression,^[16] **grammar-based** compression,^[17] **incremental** compression,^[18] as well as compression using **geometric priors**.^[19] In such “map compression” frameworks, the coding scheme presented in this paper would serve as an essential building block.

References

- [1] Adrien Angeli, David Filliat, Stephane Doncieux, and Jean arcady Meyer. A fast and incremental method for loop-closure detection using bags of visual words,” conditionally accepted for publication in. *IEEE Transactions On Robotics, Special Issue on Visual SLAM*, 2008.
- [2] Mark Cummins and Paul Newman. Accelerated appearance-only SLAM. *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2008.
- [3] B. Williams, G. Klein, and I. Reid. Real-time slam relocalisation. *Proc. IEEE 11th Int. Conf. Computer Vision*, pages 1–8, 2007.
- [4] Viorela Ila Kai Ni Frank Dellaert, Justin Carlson and Charles E. Thorpe. Subgraph-preconditioned conjugate gradients for large scale slam. *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2010.
- [5] Qian-Yi Zhou and Ulrich Neumann. 2.5d building modeling with topology control. pages 2489–2496, 2011.
- [6] Myron Z. Brown, Darius Burschka, and Gregory D. Hager. Advances in computational stereo. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25:993–1008, 2003.
- [7] Qian-Yi Zhou and Ulrich Neumann. A streaming framework for seamless building reconstruction from large-scale aerial lidar data. pages 2759–2766, 2009.
- [8] Peter Wonka, Michael Wimmer, François Sillion, and William Ribarsky. Instant architecture. *ACM Transaction on Graphics*, 22(3):669–677, July 2003.
- [9] Hanspeter Pfister, Matthias Zwicker, Jeroen Van Baar, and Markus Gross. Surfels: Surface elements as rendering primitives. *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 335–342, 2000.
- [10] Florent Lafarge, Renaud Keriven, Mathieu Brédif, and Hiep Vu. Hybrid multi-view reconstruction by Jump-Diffusion. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010 IEEE Conference on*, pages 350–357, 2010.
- [11] Ruwen Schnabel and Reinhard Klein. Octree-based point-cloud compression. 2006.
- [12] Stefan Gumhold, Zachy Karni, Martin Isenburg, and Hans-Peter Seidel. Predictive point-cloud compression. 2005.
- [13] Hans Sagan. Space-filling curves. *Springer-Verlag*, 1994.
- [14] Benoît Hudson. Succinct representation of well-spaced point clouds. *CoRR*, abs/0909.3137, 2009.
- [15] Nieves R. Brisaboa, Susana Ladra, and Gonzalo Navarro. Directly addressable variable-length codes. pages 122–130, 2009.
- [16] Nagasaka Tomoni and Tanaka Kanji. Dictionary-based map compression for sparse feature maps. *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA)*, 2011.
- [17] Kondo Kensuke, Tanaka Kanji, and Nagasaka Tomomi. Grammar-based map compression using manhattan-world priors. *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2011.

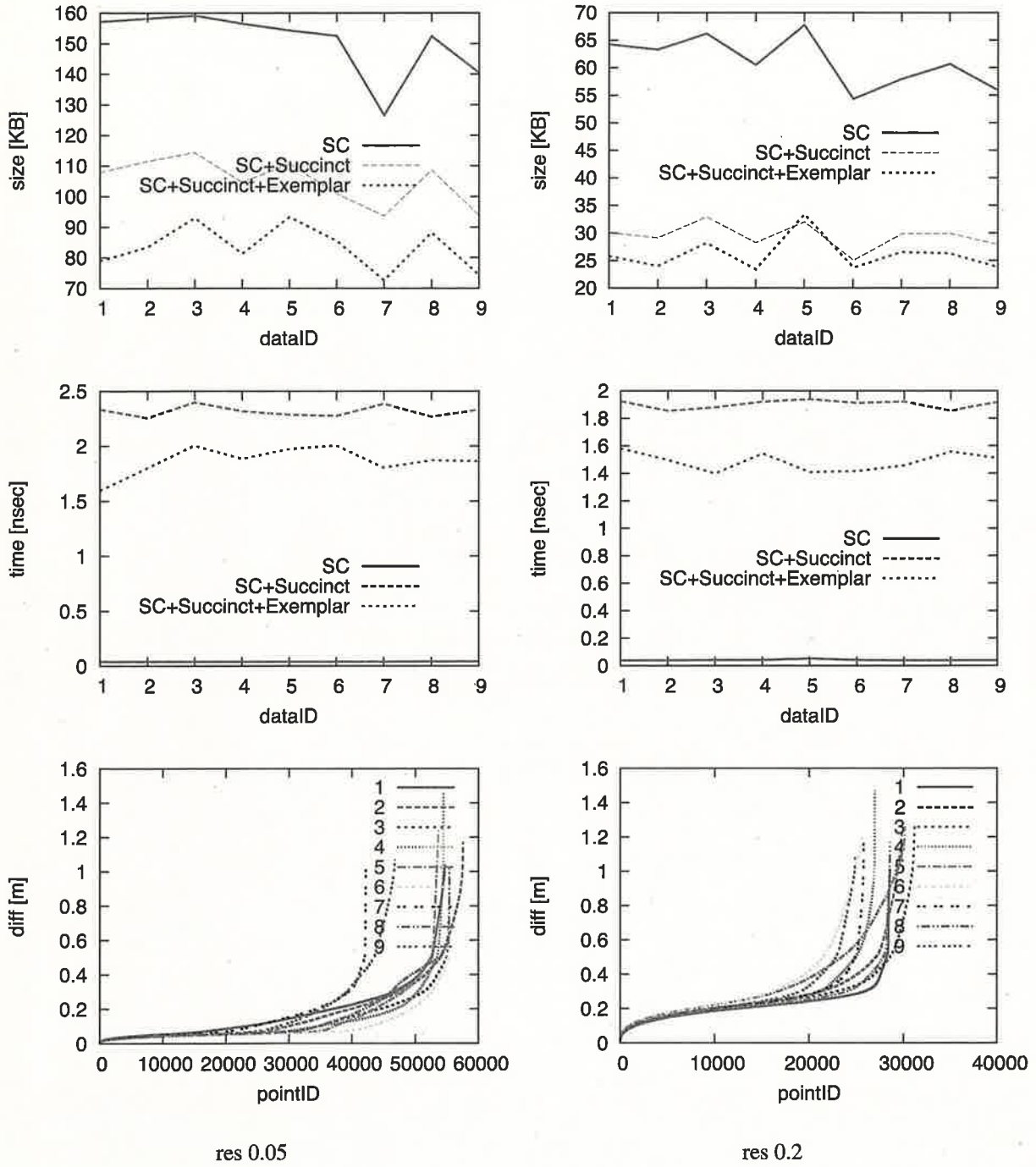


Figure 9: Other resolutions.



Figure 2. Time series of...

圧縮 Gist ランドマークの研究

時系列圧縮 Gist に基づくモンテカルロ自己位置推定

近藤 賢佑* 田中 完爾* 池田 剛一郎*

Study on Compressed Gist Landmark Monte Carlo Localization Using Compressed Gist Sequence

Kensuke KONDO* and Kanji TANAKA* and Kouichirou IKEDA*

(Received January 23, 2012)

This paper is concerned with the problem of mobile robot localization using a novel compact representation of visual landmarks. With recent progress in lifelong map-learning as well as in information sharing networks, compact representation of a large-size landmark database has become crucial. In this paper, we propose a compact binary code (e.g. 32bit code) landmark representation by employing a compressed Gist scene descriptor from web-scale image retrieval. We show how well such a binary representation achieves compactness of a landmark database while preserving efficiency of the localization system. Experiments using a high-speed car-like mobile robot evaluate effectiveness of the presented techniques in terms of cost-performance, semantic gap, saliency evaluation using the presented techniques as well as challenge to further reduce the resources (#bits) per landmark.

Key words : monte carlo localization, visual landmark, compressed Gist

1. はじめに

ランドマークに基づく自己位置推定問題は、移動ロボット学の最も基礎的な問題の一つである。本問題は、作業環境の視覚特徴（ランドマーク）配置を記した地図を所与とし、ロボットが自己位置を一意に推定することを目的とする。そのために、ロボットは、移動経路上の各地点において、視覚特徴を認識し、これと類似する特徴を地図中から検索することで、次第に自己位置を絞り込んでいく。従来より、この認識・検索に有効な、様々なランドマーク（例：SIFT^[1]、ビューシーケンス^[2]、Bag-Of-Features^[3]）の研究開発がなされてきた。その一方で、近年、移動ロボットによる地図生成技術は大きく進展し、大規模環境の地図をリアルタイムに生成することが可能になってきた^[4]。さらに、この技術を基盤として、不特定多数のロボットが互いの地図

を共有・利用する自律分散ネットワーク技術の研究がなされている^[5]。それにともない、上記の認識・検索の性能に加えて、

- コンパクト性：コンパクトであり、記憶・送受に有効であること

という新たな要求を満たすランドマーク技術が求められている。

本研究では、上記要求を満たすものとして、シーンの Gist 特徴に着目した^[6]。一般に、ヒトの視覚システムは、シーンの空間表現を瞬時に獲得することができる。この空間表現は、シーンの要点（Gist 特徴）と呼ばれ、たとえば、シーンの意味（例：道路がある）、主要な物体（例：道路の両側に高い壁がある）、大域的な構造（例：視野の広がり）など、シーンに関する豊富な情報を含む^[7]。近年、コンピュータビジョンの分野において、この Gist シーン特徴を画像処理技術として工学的に実装する試みがなされている^{[8],[11]}。Oliva ら^[12]は、画像の低空間周波数成分を抽出するフィルタを用いて、

*知能システム工学科

*Dept. of Human & Artificial Intelligent Systems

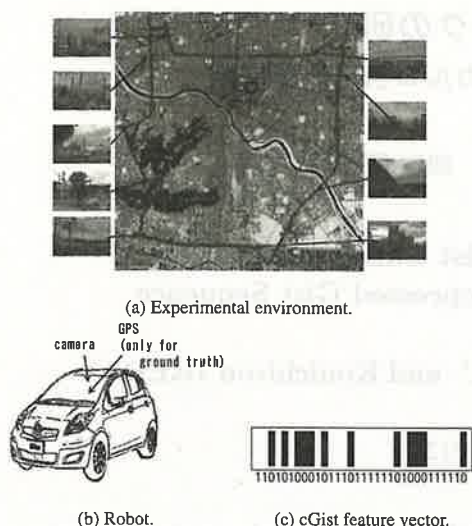


図 1: Experimental platform.

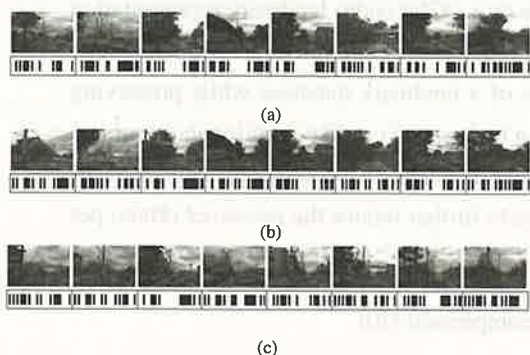


図 2: Compressed Gist sequence.

Gist シーン記述子を開発した。文献^[13]では、多層グラフィカルモデルに基づく量子化技術、セマンティックハッシング (SH)^[14]を利用して、この Gist シーン記述子を、識別性を保ったまま、コンパクトな 32bit の二値コード (以下、圧縮 Gist) へ量子化する方法を開発した。この Gist および圧縮 Gist は、近年、画像補完^[11]や画像検索^[13]などの応用において、高い認識性能・検索性能を達成している。

本論文では、ロボットがナビゲーション中に取得する時系列圧縮 Gist を用いる自己位置推定問題を考える。実験プラットフォームとして、図 1 のように、視覚センサを搭載した自家用車を使用し、街中の約 20km の道路を、0-50km/h の速度で走行し、自己位置推定を行う。このような、自家用車の自己位置推定タスクは、視点間隔が大きい、カメラが高速振動する、などの理由から、依然として挑戦的な課題である。図 2 a,b,c に、それぞれ異なる日時に取得した時系列圧縮 Gist の 3 つの例を示す。a と b は同じ場所、c は異なる場所で取得した。図からも分かるように、同じ場所で取得した圧縮

Gist は互いに類似している場合が多いが、完全に一致してはならず、また、異なる走行経路の圧縮 Gist とも部分的に類似しているため、個々の圧縮 Gist だけでは自己位置を一意に決定することができない。本研究のように、圧縮 Gist を時系列で用いることで、単一の圧縮 Gist よりも多くの情報を得ることを期待できる。また、時系列圧縮 Gist の持つ冗長な情報量を利用して、さらなるコンパクト性の向上を期待できる。

以上を踏まえ、時系列圧縮 Gist をランドマークとして利用する自己位置推定システムの有効性を検証することを本論文の目的とする。この目的のために、ランドマーク以外の実験条件は、先行研究と同等の条件とした。具体的に、自己位置推定アルゴリズムには、標準的なモンテカルロ自己位置推定^[15]を用いる。また、地図には、事前にロボットが同じ経路を走行し各視点について圧縮 Gist および視点番号を記録したものを用いる。また、性能指標には、車載 GPS により計測した車体位置を基準とした推定位置の誤差を用いる。さらに、時系列圧縮 Gist の有用性を、識別性、パラメータ依存性、汎化性、顕著性、情報圧縮、従来法との性能比較など、様々な観点から検証する。

1.1 関連研究と位置付け

自己位置推定問題の先行研究は、多岐に渡って行われている。ここでは、関連研究に焦点を絞って、本研究の位置付けを示す。

一般に、自己位置推定問題は、与えられる地図の種類により、位相地図に基づくものと、計量地図に基づくものとに大別される。前者の位相地図は、ロボットにより識別可能な場所のリスト、および、場所間の接続関係を表す移動可能経路の情報を記す。後者の計量地図は、これらの情報に加えて、物体・経路の位置・形状などの計量情報を記す。本論文は、前者の位相地図に基づく自己位置推定問題に分類される。

位相地図に基づく自己位置推定問題の研究は、使用する視覚特徴の種類により、さらに、局所特徴および大域特徴という 2 つのアプローチに分類される。前者は、識別性に優れる局所特徴を用いて、シーンを記述する。たとえば、^[1]の方法は、回転・伸縮・遮蔽・照明などの変化に対して頑健な SIFT 特徴を用いて視覚画像を記述する。このアプローチは、シーンの大域的な変化に対して頑健であるが、その反面、シーンの意味や空間構造などの大域的な特徴を捉えることができないという課題がある。^[16] 対照的に、後者の大域特徴のアプローチは、シーンの意味や構造を一つの局所特徴により記述する。たとえば、^[2]の方法は、ビューシーケンスを直接に大域的な特徴として用いて視覚画像 (列)

を記述する。以上のように、2つのアプローチは相補的であり、両者を組合せる方法についても研究がなされている^[16]。本論文は、後者の大域特徴のアプローチに分類される。

視覚画像に基づく自己位置推定問題は、コンピュータビジョンの分野において長年研究がなされており、近年、モバイルや移動ロボットの分野においても、研究が活発になってきている。^[17]では、都市規模の大規模環境において、*vocabulary tree* および枝刈に基づく効率的な自己位置推定方法を提案している。^[18]は、三次元点群に基づく、物体の位置推定、セグメンテーション、意味ラベリング、および、分類のための方法を提案している。^[19]では、航空写真などの2次元平面地図を所与とし、一枚の全方位画像から、*geometric hashing* と投票に基づいて、頑健に自己位置推定を行う方法を提案している。^[20]では、都市規模の大規模環境において、携帯電話の画像から、ランドマークを認識する方法、および、データセットを公開している。以上を踏まえた上で、本論文は、視覚特徴のコンパクト性に焦点を当てる点に特色がある。

移動ロボットの分野において、局所特徴群をコンパクトに表現する方法として、*Bag-Of-Features (BOF)* 手法 (*FABMAP* 等^[31]) が広く用いられている。その基本となるアイデアは、局所特徴アプローチにおいて、視覚画像を局所特徴の集合により表現することにある。この表現を利用して、視覚画像を量子化された局所特徴 (視覚単語) のヒストグラムによりコンパクトに表現し、転置ファイルを利用して高速な検索を実現することができる。しかし、ヒストグラム表現は、依然として、多次元データであり、^[21]でも指摘されているように、大規模な画像集合を扱うのに十分なほどコンパクトではない。このような観点から、情報検索の分野において、二値 *BOF*^[22]、圧縮転置ファイル^[23]、*miniBOF*^[24] などの研究がなされているが、自己位置推定問題に応用した事例は少ない。

識別性を保ったまま視覚特徴を二値コードへ量子化する技術は、コンピュータビジョンの分野において、研究が盛んになってきている。^[25]は、先駆的な研究であり、いくつかの有望な量子化手法を比較検討した。これまでに、*spectral hashing*^[26]、カーネル学習^[27]、半教師有り学習^[28]などの手法が提案されている。本論文は、画像検索や画像補完の応用において有効性が確認されている^[25]の二値コード (圧縮 *Gist*) を利用する。以上を踏まえた上で、本研究は、二値コードを時系列で利用する自己位置推定の研究としては先駆的なものであり、時系列圧縮 *Gist* ランドマークの有効性を検証する研究として位置付けられる。

1.2 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。2.では、本論文におけるランドマークの認識・検索の方法について説明する。3.では、実験システムの構成を示す。4.では、検証実験を示し、5.において結論を述べる。

2. ランドマークの認識と検索

2.1 ランドマークの認識

本研究においてランドマークを認識する手続きは、以下の流れとなる。

1. *Gist* シーン記述子を利用して視覚画像からシーンの *Gist* (要点) 特徴を抽出する。
2. セマンティックハッシングを利用して *Gist* 特徴を $k = 32\text{bit}$ の圧縮 *Gist*

$$z = [z^1, \dots, z^k] \quad (1)$$

へ量子化する。

前述のように、この圧縮 *Gist* を走行経路上の各視点について記録したものを地図とする。この地図は、図3のように、視点当り $k[\text{bit}]$ の情報をもつ。

Gist シーン記述子^[12]は、シーン画像を入力とし、知覚次元と呼ばれる、自然性 (*naturalness*)、開放性 (*openness*)、粗野性 (*roughness*)、拡張性 (*expansion*)、起伏性 (*ruggedness*) などの大域的な特徴を捉え、シーンの空間的な構造を記述する。そのために、画像のスペクトルや粗い位置情報を利用して特徴抽出を行う。具体的には、4つの異なる解像度 (スケール) の画像を用意しておき、各画像を 4×4 のグリッドに分割し、各々のセル上で、特徴抽出を行う。この特徴抽出においては、画像に、ガボールフィルタを施し、8つの方向成分 (45deg 刻み) の大きさを算出する。その結果は、 $4 \times (4 \times 4) \times 8 = 512$ 次元の特徴ベクトルとなる。

セマンティックハッシング^[29]は、多層グラフィカルモデルに基づく量子化手法であり、識別性を保ったまま視覚特徴を二値コードへ量子化する。このモデルは、512次元の実数ノードを最下層とし、32 bit の二値ノードを最上層とする多層ニューラルネットワークとなっている。多層ネットワークの訓練アルゴリズムは、個々の層を個別に学習していく事前トレーニング (*pre-training*)、および、バックプロパゲーションに基づいてネットワークの重みを補正していくファインチューニング (*fine-tuning*) の処理からなり、計算時間を要する。一方、多層ネットワークを用いる識別アルゴリズムは、掛け算、および、各層毎に非線形関数を計算する処理からなり、高速に実行できる。

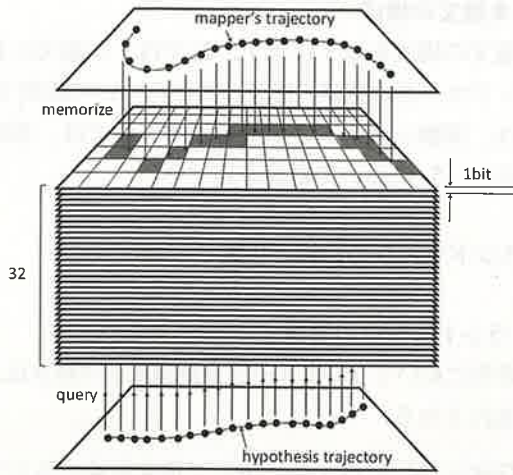


図 3: Binary landmark map.

本論文では、ランドマーク地図の記憶・送受の観点から、ランドマークのコンパクト性をさらに向上させる方法についても検討する。本論文の実験では、各ランドマークの $k = 32$ bit の全てを利用するケースだけでなく、 δk [bit] を間引いた k' ($k' = k - \delta k < k$) bit を利用するケースについても、性能検証を行い、地図のコンパクト性と有用性との間のトレードオフについて調査を行う。

2.2 ランドマークの検索

本論文で扱う、モンテカルロ自己位置推定など多くの自己位置推定アルゴリズムにおいて、ランドマーク地図を検索する場面には、主に、下記の2通りがある^[30]。

- 尤度評価: ランドマーク観測の結果をもとに、「ある視点(自己位置)にロボットがいる」という仮説の確からしさを評価する。ここでは、その視点での観測結果を予測するために、地図を検索する。
- 仮説生成: ランドマーク観測の結果をもとに、既存の仮説集合とは独立に、尤もらしい新規仮説(群)を生成する。ここでは、その観測を与える視点を予測するために、地図を検索する。

しかしながら、いずれのケースについても、本研究のような二値コードをランドマークとして利用した研究事例は少ない。そこで、以下では、尤度評価および仮説生成に二値コード(圧縮 Gist ランドマーク)を利用する方法について述べる。

2.2.1 尤度評価への利用

一般に、尤度評価の処理は、自己位置の仮説 x およびランドマーク観測 z を所与とし、ロボットが x にい

る条件下で観測 z が起こる条件付き確率密度(尤度) $P(z|x)$ を評価することを目的とする。いま、 x を自己位置の仮説、 z を観測された圧縮 Gist とし、自己位置が x である条件下で観測される圧縮 Gist を地図に基づき予測したものを $z_{map,x}$ とする。このとき、 z と $z_{map,x}$ とのハミング距離 Δz をもとに、尤度を

$$P(z|x) = l_0 l^{-\Delta z/k} \quad (2)$$

のように算出するものとする。 l_0 は、 $P(z|x)$ が確率密度関数の条件を満足するために導入する正規化定数であり、推定結果に影響を及ぼすことはない。

式(2)中で、 l は、ハミング距離の差異を重み付けする定数である。実験では、定数 l の値を 1.2, 1.5, 2, 3, 5 のように複数通りに変化させて、推定結果に及ぼす影響を調査する。

上記の尤度評価において、最も計算時間を要するのは、ハミング距離を算出する処理である。この処理は、仮説数と同じ回数だけ繰り返すことになるので、大規模な仮説集合を扱うためには、処理を高速化することが重要になる。その高速化の手段として、ビットカウント操作を利用する方法が有効である。一般に、ハミング距離の算出は、ビットカウント操作に帰着することができ、ビットカウント操作の高速アルゴリズムを利用することで、高速に実行できる。

2.2.2 仮説生成への利用

一般に、仮説生成の処理は、観測されたランドマーク z を所与とし、 z の下で尤もらしい仮説群を生成することを目的とする。ランドマークとして二値コードを用いる本研究の場合、この処理は、二値コード z からのハミング距離 Δz が z_0 以下となる二値コード、すなわち、不等式

$$\Delta z \leq z_0 \quad (3)$$

を満足する全ての二値コードを地図中から検索する処理となる。

上記の仮説生成では、与えられる二値コード z からのハミング距離が z_0 以下となる全ての二値コードを地図中から検索する処理に、最も計算時間を要する。高速化の手段として、参照テーブルを利用する方法が有効である。いま、この参照テーブルには、零ベクトルからのハミング距離が z_0 以下である全ての二値コードを記録しておく。このとき、上記の検索処理は、参照テーブル内の各要素と z との排他的論理和を算出する処理に帰着することができ、高速に実行できる。

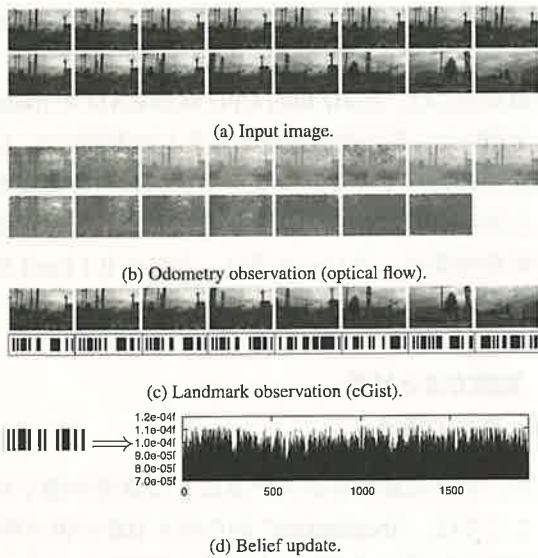


図 4: Self-localization process.

3. 自己位置推定システムの構成

本実験で使用する自己位置推定システムは、モンテカルロ自己位置推定^[15]の処理の流れに従う。モンテカルロ自己位置推定は、パーティクルフィルタに基づく自己位置推定アルゴリズムであり、時系列観測データに基づく自己位置の推定量を、一つ前の時刻の推定量を用いて、効率的に算出することができる。各時刻 t の観測データには、オドメトリ（自己移動量） a_t およびランドマーク z_t の 2 種があり、それぞれ、運動モデル $P(x_t|x_{t-1}, a_t)$ および知覚モデル $P(z_t|x_t)$ を介して、自己位置 x_t に関する情報を与える。推定量は、時系列観測データ $a^t = (a_1, \dots, a_t)$, $z^t = (z_1, \dots, z_t)$ に基づく、条件付き確率密度 $Bel(x_t) = P(x_t|a^t, z^t)$ であり、自己位置の重み付きサンプルの集合 $\{w^{(j)}, x_t^{(j)}\}_{j=1}^N$ により表される。各時刻 t の推定 $Bel(x_t)$ は、

$$Bel(x_t) = \int_{x_{t-1}} P(z_t|x_t) P(x_t|x_{t-1}, a_t) Bel(x_{t-1}) dx_{t-1} \quad (4)$$

のように前時刻の推定 $Bel(x_{t-1})$ を用いて再帰的に表される。具体的な処理は、以下の手続きからなる。まず、初期時刻 $t = 1$ において自己位置のサンプルを無作為に生成し、各サンプルの重みを同じ値に初期化する。そして、各々の時刻 t において、オドメトリおよびランドマークの観測結果を取得するたびに、それぞれ下記のようにして各サンプルおよび重みを更新する。

1. 運動更新：オドメトリ観測に基づいて、各サンプルの位置を移動する。
2. 知覚更新：ランドマーク観測に基づいて、各サン

プルの重みを更新する。

図 4 に、本システムにおける運動更新および知覚更新の処理の様子を示す。以下では、これらの処理について、より詳細に述べる。

3.1 運動更新

多くの自己位置推定システムにおいて、オドメトリの手段として車輪エンコーダやジャイロセンサなどの内界センサが広く用いられている。一方、ハンドカメラに基づく SLAM など、内界センサを搭載していない自己位置推定システムにおいては、視覚画像列から自己移動量を推定する、視覚オドメトリのアプローチが一般的であり、たとえば、局所特徴の追跡に基づく方法（例：monoSLAM^[31]）やキーフレームの照合に基づく方法（例：PTAM^[32]）などの方法が提案されている。しかし、いずれの方法も、追跡・照合する局所特徴やキーフレームが存在することを前提にしており、本実験のように、ロボットが高速移動する場合、観測地点の間隔が大きい、ロボット本体が高速振動する、などの理由により、安定してオドメトリデータを得ることができない。

本研究で対象としている自動車ロボットは、内界センサを搭載しておらず、かつ、安定に視覚オドメトリを行うことはむずかしい。そこで、本研究では、オプティカルフローに基づいて、各時刻 t において車体が静止しているのか否かの二値データを安定に取得する、簡便な観測方法を開発した。この方法は、次の手順からなる。

1. 現在および一つ前のフレーム画像からなる画像対を入力としオプティカルフローを算出し、すべてのフローについてベクトル長を算出する。
2. それらのベクトル長の中間値が閾値を越えるかどうかを判定し、その結果を、車体が静止している (0) か否 (1) かを表す二値データ（自己移動量）とする。

その上で、運動更新の処理では、

$$a_t^{(j)} = \begin{cases} U(0, l_a) & (a_t = 1) \\ 0 & (a_t = 0) \end{cases} \quad (5)$$

のように、サンプル毎の自己移動量を生成する。ただし、 $U(\cdot)$ は一様分布を表し、移動量の上限值 l_a は、自家用車の最高時速 50km/h をもとに決定する。

3.2 知覚更新

知覚更新は、サンプル毎に、

$$w^{(j)} \leftarrow w^{(j)} P(z|x^{(j)}) \quad (6)$$

のように重みを更新する処理となる。ここで、 $P(z|x)$ は、2.2.1 の尤度評価により得られる。本実験では、この知覚更新に関連して、モンテカルロ自己位置推定において広く用いられている2種類の改善方法、リサンプリングおよびセンサリセットを導入する。リサンプリングは、確率密度を精度よく推定することを目的として、有効サンプル数^[33]に基づき適時に、サンプル集合を分布 $Bel(x_t)$ からサンプルしなおす。センサリセット^[34]は、大域自己位置推定やエラーリカバリを目的として、ランドマーク観測のたびに、サンプル群の一部（全体の1%）をランダムに選択し、同数の新規サンプルにより置き換える。ただし、この新規サンプルは、2.2.2 の仮説生成により得られる。^[35] では、このセンサリセットの様々な戦略を実装し、比較検討を行っている。以上のリサンプリングおよびセンサリセットの実装方法は、著者らの研究^[30] および^[36] においても同様に実装し有効性を確認している。

4. 評価実験

時系列圧縮 Gist ランドマークの有効性を検証するために実験を行った。本章では、まず実験の基本的な設定について述べる。その後、実験方法と結果を示す。

4.1 設定

実験プラットフォームとして、単眼カメラを搭載した自家用車（以下、ロボット）を用いる。ロボットの外観を図1に示す。カメラは、車内上部に前方を向けて設置した。

自己位置推定タスクの性能指標として、車載 GPS により計測した車体位置を基準とした推定位置の誤差を用いる。ただし、GPS の外れ値および誤差に対処するため、簡便な線形補間法を用いた。

自己位置推定システムのうち、量子化を行う多層ニューラルネットワーク（セマンティックハッシング）は、2.1 で述べたように、事前に学習しておく。この学習のために、LabelMe ウェブサイト^[37] からダウンロードした 70,000 枚の画像を用いる。

図1の経路をロボットが2周走行し2本の視覚画像列を取得した。1本目の視覚画像列は、ランドマーク地図を生成するのに用いた。もう1本は、後述のように、自己位置推定タスクの視覚画像列として用いる。走行経路長は約 20km、ロボットの走行速度は 0-50km/h、画像取得のフレームレートは 10fps であった。以下では、それぞれの画像列を、“mapping” および “localization” と呼んで区別する。

特に断りがない場合、モンテカルロ自己位置推定の

サンプル数を 10,000、重み係数を $l = 2$ 、圧縮 Gist ランドマークのビット数を $k = 32$ とした。

計算処理には、2GHz Intel CPU 8GB RAM の linux マシンを用いた。自己位置推定システムの実装には、C++ 言語を用いた。セマンティックハッシングを実装する際、公開 Matlab コード^[13] を参考にした。自己位置推定の処理時間は、フレーム当り、合計で 0.1 [sec] 前後であった。

4.2 実験方法と結果

4.2.1 推定の様子

まず、自己位置推定システムによる推定の様子を示す。ここでは、“localization” から長さ 100 の視点列を、無作為に 100 通り抽出し、各々を視覚画像列として用いて自己位置推定タスクを実行した。さらに、各々のタスクを、最終的な推定誤差が 200m（経路長の1%相当）よりも小さくなったかどうかを基準にして、成功例と失敗例とに分類した。成功例および失敗例から、それぞれ5通りずつを無作為に抽出し、推定誤差の時間変化をプロットしたものを図 5a,b に示す。

図からも分かるように、自己位置推定タスクの開始時には、自己位置は完全に未知であり、推定誤差は、非常に大きい。成功例の場合、この推定誤差が徐々に減少していき、最終的には、ほぼ零へと収束した。また、多くの場合、各々の場所で観測された圧縮 Gist は地図中で同じ場所にある圧縮 Gist と一致し、その結果として、モンテカルロ自己位置推定において正しい仮説に高い尤度が与えられた。一方、失敗例の場合、推定誤差は、全く収束しないか、あるいは、十分に小さくならないか、のいずれかであった。

4.2.2 成功率

つぎに、自己位置推定の成功率について、下記のパラメータを変化させながら、調査した。

1. サンプル数 N
2. ビット数 k
3. 重み付けパラメータ l

(1) は、モンテカルロ自己位置推定において生成する自己位置の仮説数である。この値を大きくすると、自己位置の多様な仮説を考慮することになり、精度やエラーリカバリの面で信頼性が向上するが、その反面、モンテカルロ自己位置推定の処理コストは線形的に増大する。(2) は、圧縮 Gist の bit 数であり、セマンティック

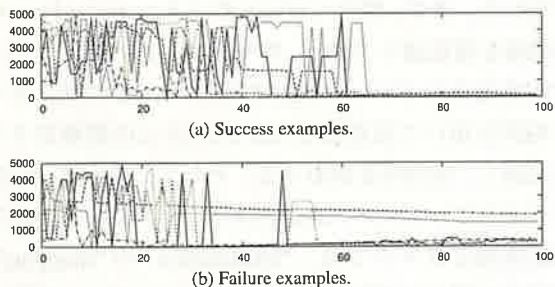


図 5: Estimation error [m].

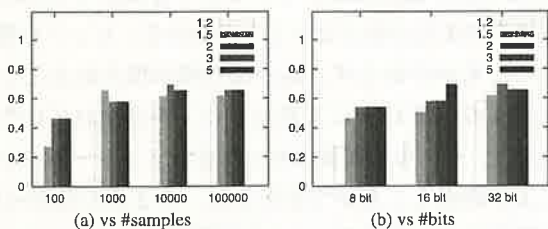


図 6: Success ratio vs. #samples (left) and success ratio vs. #bits (right) over the 100 tasks. Each plot corresponds to each value of parameter l .

ハッシングの最上位層のノード数に等しい。この値を大きくすると、個々の圧縮 Gist ランドマークの情報量が多くなるが、その反面、ランドマークの記憶に係る空間コストは線形的に増大する。(3)は、圧縮 Gist による観測結果を推定量に反映させる際の重み付けを行う係数である。この値を大きくするほど、リサンプリングにおいて有望なサンプルに計算資源を集中させることができるが、その反面、サンプル集合全体としての多様性が失われやすくなる。4.2.1 で使用した 100 通りの自己位置推定タスクのうち、最終的に推定誤差が収束したもの（全体の 9 割程度）を母集団とし、成功率を調べた。図 6a および 6b に、それぞれ、(1) および (2) と成功率との関係を、(3) のいくつかの設定値について示す。

図より、サンプル数 10,000 以上の場合、ほぼ 0.7 程度の成功率が得られている。また、ビット数が 32bit の場合に最も安定した結果が得られている。この結果から、0.7 の成功率で、自己位置の候補を 1% に絞り込むことに成功しており、圧縮 Gist が、ランドマークの認識・検索に有効であることを確認することができた。また、セマンティックハッシングの最上位層のノード数として 32 が適切であることが分かった。

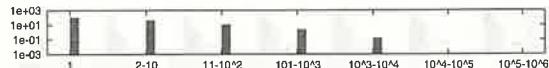


図 7: cGist frequency of “LabelMe” (left) vs. “localization” (right). cGists are sorted and grouped into 7 groups according to number of their corresponding landmarks. Each bar indicates average number of corresponding landmarks for each of the 7 groups.

4.2.3 汎化性能

圧縮 Gist ランドマークの汎化性能について考察する。本研究において量子化の手段として利用したセマンティックハッシングは、未知データに対しても高い汎化性能を有することが知られている。すなわち、セマンティックハッシングは、訓練データとして使用した “LabelMe” 画像群だけでなく、自己位置推定に使用した “localization” 画像群に対しても、識別性の高い二値コード（圧縮 Gist）を生成することが期待される。

実際に、本実験において訓練データ “LabelMe” と自己位置推定タスク “localization” との間で、各々の二値コードの出現頻度にどの程度の差異があったのかを可視化してみる。具体的に、“localization” データセットの 2.2×10^4 個の圧縮 Gist を対象とし、可視化のために、これらを出現頻度の順にソートした上で 7 つのグループに分け、各々のグループ毎の平均出現回数を集計した。その結果を図 7 に示す。

この結果より、訓練データ “LabelMe” と自己位置推定タスク “localization” との間には、圧縮 Gist の出現頻度に大きな差異があることが分かる。たとえば、訓練データと自己位置推定タスクとの間で、重複した二値コードは 331 個のみであった。これは、“LabelMe” の 4.7% にあたり、また、“localization” の 13.3% に過ぎない。また、出現した二値コードは、2486 種類であり、これら 2486 通りの少数の二値コードが複数回（平均 8.8 回）出現したことになる。以上のような、出現頻度の差異があるにもかかわらず、圧縮 Gist ランドマークによる自己位置推定タスクに成功したことが分かる。

4.2.4 顕著性

圧縮 Gist ランドマークの顕著性について考察する。一般に、移動経路上で全てのランドマークが同じ頻度で出現する訳ではなく、ランドマーク間で顕著性に違いがある。この顕著性は、自己位置推定の分野において、ランドマークの価値を計る尺度として広く用いら

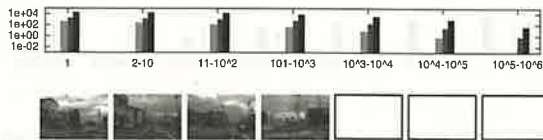


図 8: Saliency of cGist landmark. Top: Each bar indicates average number of corresponding landmarks for each group's 0bit, 1bit, 2bit, 3bit near neighbors from left to right. Bottom: Images corresponding to the central cGist (ID: 1, 5, 50 and 500) of each group.

れており、ランドマーク選択^[38]やランドマーク学習^[39]などの応用がある。

そこで、自己位置推定タスク“localization”において出現した二値コードを図7と同様にグループ分けした上で、各グループ毎に二値コードの平均出現回数を集計してみる。ただし、ここでは、同一の二値コード（ハミング距離 0bit）が出現したケースだけでなく、ハミング距離 1bit, 2bit, 3bit 内の二値コードが出現したケースについても集計する。その結果を、図8に示す。参考のため、図の下段に各グループの代表画像*を示す。

この結果より、二値コード間で出現頻度に大きな差異があることが分かる。たとえば、最頻出の上位 100 の二値コードは、その他のものと比べて、10 倍から 100 倍の高い出現頻度となった。すなわち、少数の高頻出特徴が重要な特徴の大部分を占めていることが分かる。

4.2.5 情報圧縮

情報圧縮の観点から、自己位置推定の性能を保ったまま、圧縮 Gist ランドマークのビットをさらに間引くことは可能かどうかについて考察する。そのために、間引くビット数 δk を様々に変化させながら、ビット数 $k - \delta k$ のランドマーク地図を用いて自己位置推定タスクを実施し、間引くビット数と自己位置推定性能との間にどのような関係があるのかについて調べた。

その際、自己位置推定の性能指標として、4.2.2 と同様、100 回の自己位置推定タスクを実施した際の成功率を用いた。

また、ビット数 $k - \delta k$ のランドマーク地図には、複数通り (${}_k C_{\delta k}$ 通り) の候補があるが、それらの中から、最も高い有用度を持つものを選択した。ただし、ランドマーク地図の有用度を評価する方法としては、汎用的なシミュレーション経験に基づく方法を利用した^[40]。

*ここでは、出現頻度がグループ内で中央値 (1, 5, 50, 500) をとる cGist に対応する画像を代表画像とした。代表画像が存在しないグループについては空欄とした。

すなわち、まず、間引くビットのパタン（ビットマスク）の候補を複数通り生成し、各々のビットマスクについて、対応するランドマーク地図を生成し、そのランドマーク地図を用いて仮想的な 100 回の自己位置推定タスクを実施し、成功率を集計する。そして、最も高い成功率を与えたビットマスクを選択する。ただし、仮想的な自己位置推定タスクでは、“localization”や“mapping”とは独立の第 3 の視覚画像列（“validation”）を使用した。

図 9 (a)“selection”に間引くビット数 Δk と成功率の関係性を調べたものを示す。図 9 (a)“selection”より、 Δk が 0-12 の広い範囲において、ビットを間引いたのにもかかわらず、高い成功率が保たれたことから、元々の圧縮 Gist に冗長なビットが含まれていたこと、また、それらの冗長なビットをシミュレーション経験により間引くことができたこと、の 2 点が分かった。

比較のため、どの δk ビットを間引くのかを、シミュレーション経験に基づいて決定するのではなく、単純にランダムに決定した場合についても、間引くビット数 δk と自己位置推定性能の関係性を調査した。その結果を、図 9 (a)“random”に示す。この場合、間引くビット数が増えると著しく成功率が低下することが分かる。この比較の結果から、どのビットを間引くかによって自己位置推定性能に大きな影響があることが分かった。

4.2.6 従来法^[30]との比較

本研究で対象としているセマンティックハッシングのように、識別性を保ったまま視覚特徴を量子化する代表的な方法に、Locality Sensitive Hashing (LSH)^[41]がある。この LSH に関連して、著者らは、文献^[30]において、LSH に基づく自己位置推定システムを提案している。

ここでは、^[30]の LSH に基づく自己位置推定システムを比較手法とし、本論文の自己位置推定システムの性能を再度考察してみる。まず、比較手法の成功率を評価した結果を図 9 (b)“LSH”に示す。ただし、図中において、 K および L は、LSH の次元数およびハッシュテーブル数であり、それぞれ、値が大きいほど、誤検出および検出漏れを抑制する効果が大きくなる。図より、圧縮 Gist ランドマークに基づく本提案手法は、広い範囲のパラメータについて、比較手法と同等の性能を示している。ただし、パラメータ設定に依存して、比較手法の方が本提案手法よりも高い性能を示しているケースがある。その理由として、LSH は、Gist シーン記述子を視点番号へ直接に写像するため、汎化誤差の影響を受けないことなどが考えられる。

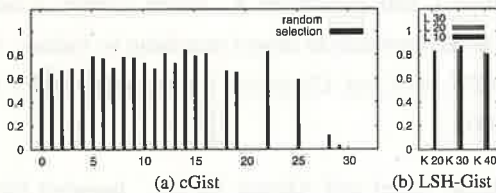


図 9: Performance comparison.

一方、提案方法の特色は、特徴当りの空間コストが非常に低い点にある。LSH は、1 つの視覚特徴を複数のハッシュテーブルに記録するマルチデータベース手法の一種であり、特徴当り 40Byte の空間コストがかかる。これに対し、圧縮 Gist ランドマークは、特徴当り 32bit であり、高い推定性能を保ちながらコンパクトなランドマークを実現できていることが分かる。

5. むすび

本論文では、移動ロボットの自己位置推定問題を対象として、時系列圧縮 Gist ランドマークという新しいアプローチを提案した。圧縮 Gist ランドマークは、シーンの意味や空間構造を捉える Gist (要点) 記述子を、汎化性能に優れたセマンティックハッシングを利用して、コンパクトな 32bit の二値コードへ量子化したものである。個々の圧縮 Gist ランドマークから得られる情報量は少ないが、本研究では、圧縮 Gist ランドマークを時系列で用いることで、識別性を向上させるアプローチを提案した。実験により、識別性、パラメータ依存性、汎化性、情報圧縮、コンパクト性などの観点から、時系列圧縮 Gist ランドマークが自己位置推定タスクに有効であることを確認した。今後の展望として、複数種のランドマークを組合せる coarse-to-fine 法^[42]等の仕組みを利用して本アプローチの推定精度を向上させることが考えられる。また、本研究のように、識別性を保ったまま視覚特徴を二値コードへ量子化する技術は、近年、画像検索などの分野において、理論的な研究が活発になってきており、今後、自己位置推定の分野においても、大規模地図の記憶・送受などの観点から、重要な役割を担うと考える。

謝辞. 本研究は、H23-25 文部科学省科学研究費補助金「移動ロボットによる軽量・精密なりアルタイム圧縮地図生成」の一環として実施した。本研究の一部は、倉田財団倉田奨励金、および、立石科学技術振興財団研究助成によった。

参考文献

- [1] Stephen Se, David Lowe, and Jim Little. Vision-based mobile robot localization and mapping using scale-invariant features. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 2051–2058, 2001.
- [2] Y. Matsumoto, M. Inaba, and H. Inoue. Visual navigation using view-sequenced route representation. *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pages 83–88, 1996.
- [3] M. Cummins and P. Newman. Accelerated appearance-only slam. *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pages 1828–1833, 2008.
- [4] Viorela Ila Kai Ni Frank Dellaert, Justin Carlson and Charles E. Thorpe. Subgraph-preconditioned conjugate gradients for large scale slam. In *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, 2010.
- [5] Arthur Martens Rene Iser and Friedrich M. Wahl. Localization of mobile robots using incremental local maps. In *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, 2010.
- [6] K. Ikeda and K. Tanaka. Visual robot localization using compact binary landmarks. In *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, 2010.
- [7] A. Torralba. How many pixels make an image? *Visual Neuroscience*, 26:123–131, 2009.
- [8] Aude Oliva and Antonio Torralba. Modeling the shape of the scene: a holistic representation of the spatial envelope. *Int. J. Computer Vision*, 42(3):145–175, 2001.
- [9] J. Hays and A.A. Efros. Im2gps: estimating geographic information from a single image. In *Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008.
- [10] Matthijs Douze, Hervé Jégou, Harsimrat Sandhawalia, Laurent Amsaleg, and Cordelia Schmid. Evaluation of gist descriptors for web-scale image search. In *Proc. Int. Conf. Image and Video Retrieval*, 2009.

- [11] James Hays and Alexei A Efros. Scene completion using millions of photographs. *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2007)*, 26(3), 2007.
- [12] A. Oliva and A. Torralba. Modeling the shape of the scene: a holistic representation of the spatial envelope. *Int. J. computer vision*, 42(3):145–175, 2001.
- [13] A. Torralba, R. Fergus, and Y. Weiss. Small codes and large image databases for recognition. In *Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 1–6, 2008.
- [14] R. Salakhutdinov and G. Hinton. Semantic hashing. *Int. J. Approximate Reasoning*, 2008.
- [15] F. Dellaert, D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun. Monte carlo localization for mobile robots. In *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pages 1322–1328, 1999.
- [16] Yimeng Zhang, Zhaoyin Jia, and Tsuhan Chen. Image retrieval with geometry-preserving visual phrases. In *CVPR*, pages 809–816, 2011.
- [17] G. Schindler, M. Brown, and R. Szeliski. City-scale location recognition. *Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 1 – 7, 2007.
- [18] Jian Sun, Xiaobai Chen, and Thomas A. Funkhouser. Fuzzy geodesics and consistent sparse correspondences for: eformable shapes. *Comput. Graph. Forum*, 29(5):1535–1544, 2010.
- [19] Tat-Jen Cham, Arridhana Ciptadi, Wei-Chian Tan, Minh-Tri Pham, and Liang-Tien Chia. Estimating camera pose from a single urban ground-view omnidirectional image and a 2d building outline map. In *CVPR*, pages 366–373, 2010.
- [20] David M. Chen, Georges Baatz, Kevin Köser, Sam S. Tsai, Ramakrishna Vedantham, Timo Pylvänäinen, Kimmo Roimela, Xin Chen, Jeff Bach, Marc Pollefeys, Bernd Girod, and Radek Grzeszczuk. City-scale landmark identification on mobile devices. In *CVPR*, pages 737–744, 2011.
- [21] Hervé Jégou, Matthijs Douze, and Cordelia Schmid. Packing bag-of-features. In *Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision*, 2009.
- [22] Sivic J. and Zisserman A. Video google: a text retrieval approach to object matching in videos. *Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision*, pages 1470–1477, 2003.
- [23] Justin Zobel and Alistair Moffat. Inverted files for text search engines. *ACM Comput. Surv.*, 38(2), 2006.
- [24] Hervé Jégou, Matthijs Douze, and Cordelia Schmid. Packing bag-of-features. In *ICCV*, pages 2357–2364, 2009.
- [25] Antonio Torralba, Robert Fergus, and Yair Weiss. Small codes and large image databases for recognition. In *CVPR*, 2008.
- [26] Yair Weiss, Antonio Torralba, and Robert Fergus. Spectral hashing. In *NIPS*, pages 1753–1760, 2008.
- [27] Maxim Raginsky and Svetlana Lazebnik. Locality-sensitive binary codes from shift-invariant kernels. In Y. Bengio, D. Schuurmans, J. Lafferty, C. K. I. Williams, and A. Culotta, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 22*, pages 1509–1517. 2009.
- [28] Jun Wang, Ondrej Kumar, and Shih-Fu Chang. Semi-supervised hashing for scalable image retrieval. In *CVPR*, pages 3424–3431, 2010.
- [29] G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov. Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, 313:504–507, 2006.
- [30] K. Tanaka and E. Kondo. A scalable algorithm for monte carlo localization using an incremental e2lsh-database of high dimensional features. *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pages 2784–2791, 2008.
- [31] Andrew J. Davison, Ian D. Reid, Nicholas D. Molton, and Olivier Stasse. Monoslam: Real-time single camera slam. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29:2007, 2007.
- [32] Georg Klein and David Murray. Parallel tracking and mapping for small AR workspaces. In *Proc. Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'07)*, 2007.

- [33] A. Doucet, N. Freitas, and N. Gordon editors. Sequential monte carlo methods in practice. *Statistics for engineering and information science*, 2001.
- [34] S. Lenser and M. Velose. Sensor resetting localization for poorly modeled mobile robots. In *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pages 1225–1232, 2002.
- [35] R. Ueda, T. Arai, K. Sakamoto, T. Kikuchi, and S. Kamiya. Expansion resetting for recovery from fatal error in monte carlo localization - comparison with sensor resetting methods. In *Proc. Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pages 2481 – 2486, 2004.
- [36] Kanji Tanaka, Yoshihiko Kimuro, Nobuhiro Okada, and Eiji Kondo. Global localization with detection of changes in non-stationary environments. In *In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 1487–1492, 2004.
- [37] B. Russell, A. Torralba, and W. T. Freeman. Labelme: The open annotation tool. <http://labelme.csail.mit.edu/>.
- [38] Damian M. Lyons. Selection and recognition of landmarks using terrain spatiograms. In *IROS*, pages 1–6, 2010.
- [39] Hauke Strasdat, Cyrill Stachniss, and Wolfram Burgard. Which landmark is useful? learning selection policies for navigation in unknown environments. In *ICRA*, pages 1410–1415, 2009.
- [40] P. Sala, R. Sim, A. Shokoufandeh, and S. Dickinson. Landmark selection for vision-based navigation. *Trans. IEEE Robotics*, 22:334–349, 2006.
- [41] A. Andoni, M. Datar, N. Immorlica, P. Indyk, and V. Mirrokni. Locality-sensitive hashing scheme based on p-stable distributions. *Nearest Neighbor Methods in Learning and Vision: Theory and Practice*, 2006.
- [42] Junqiu Wang, Hongbin Zha, and Roberto Cipolla. Coarse-to-fine vision-based localization by indexing scale-invariant features. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, 36(2):413–422, 2006.

[197] J. Jost, K. Lorenz, and H. Lorenz editors. 94-
 Regional growth and development in the

[198] J. Jost and H. Lorenz. 1997.

[199] K. Lorenz, T. von H. Lorenz, P. Lorenz, and

[200]

[201]

[202]

[203]

[204]

[205]

[206]

[207]

[208]

[209]

[210]

[211]

[212]

[213]

[214]

[215]

[216]

[217]

[218]

[219]

[220]

[221]

[222]

[223]

[224]

[225]

[226]

[227]

[228]

[229]

[230]

[231]

[232]

[233]

[234]

[235]

[236]

[237]

[238]

[239]

[240]

[241]

[242]

[243]

[244]

[245]

[246]

[247]

[248]

[249]

[250]

[251]

[252]

[253]

[254]

[255]

[256]

[257]

[258]

[259]

[260]

[261]

[262]

[263]

[264]

[265]

[266]

[267]

[268]

[269]

[270]

[271]

[272]

[273]

[274]

[275]

[276]

[277]

[278]

[279]

[280]

[281]

[282]

[283]

[284]

[285]

[286]

[287]

[288]

[289]

[290]

[291]

[292]

[293]

[294]

[295]

[296]

[297]

[298]

[299]

[300]

[301]

[302]

[303]

[304]

[305]

[306]

[307]

[308]

[309]

[310]

[311]

[312]

[313]

[314]

[315]

[316]

[317]

[318]

[319]

[320]

[321]

[322]

[323]

[324]

[325]

[326]

[327]

[328]

[329]

[330]

[331]

[332]

[333]

[334]

[335]

[336]

[337]

[338]

[339]

[340]

[341]

[342]

[343]

[344]

[345]

[346]

[347]

[348]

[349]

[350]

[351]

[352]

[353]

[354]

[355]

[356]

[357]

[358]

[359]

[360]

[361]

[362]

[363]

[364]

[365]

[366]

[367]

[368]

[369]

[370]

[371]

[372]

[373]

[374]

[375]

[376]

[377]

[378]

[379]

[380]

[381]

[382]

[383]

[384]

[385]

[386]

[387]

[388]

[389]

[390]

[391]

[392]

[393]

[394]

[395]

[396]

[397]

[398]

[399]

[400]

[401]

[402]

[403]

[404]

[405]

[406]

[407]

[408]

[409]

[410]

[411]

[412]

[413]

[414]

[415]

[416]

[417]

[418]

[419]

[420]

[421]

[422]

[423]

[424]

[425]

[426]

[427]

[428]

[429]

[430]

[431]

[432]

[433]

[434]

[435]

[436]

[437]

[438]

[439]

[440]

[441]

[442]

[443]

[444]

[445]

[446]

[447]

[448]

[449]

[450]

[451]

[452]

[453]

[454]

[455]

[456]

[457]

[458]

[459]

[460]

[461]

[462]

[463]

[464]

[465]

[466]

[467]

[468]

[469]

[470]

[471]

[472]

[473]

[474]

[475]

[476]

[477]

[478]

[479]

[480]

[481]

[482]

[483]

[484]

[485]

[486]

[487]

[488]

[489]

[490]

[491]

[492]

[493]

[494]

[495]

[496]

[497]

[498]

[499]

[500]

福井大学工学部及び大学院工学研究科紀要編集委員会

森 眞一郎	情報・メディア工学専攻 (編集委員長)		
宮島 敏郎	機械工学専攻	川崎 章司	電気・電子工学専攻
原田 陽子	建築建設工学専攻	入江 聡	材料開発工学専攻
高橋 一郎	生物応用化学専攻	橋本 貴明	物理工学専攻
田中 完爾	知能システム工学専攻	植松 英之	ファイバーアメニティ工学専攻
浅井 竜哉	原子力・エネルギー安全工学専攻		

工学研究科研究活動一覧

<http://www.eng.u-fukui.ac.jp/ResearchActivities/index.html>

福井大学付属図書館 学術機関リポジトリ (工学研究科関連)

<http://repo.flib.u-fukui.ac.jp/dspace/handle/10098/572>

このページ内の「01 福井大学大学院工学研究科研究紀要」ボタンをクリック後、「日付」ボタンをクリックすると年代順のリストが表示されます。

国立情報学研究所 論文情報ナビゲータ (福井大学関連) のURL (書誌情報のみ)

http://ci.nii.ac.jp/vol_issue/nels/AA12208150_jp.html

福井大学工学研究科研究報告

2012年3月25日印刷

2012年3月30日発行

福井大学大学院工学研究科

〒910-8507 福井氏文京3丁目9-1

電話 (0776) 27-8016 (総合戦略部門研究推進)

印刷所 株式会社 エクシート

