

**福井大学大学院
工学研究科
研究報告**

Vol.58 2010 MARCH

目 次

原子力発電所トラブルに起因する風評に対する地域住民の意識・行動に関する研究	上村 祥代 川本 義海	1
イーサフォンを用いた家庭内センサネットワークの構築	北川 純也 白井 治彦 黒岩 丈介 小高 知宏 小倉 久和	7
城中村の自律性を維持した環境改善計画方法の提案 - 中国西安市草場坡村の事例 -	易 洪艶 野嶋 慎二	15
戸建て住宅の外観形態の構成に関する考察.....	笠島 達夫 桜井 康宏	29
CFD 解析による福井大学文京キャンパス内の風環境評価に関する研究	吉田 伸治 高橋 祐輔	39
様々な嵩高い置換基を有するポリ(パラフェニレンビニレン)膜の合成とその気体透過性	小出 洋平 阪口 壽一 橋本 保	43
新規シリルプロピン類のメタセシス重合および生成ポリマーの特性	竹田 愛子 阪口 壽一 橋本 保	49
ひまし油由来リシノレイン酸を用いた化学修飾による分解・リサイクル可能なポリウレタンの合成	菱輪 岳郎 漆崎 美智遠 阪口 壽一 橋本 保	55
技術者入門授業「工業と技術者」における創造技法「ワークデザイン」の導入.....	葛生 伸	63

Memoir of Graduate School of Engineering, University of Fukui
Vol. 58, March 2010

CONTENTS

A Study of Consciousness and Action of Local Residents Caused by Rumor Based on Nuclear Power Plant Accident.....	Sachiyo KAMIMURA and Yoshimi KAWAMOTO	1
The implementation of the etherphone based home sensor network system	Junya KITAGAWA, Haruhiko SHIRAI, Josuke KUROIWA, Tomohiro ODAKA, Hisakazu OGURA	7
A Proposal of a Planning Method for Environmental Improvement with Maintaining Autonomy in Urban Villages – A Case Study of Caochangpo Village in Xi’ an City of China–	Hongyan YI and Shinji NOJIMA	15
A study on the Composition of the Outside Form in Detached House	Tatsuo KASASHIMA and Yasuhiro SAKURAI	29
Study on Evaluation of Wind Environment within Bunkyo Campus of University of Fukui Using CFD Analysis.....	Shinji YOSHIDA and Yusuke TAKAHASHI	39
Synthesis of Poly(<i>p</i>-phenylenevinylene) Membranes Having Various Bulky Substituents and Their Gas Permeability	Yohei KOIDE, Toshikazu SAKAGUCHI, Tamotsu HASHIMOTO	43
Metathesis Polymerization of Novel Silylated Propynes and Properties of Polymers	Aiko TAKEDA, Toshikazu SAKAGUCHI, Tamotsu HASHIMOTO	49
Synthesis of Degradable and Recyclable Polyurethanes Using Polyols Modified with Castor Oil-Based Ricinoleic Acid.....	Takeru MINOWA, Michio URUSHISAKI, Toshikazu SAKAGUCHI, Tamotsu HASHIMOTO	55
Introduction of a Creation Method “Work Design” in a Lecture “Industry and Engineers” for Undergraduate Students of the Applied Physics Course.....	Nobu KUZUU	63

原子力発電所トラブルに起因する風評に対する 地域住民の意識・行動に関する研究

上村 祥代* 川本 義海**

A Study of Consciousness and Action of Local Residents Caused by Rumor Based on Nuclear Power Plant Accident

Sachiyo KAMIMURA* and Yoshimi KAWAMOTO**

(Received February 5, 2010)

The present study recognized actual condition of rumor and problem from consciousness and action of local resident on nuclear power plant. The following knowledge was acquired.

Local resident action is uninfluenced by nuclear power plant accident and they hit hard by rumors from outside resident action. In addition, it is important for easing the rumor by local government declaration of safety for nuclear power plant accident.

Key Words : Rumor, Consciousness, Action, Nuclear Power Plant Accident, Local Residents

1. 緒言

原子力発電所にトラブルが発生した場合、地域の人々は放射性物質による環境への影響や風評を懸念しがちである。実際、トラブルが発生し、環境等に問題がなくとも、風評被害へと及んだケースが見受けられる。そして、このような風評が発生すると、観光、商業関係者への影響が取りざたされるが、原子力発電所立地地域住民の風評による影響やどのような行動をとり意識したか等、着目・検討したものは見られない。

そこで本研究では、原子力発電所立地地域住民の風評に対する意識・行動を探り、風評が地域に及ぼす影響及び問題点の把握を目的とする。

2. 研究方法

本研究では、風評被害の発生から比較的日が浅く、

記憶に新しい中越沖地震時の原子力発電所トラブル（以下、原発トラブル）に起因した風評に焦点をおき、原子力発電所の近接地域を対象とした意識調査を実施する¹⁾。具体的には、まず原子力発電所立地地域住民が原発トラブルにより起こした行動を、内発的及び外発的行動の視点から分析し、影響要因を考察する。

次に、原子力発電所立地地域住民の視点から、地域が受けたと思われる風評の影響について影響要因を抽出し、考察する。

最後に、風評被害の対策として情報提供に焦点をおき、原子力発電所立地地域住民から見て、どのような人や組織が情報発信すると効果があると考えているか、また特徴的な発信事例等を参考に考察し、風評被害の緩和に有用となるよう、今後の情報発信の在り方について提言する。

3. 原子力発電所立地地域住民からみる風評の影響

3.1 意識調査の概要

原発トラブルに起因する風評が原子力発電所立地地域へどのような影響を与えたのか把握するため、意識調査を実施した（表1）。原子力発電所立地地域に関し、原子力防災対策地区（原子力発電所を起点）

*原子力・エネルギー安全工学専攻

**原子力・エネルギー安全工学専攻

* Nuclear Energy and Safety Engineering Course

** Nuclear Energy and Safety Engineering Course

内の集落から、柏崎市17集落、刈羽村11集落（表2、図1）を選定した。そして、調査票配布世帯を無作為抽出で決定するため、ランダムウォーク法²⁾の原則を参考にした。

まず、回収状況を見ると、原子力発電所の直近集落である荒浜（柏崎市）と刈羽（刈羽村）の回収票が最も多い結果となった。前記集落は、原子力発電所がすぐ側にあるということもあり、関心の高さが窺える。

次に、回答者の属性（表3）について見てみると、60代の回答が半数を占め、高齢者に意見が偏っており、若い世代の関心の低さが窺える。

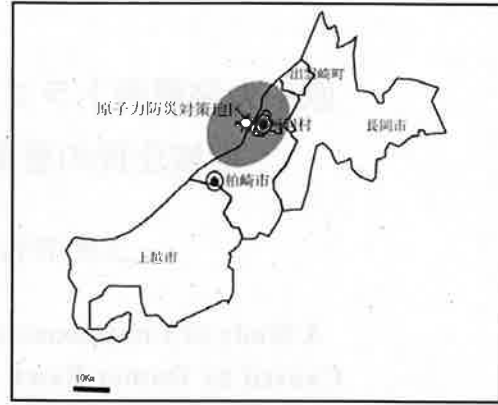


図1 意識調査の対象地図

表1 調査概要

調査時期	2009年11月下旬（11月27日（金）郵送）
対象地域	原子力防災の対策地区 （原子力発電所を起点に半径10km）内の集落
調査対象	主婦の方、それ以外の18歳以上の方
調査方法	郵送配布、郵送回収
質問内容	問1. 個人属性 問2. 原発トラブルによって起こした行動 問3. 原発トラブルに起因した風評の影響 問4. 原発トラブルに起因した風評の実態 問5. 原発トラブルに起因した風評に関する情報 問6. フリーアンサー

表2 回収状況

市町名	集落名	配布数	回収数	回収率
柏崎市	荒浜・西山・東原・長崎・土合・藤井・山本・上原・飯塚・曾地・花田・大奈・吉井・下大新山・剣・長崎新山・土合新山	846票	189票	22.3%
	刈羽・割町新出・寺尾・滝谷新出・西谷・人和川・井岡・正明寺・上高町・下高町・十日市			

表3 回答者の属性

属性		柏崎市・刈羽村（票）
性別	男	55% (104)
	女	42% (79)
	未記入	3% (6)
年齢	20代	2% (4)
	30代	8% (16)
	40代	13% (25)
	50代	21% (38)
	60代以上	54% (102)
	未記入	2% (4)

3. 2 調査結果と考察

3. 2. 1 原発トラブルによって起こした行動

1) 内発的行動

原子力発電所立地地域住民が意識し、また住民が起こした行動を内発的行動（図2）とし、その回答を見ると、「自然」の項目に対し「非常に意識した」と評価している割合が最も高く、次いで「交通」、「上水2」、「上水1」、「漁」等の順となっている。これは放射性物質の漏えいを意識したことによるものと考えられる。しかしながら、「買物2」、「農」、「飲食」の項目に対しては「意識していない」と評価している割合が高いことから、原発トラブルの影響が土壌よりも海に及んでいるのではないかと不安が窺える。

次に総合的な影響（図3）を見ると、「影響なし」と答えた割合が高かった。これより、原発トラブルによる環境問題が生じなければ、人々は特に意識して行動を起こしていない実態がよみとれ、影響がなかったと判断していることが分かる。

表4 原発トラブルによって起こした行動項目

原発トラブル発生によって起こした行動・事例	略記
・外出するのを控えた	交通
・原子力発電所付近の道路は避けて通った	道路
・子供に外で遊ばせるのを禁止した	子供
・原発トラブル後、健康診断を受けた	医療
・水はミネラルウォーターを買った	上水1
・地下を巡って放射性物質の影響が及んでないか心配	上水2
・地元産を意識して買った	買物1
・地元産を意識して買い控えた	買物2
・海への影響がないと発表したのが本当に問題がないのか	自然
・地元産の魚を食べるのを控えた	漁
・菜園の野菜は捨てた	農

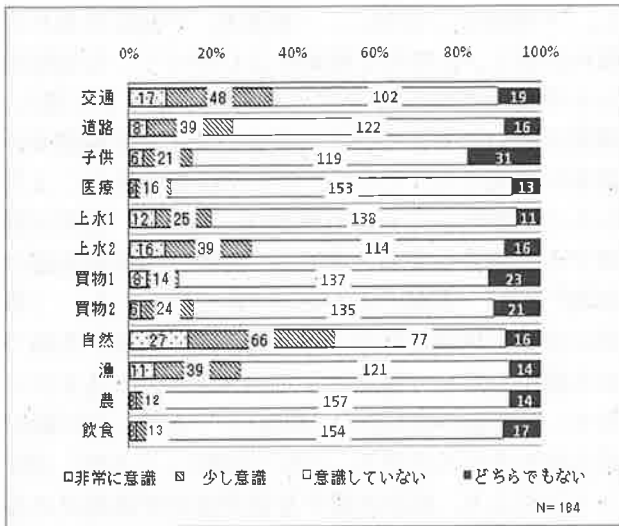


図2 内発的行動

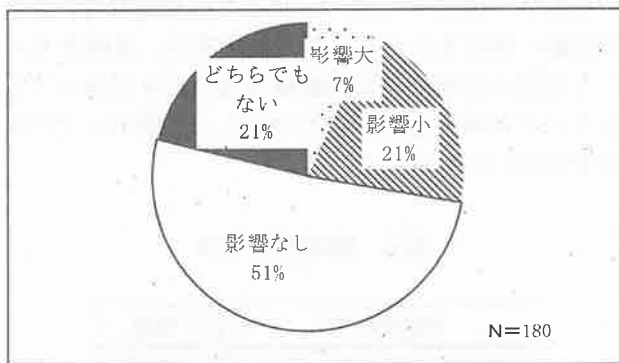


図3 内発的行動 総合的な影響

2) 外発的行動

地域外の人々が起こした行動を外発的行動(図4)とし、原子力発電所立地地域住民がその影響を感じていたか調査した結果、「転入」の項目に対して「非常に感じた」を選んだ割合が最も高く、次いで「観光」及び「教育」の順となっている。ここで文献調査^{[1]~[3]}より、各分野(食品、石油、災害等)における風評被害の実態をみると、どの分野においても「観光」に対し風評の影響が及ぶことが比較的多い。しかし、意識調査の結果より、原発トラブルに起因した風評に関しては、「観光」に大きく影響が及んでないと原子力発電所立地地域住民らは判断していることが分かる。

次に総合的な影響(図5)を見ると、「影響なし」と答えた割合が高い。前に述べた内発的行動と同様、共に「影響なし」と判断していることから、風評は地域に対し大きな影響を与えていないことが分かる。

しかしながら、文献調査(新聞や書物など)^{[4][5]}からは「原発との風評と闘う」などの見出しがあが

ったり、行政(柏崎市、刈羽村)へのヒアリング調査^[6]からは「原子力関連の影響」の問い合わせや「観光客の減少」という風評被害が見られた。また、行政の「農業」、「水産」に関する課では、原発トラブルが発生してから約2年間は、風評を意識し業務に取り組んだといった声も聞かれている。

一方、事業者(東京電力)を対象に行ったヒアリング調査^[6]からは、「風評」に関する対応などを意識したことはないという回答が得られた。

以上より、行動に焦点をおいて考えていくと、原子力発電所立地地域住民自身の行動は、原発トラブルに影響されないことが明らかとなった。また、「原子力発電立地地域住民」、「新聞・書物」、「行政」、「事業者」間の受け止め方や影響は様々であり、風評による意識の度合いに差が見られることが明らかとなった。

表5 原発トラブルによっておこされた行動項目

原発トラブル発生によって起こされた行動・事例	略記
・転入者が減った	転入
・次の年の入学者数が減った	教育
・県外の友人が原子力関連の影響が心配と遊びにくのを断ってきた	観光

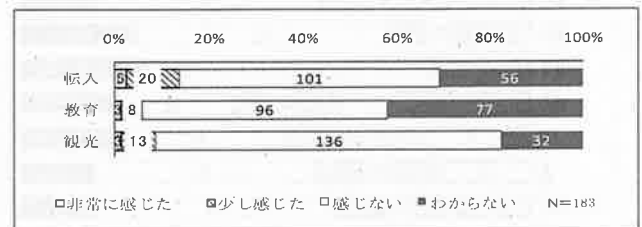


図4 外発的行動

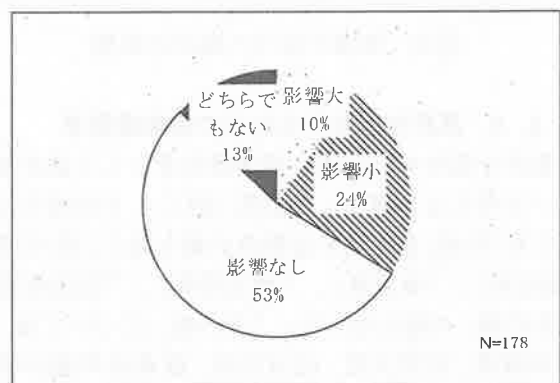


図5 外発的行動 総合的な影響

3. 2. 2 地域が受けたと思われる風評の影響

地域が受けたと思われる風評の影響(図6)を見ると、「観光」の項目に対し「影響が大きい」と判

断した割合が高く、次いで「漁」、「道路」、「交通」、「上水」、「農」等という順になった。ここで、「観光」が上位を占めていることから、前で述べた原発トラブルによって起こした行動とは、反する結果となっている。また、「交通」、「道路」、「自然」、「観光」、「漁」、「農」、「飲食」の7項目に対して「影響が見られた」/「影響なし」が同等な割合であることから風評がこれら7項目に対し影響与えていることが窺える。次に総合的な影響を見ると、地域へ「影響がみられた」と判断している割合が高いことが分かる。

以上より、前に述べた原発トラブルによって住民が起こした行動と地域が受けたと思われる風評の影響とでは捉え方が違っていることから、原発トラブルに起因した風評は外部の行動が影響していることが考えられる。

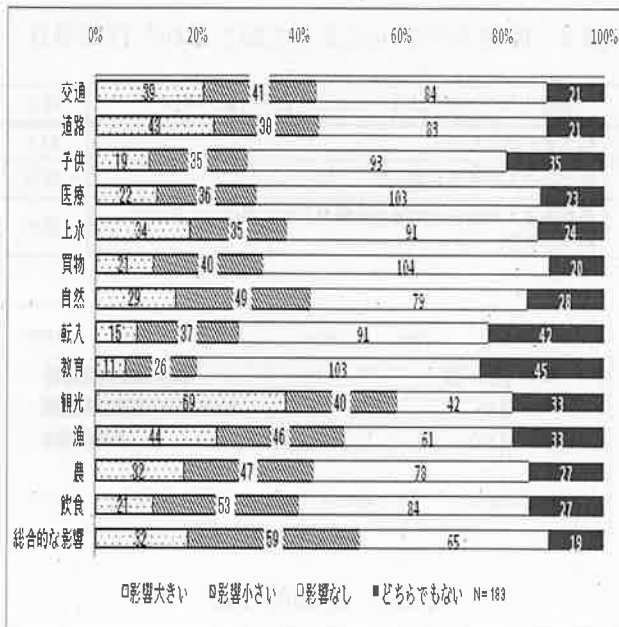


図6 地域が受けた風評の影響

3. 2. 3 風評を緩和するための情報提供者

風評を緩和するため、情報提供者として誰が望ましいと考えるか調査した結果(図7)、どの項目に対しても「行政」を支持する割合が最も高く、次で「国」、「IAEA」、「事業者」、「地元団体」、「住民有志」、「その他」の順となった。「その他」については、民間知識者、官房大臣、反対団体、飲食店や誰が発しても意味ないといった厳しい声も挙がっていた。ここから専門的な知識をもっている事業者や国が発信するよりも、地元と比較的密着している行政が情報を発信していくことの方が効果があり、望ましいと考えることが分かる。

また、原発トラブルが生じた場合の安全宣言に対

し、一般的に「公助」、「事業者」へ対応を求める傾向が多く、日常的な地域をよく知っている地域の人々や地元団体が安全宣言を発信することに関し、効果が薄いと考えている人が多いことが意識調査の結果から窺えた。しかし、自らが住む地域のことだからこそ発信していける内容などもあり、効果が期待できる場合もあると考える。実際に中越沖地震の事例^[4]より、「旅館のおかみがPRを行ったり」、「風評に苦しむ地域を激励するため、隣接地域が名物である闘牛も用いて海水浴するパフォーマンスを行ったり」と活動が行われ、「自助」、「共助」の行動が見られたケースがある。この「自助」、「共助」を行うことにより、風評に関する安全宣言の効果があるかどうかは検証できていないが、防災の分野では阪神・淡路大震災の教訓から、「自助」、「共助」が極めて重要^[7]であると言われている。そこで、地域の危機は事業者や行政へ任せただけではなく、自らで行動・発信を行うことが可能であり、意味をもつことを原子力発電所立地地域住民の人々が知ってもらうことが風評を緩和していくことに繋がっていくのではないかと考える。

表6 情報提供項目

情報発信内容	略記
原発に関する技術的な情報	技術的
観光等、可能かの情報	観光
地元産物の安全情報	地元産物
海水浴等の水質に関する情報	海水浴

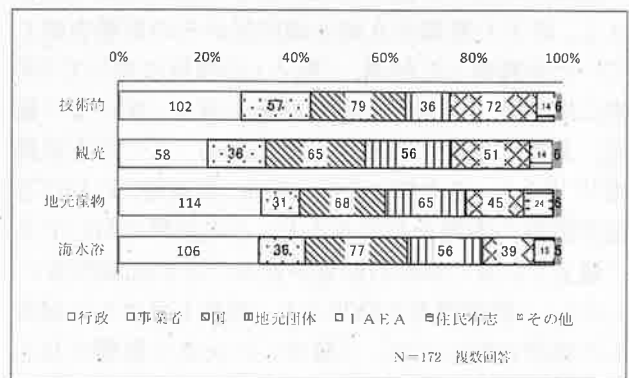


図7 風評を緩和するための情報提供者

4. 結言

本研究では、原子力発電所立地地域住民を対象に意識調査を実施し、地域に及ぼす風評被害の影響について考察を行い、以下のような成果を得た。

①内発的行動より、「自然」の項目に対して最も意識している傾向が見られたが、総合的な影響からは、特に原発トラブルを意識して行動していたとは考えにくい。

②外発的行動より、原発トラブルに起因した風評に関して、「観光」に大きく影響が及んでいないことが明らかとなった。しかし、文献調査や行政に対するヒアリング調査などからは、原発トラブルに起因した風評の要因が示されたことを考えると、「原子力発電立地地域住民」、「新聞・書物」、「行政」間の受け止め方や影響が及ぶ要因は様々であり、風評による意識の度合いに差が見られる。

また、総合的な影響からは、前で述べた内発的行動と同様、特に原発トラブルに影響されたとは考えにくい。

③地域が受けたと思われる風評の影響より、「観光」の項目に対して「影響が大きい」と感じていた人が多いことから、前で述べた原発トラブルによって起こした行動と地域が受けたと思われる風評の影響とでは、捉え方が違っており、原発トラブルに起因した風評は外部の行動が影響していることが考えられる。

④風評を緩和するため、情報提供者として誰が望ましいと考えるか調査した結果、専門的な知識をもっている事業者や国が発信するよりも、地元と比較的密着している行政が情報を発信していくことの方が効果があり、望ましいと考えている。また、原発トラブルが生じた場合の安全宣言に対し、日常的な地域をよく知っている地域の人々や地元団体が安全宣言を発信することは、効果が薄いと考えている人が多いことが明らかとなった。

以上より、原子力発電所立地地域住民が意識する要因と地域が影響を受けた要因が異なることが明らかとなった。そこで、安全宣言などの対策をとる際に、原子力発電所地域住民に対する内容とそれ以外の人々に対する内容を個別に考えていく必要がある。そして、発信する内容によって発信者を変化させていくことも重要であると考えことから、安全宣言などの情報発信を事業者や行政へ任せただけではなく、地域の人々や地元団体が情報発信できる場を設け、発信することが、今後風評と向き合う上で重要な課題になると考える。

また、今回は原子力発電所を対象に調査・検討を行ってきたが、再処理後に残る高レベル放射性廃棄物（以下、HLW）の処分場を検討してきた地域からも「風評被害」を懸念材料として挙げている^{[8][9]}。そのため、HLW 処分場と関連が深い原子力の風評影響や問題を明確にし、風評と向き合う視点を見極める

ことは、HLW 処分場の選定において重要なことといえる。

最後に、今後の課題として、原子力発電所立地地域内でも、回収票の高さから、直近集落の関心の高さが窺えた。そこで、今後直近集落と周辺集落で風評の影響に違いがあるのか調査等、集落単位で検討していく必要がある。

注 記

¹⁾ 原発トラブルには、外力に関係なく原子力発電所からトラブルが発生した場合と地震等による外的要因が加わり原子力発電所からトラブルが発生した場合が考えられる。本研究においては、後者によって起因した風評を取り扱っている。

²⁾ ランダムウォーク法の原則

- ・決めたスタート地点から地番順に5~10軒おきに選定。
(インターバルを決める)
- ・集合住宅の場合は3軒おきに抽出。
- ・インターバルに従い、時計回りに選定。

以上の原則を参考に、本研究において一定のルールを決めた。

- ・スタート地点を決める。
- ・住宅の密集具合で3軒、5軒、10軒おきに配布世帯を選定。
(極端に住宅が少ない場合、3軒おきに選定)
- ・時計回りに選定。

参考文献

- ^[1] 上野：食品の風評被害とリスクコミュニケーション，科学コミュニケーション，2E04，pp. 675-677，(2007)
- ^[2] 後藤・矢崎・沢野・佐尾邦・佐尾和：油流出事故対策における市民と行政との協働に向けた検討課題，社会技術研究論文集 Vol. 4，107-116，Dec. (2006)
- ^[3] 北後・本木：観光地に立地する宿泊施設の災害時における事業継続計画に関する研究，神戸大学都市安全研究センター研究報告，第10号，pp. 159-166 (2008)
- ^[4] 新潟日報：中越沖地震の特集 2-地震に負けず頑張ろう！，(2007. 7. 17-2008. 7. 17)
<http://www.niigata-nippo.co.jp/tyuetsuoki/jishin2/2007/09/jr.html>
- ^[5] 新潟日報：7. 16 中越沖地震，ベースボールマガジン社，(2007)
- ^[6] 上村・川本：高レベル放射性廃棄物最終処分場の立地地域に想定される風評に関する研究，日本原子力学会 2009 秋の年会，B03 (2009)
- ^[7] 地震への備え，www.skr.mlit.go.jp/bosai/jishin/mame/sonac.html
- ^[8] 上村・川本：高レベル放射性廃棄物最終処分場の誘致検討からみえる課題，福井大学大学院修士論文 (2009)
- ^[9] 田嶋裕起：誰も知らなかった小さな町の「原子力戦争」，ワック株式会社，(2008)

イーサフォンを用いた家庭内センサネットワークの構築

北川 純也* 白井 治彦** 黒岩 丈介*** 小高 知宏* 小倉 久和***

The implementation of the etherphone based home sensor network system

Junya KITAGAWA* , Haruhiko SHIRAI** , Josuke KUROIWA*** ,
Tomohiro ODAKA* , Hisakazu OGURA***

(Received February 5, 2010)

In this paper, we proposed new home sensor network system. In this system, we used etherphone that is a communication technology with data link layer protocol and physical layer protocol. Etherphone network can be implemented without the DHCP server and DNS server, since etherphone doesn't use IP and TCP. With this home sensor network system, we can watch the aged person by door sensor or temperature sensor. This system contains Etherphone sensor terminal and server with Linux OS. We can use the etherphone sensor terminal without setting of the protocol. The server can be used without setting. The experiment showed this system operates without setting. Moreover the experiment showed we can watch the aged person.

Key words : etherphone, sensor network, care, senior citizen

1. 緒言

我が国は高齢化社会^[1]を迎えており、独居老人が増加傾向にある。そこで独居老人を見守るために、情報技術の利用が重要になってきている^[2]。

本研究では、イーサフォン^[3]という通信技術を用いた小型端末と、センサを用いて家庭内を監視し、外部から安全に高齢者の状況を見守る手法を提案する。通常、ネットワーク通信を行う場合は、ネットワーク層やトランスポート層などに相当するTCP/IPやUDPなどのプロトコルを用いる。それに対して、イーサフォンは、OSI参照モデルの第2層以下に相当する、イーサネットの機能のみを用いて通信を行う技術である。それゆえ、イーサフォンは通信プロトコル等のネットワーク

の通信設定をすることなく使用することができる。

本稿では、特にドア開閉センサ・温度センサと光センサを用いて遠隔に見守るシステムの構築を行った。イーサフォンは、センサからの情報を受け取りそのデータをブロードキャストしてネットワーク全体に流す役割をしている。また、我々は外部から高齢者の情報を確認するために、linuxサーバを用いて、データの収集を行った。我々は、サーバを完全自動化し、さらにイーサフォンを用いることで、設定不要な見守りシステムの構築を行った。

2. イーサフォンの利用による見守りシステムの実装

2.1 見守りシステムの目的

見守りシステムとは、図1のように、独居老人または高齢夫婦のみの世帯を対象にセンサを用いて家庭内を監視する。つまり、一人暮らしのお年寄りなどを見守るシステムのことである。居間やトイレに設置したセンサーで人の動きを検知し、離れて暮らす親族などに緊急時にメールで送る。さらに、見守る対象は、高齢者の安否、ガス漏れや火の消し忘れが無いかの確認などが挙げられる。また、ある一定の間にセンサがなに

*大学院工学研究科 原子力・エネルギー安全工学専攻

**工学部技術部

*** 大学院工学研究科 知能システム工学専攻

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

**Dept. of Technical, Dept. Engineering

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

も感知しなかった場合、メールを見守る側に送るとい
うものもある。そのうえ、これらのシステムは、WEB
を通して高齢者の状況を確認することが可能である。

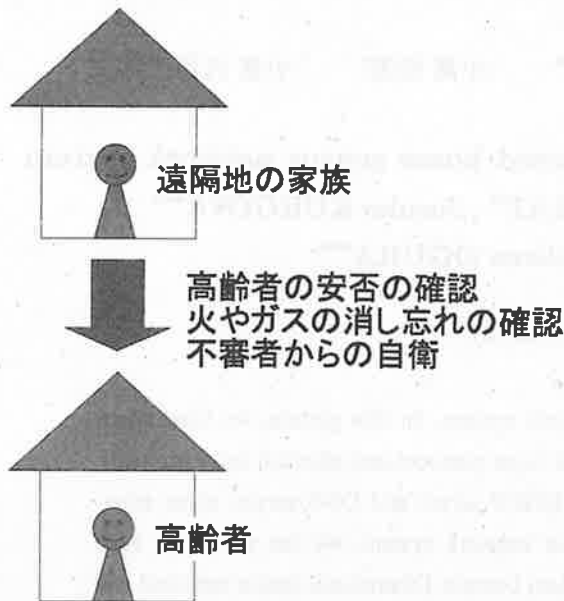


図1: 見守りシステムの概要

2.2 イーサフォンを用いた見守りシステムの構築

本研究では、この見守りシステムにイーサフォンの技術を取り入れて実装を行った。イーサフォンを用いることで、センサからの情報を容易にネットワークに流すことが可能となる。さらに、イーサフォンを用いることで非常に安価で設定不要のシステムを構築することができる。

イーサフォンとは福井大学が特許を有する通信技術（特許第4110251号）^[4]のことである。イーサフォン開発における基本コンセプトとして2点挙げられる。1点は従来のアナログデータ通信基盤に変わる通信基盤を開発することである。もう1点は、昨今のインターネット通信環境が複雑になっており、近距離・閉鎖的な通信網には短所が多くなってきていると考えられるからである。イーサフォンの特徴を表1にあげる。

イーサフォンは表1のように、OSI(Open Systems Interconnection)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用いることによって通信を行う通信方式である。さらに、イーサフォンの特徴の中で一番の利点は通信設定なしにネットワークに接続できることである。OSI参照モデルとは国際標準化機構であるISOにより、策定されたネットワーク通信の設計方針である。

OSI参照モデルを表2に挙げる。OSI参照モデルでは通信機能ごとに、7つの階層に分けられている。上位

表1: イーサフォンの特徴

	説明・特徴
(1)	イーサネットの機能のみを用いる ・ OSI参照モデルL1,L2を使用 ・ イーサネット機器を使用できる ・ L3以上は利用不可
(2)	長距離でもノイズの影響を受けにくい ・ 信号増幅装置は必要なし
(3)	通信設定は必要なし ・ TCP/IPなど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
(4)	無線通信も可能 ・ 有線LAN/無線LANどちらにも対応 ・ 無線でも通信設定は不要
(5)	アナログ/デジタルデータを伝送可能 ・ 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

層はソフトウェア寄りの内容で、下位層は逆にハードウェアよりの内容になっている。この7層のうちイーサフォンは下位2層である、物理層とデータリンク層の一部を用いて通信を行う。

まず、第1層となる物理層では、物理的な接続であるコネクタやケーブルのピン数や通信路の電気信号などの変換について定義されている。そして、第2層であるデータリンク層では、上位層からのサービス要求に答えたり、下位層サービスを要求するために、フロー制御やエラー検査などの情報移動に関する役割を持っている。

イーサネットは、この物理層とデータリンク層を用いた通信規格であり、一般的によく利用されるLAN(Local Area Network)で最も利用される通信規格である。イーサフォンでは、通信を行うにあたり、表2に示すOSI参照モデルにおける物理層及びデータリンク層に対応する通信プロトコルのみを使用する。つまり、イーサフォンは利用範囲を近距離・閉鎖的なネットワークのみに利用場所を限定することで、イーサネットの機能のみを用いて、TCP/IP等のプロトコルの設定なしに通信を行えるものである。

本稿ではイーサフォン端末・温度センサ・ドア開閉センサと光センサを用いて見守りシステムの構築を行った。イーサフォン端末は、ドア開閉センサ・温度センサと光センサに繋がっており、イーサフォンは各センサの情報をブロードキャストしてネットワーク全体に流す。そのために、イーサフォンを用いることで設定不要のシステムの構築が可能となる。

表 2: OSI 参照モデル

階層	OSI 参照モデル	プロトコル例
7	アプリケーション層	WWW
6	プレゼンテーション層	データの変換
5	セッション層	コネクションの確立や開放
4	トランスポート層	TCP, UDP
3	ネットワーク層	IP
2	データリンク層	CSMA/CD
1	物理層	100 BASE-T

そして、遠隔から安否を確認できるようにするために、それぞれのセンサのデータを linux サーバを用いてデータを収集する。エンドユーザが遠隔地から見やすいように web ベースのアプリケーションを作成する。また、インターネットを通して高齢者の情報を配信するため、セキュリティが重要になってくる。そこで、WEB ページはベーシック認証を用いた。さらに、送信されるパケットは SSL を用いて暗号化した。見守りシステムの構成図を図 2 に示す。

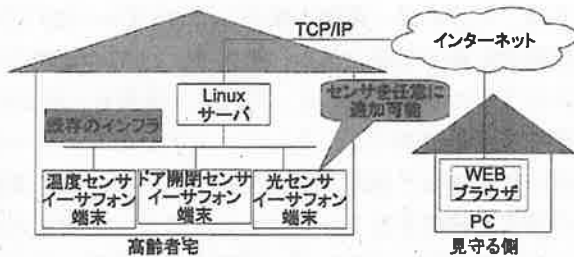


図 2: イーサフォン見守りシステムの概要

高齢者宅ではセンサイーサフォン端末が既存のインフラに接続されている。また、センサイーサフォン端末は任意に追加が可能となっている。そして、そのインフラにはセンサからの情報を収集して公開するために、Linux サーバが接続されている。

まず、センサイーサフォン端末はブロードキャスト通信でセンサ情報の乗ったパケットをネットワークに流す(図 3)。次に、Linux サーバではその各センサ情報を受信する。さらに、Linux サーバでは、データベースサーバが設置されており、そのデータベースにセンサ情報が保存される。そして、データベースにある情報を見守る側がインターネットを通して見ることで高齢者の安否の確認を行う。

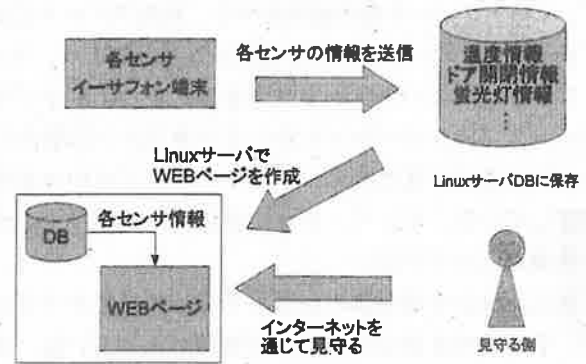


図 3: 見守りシステムの構成図

2.3 イーサフォンを利用した端末システムの設計

図 4 はセンサイーサフォン端末のシステム図である。イーサフォンは秋月電子 H8 ネットワークボード [4] を用いて実装している。

センサはイーサフォン端末と繋がっており、センサからの情報はアナログデータとしてイーサフォン端末に入力される。そして、入力されたデータは A/D 変換を介して、デジタルデータに変換される。次に、そのデジタルデータを元に、サーバが受け取りやすい形の packets を作成する。さらに、イーサフォンの技術を用いてネットワークに作成した packets の情報が送られる。

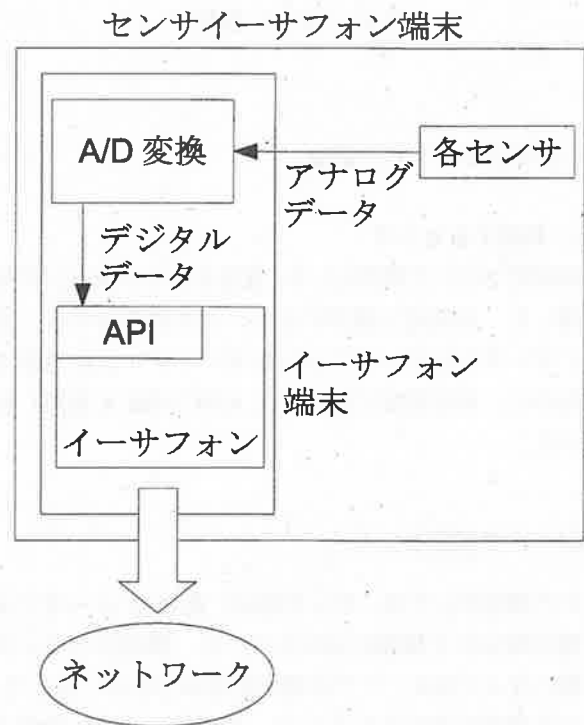


図 4: システムの設計

作成される packets は図 5 のようになっている。ま

ず、イーサフレーム側の説明をする。宛先アドレスにはブロードキャストアドレスを指定することにより、ネットワーク全体にパケットを送信する。また、タイプではイーサフォンのパケットか、イーサフォン以外のパケットかを分けるために、イーサフォンプロトコルを指定している。そして、データ部には、必要なセンサの情報が入っている。

次に、センサ情報部の説明をする。データタイプには、各センサを見分けるための情報が入っている。また、データサイズでは受け取るデータ部のサイズを指定している。そして、データ部にはセンサの状態の情報が入っている。

ブロードキャストアドレスを指定

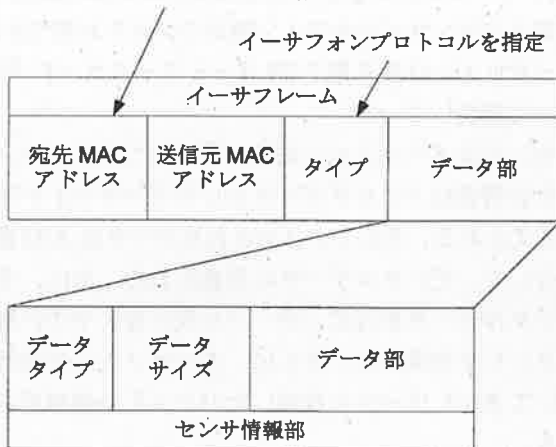


図 5: パケット 情報

3. 見守りシステムの実装

3.1 利用するセンサ

本研究ではドア開閉センサ・温度センサと光センサを使用した。本研究で使用するセンサの説明をする。また、センサからイーサフォンを用いてデータを送信するために、本研究室で開発した API(付録 A 参照) を用いた。

3.1.1 ドア開閉センサ

ドア開閉センサは、センサ部分(図 6) とイーサフォン端末部分の 2 種類に分かれている。構造はスイッチの様になっており、ドアの開閉を察知できる。そして、ドアの開閉を察知することで、高齢者の安否を確認することができる。また、このセンサはイーサフォンに繋がっており、ドアの開閉が確認された場合には、イーサフォンを使用してサーバにデータを送信する。送信するデータは、閉まった状態から開いた場合『 0』、開

いた状態から閉まった場合『 1』とセンサ情報部のデータ部に入力される。

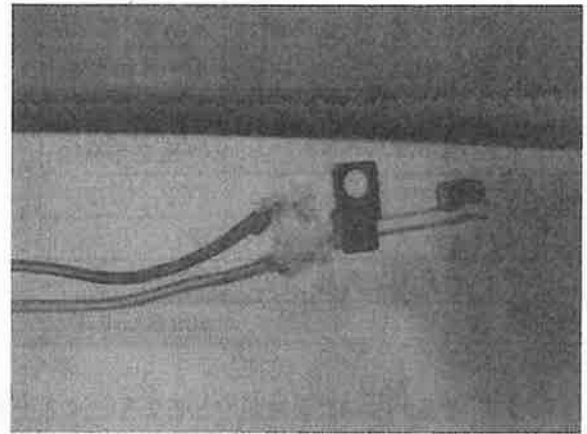


図 6: ドア開閉センサ

3.1.2 温度センサ

次に温度センサの説明をする。本研究では、温度センサとして「 LM60BIZ(TO-92)」^[6]を用いた。このセンサは、+2.7V 単一電源で動作し、-40℃~+127℃の温度範囲を検出可能である。誤差は、25℃の状態のときに±3℃の誤差が生じる。そこで、温度センサでは、部屋の温度を計測する。そして、エアコンやストーブを付けたときなど急激な温度変化があった場合に高齢者の安否を確認することができる。また、送信されるデータは温度センサならば、室温の小数点第一までの情報を送信する。そして『 25.4℃』ならば『 254』を 16 進数に変換した『 FE』という値がセンサ情報部のデータ部に入力される。

3.1.3 光センサ

次に光センサの説明をする。本研究では、光センサとして「 フォト IC ダイオード (S9648-100)」^[7]を用いた。このセンサは、視感度に近い分光感度特性をもったフォト IC ダイオードである。また、ほぼ可視光域にのみ感度を持っている。最大定格は 12V で動作する。そこで、光センサでは、部屋の光度を計測する。そして、カーテンを開けたり、蛍光灯を付けるなど光度に急激な変化があった場合に高齢者の安否を確認することができる。

3.2 サーバの設定

3.2.1 サーバの自動化

本研究は、サーバの自動化が不可欠である。さらに、イーサフォンは設定不要で利用出来るために、コンピュータやネットワークの専門的な知識がないユーザでも簡単に使用することができる。つまり、サーバを自動化することができれば、設定不要の見守りシステムの構築が可能となる。

本研究では、サーバとして Linux の CentOS release 5.4 を用いた。さらに、サーバではセンサからの情報を保存するためのデータベースが、動作している。データベースを扱うソフトとして MySQL5.0 を利用した。MySQL は、リレーショナルデータベースを管理・運用するために作られたシステムの 1 つである。また、世界で最も有名なオープンソース・データベースとして知られている。そして、データの保存とアクセスを行うストレージエンジンが SQL サーバとは分離独立している。そのため、用途に応じたストレージエンジンを選択できるマルチストレージエンジン方式を採用している。そして、外部に配信するために WEB サーバが稼働している。また、WEB サーバとして Apache を用いた。さらに、盗聴を防止するために、ベーシック認証と SSL を用いてセキュリティを向上させた。

さらに、イーサフォンからブロードキャストされたパケットを受信するにはパケットをキャプチャする必要がある。我々は、パケットをキャプチャするために Jpcap を利用した。Jpcap は Java から LAN 上を流れるパケットの受信と任意の IP パケットの送信を可能とする Java クラスパッケージである。このパッケージは libpcap と Raw Socket API を使用している。また、Jpcap はイーサネット、IPv4、IPv6、ARP/RARP、TCP、UDP、ICMPv4 のプロトコルに対応している。

サーバを自動化させるために、新しくセンサが追加された場合には、WEB ページに自動でセンサ情報が表示するようにした。この自動化された WEB ページの作成には PHP と HTML を用いた。また、サーバの電源を入れるだけですべての必要なサービスが動くように設定した。

3.2.2 データベースの設計

表 3 は、センサの情報が保存されるデータベースである。このようなデータベースが各センサごとに作成されている。データベースのテーブルの説明をする。id とは、まったく同じ情報ができないようにするための通し番号のことである。次に、date とはそのパケット

を受信してデータベースに書き込んだ時の時間で、つまりドアの開閉がおこなわれた時間にほぼ等しくなる。最後に、state とはセンサの情報や状態を保存するテーブルである。

表 3: データベースの設計

id	date	state
通し番号	パケットを受信した時間	センサの情報や状態

4. 動作実験

本研究では、動作実験を本研究室で行った。実験は、研究室にある既存のインフラを用いた。そして、ドア開閉センサは研究室の入り口に設置し、温度センサは研究室の窓付近に設置し、光センサは研究生の居住空間に設置した。図 7 は実験環境図である。

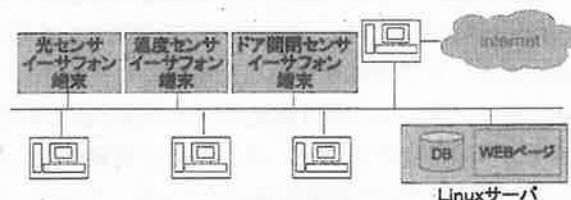


図 7: 実験環境

4.1 ドア開閉センサの実験結果

イーサフォンとドア開閉センサを用いて実験を行った。イーサフォンでは、ドアが開いたときと閉まったときに、その情報を付加したパケットをブロードキャストするようにした。図 8 は、7月27日の12時から12時15分の間でドアが開閉された時間をタイムチャートに表したものである。黒くなっているところが、ドアの状態を表したものである。1分間の間に1回でも開いた場合 open 状態にあると判断している。

時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
open															
close															

図 8: タイムチャート

4.2 温度センサの実験結果

イーサフォンと温度センサを用いて実験を行った。イーサフォンでは、1分間に1回、温度情報を乗せたパケットをブロードキャストするように設定した。図

9は7月28日の30分間の室温の変化をグラフにしたものである。縦は、温度を表している。また、横は7月28日の1時29分から2時5分の間の時間を表している。

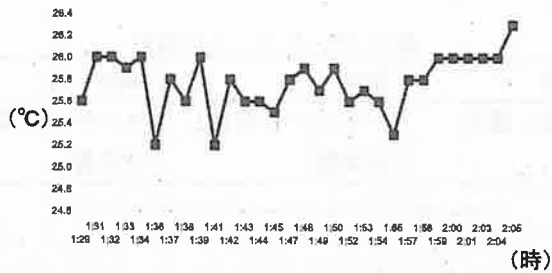


図9: 温度グラフ

4.3 インタフェース

作成したインタフェース(図10)の説明をする。見守る側が気軽に、さらに設定なしに閲覧できるようにWEBベースで作成した。左の列はドア開閉センサの表示部である。ドアの開閉があった時間のログを出している。次に、真ん中の列は温度センサの表示部である。温度センサは1分ごとにデータベースに情報が送られてくるので1分ごとの室温を表示している。さらに、右の列は光センサの表示部である。光センサは5分毎に情報が送られてくるので、5分毎の光度が表示されている。また、すべて最大20件まで表示するようにしている。

最新生存確認時間2009-08-28 03:55:0			
ドアの開閉センサ		室温センサ	蛍光灯点灯センサ
時間	ドアの状態	時間	室温
2009-08-28 03:25:20	閉まる	2009-08-28 03:40:52	25.3
2009-08-28 03:35:43	開く	2009-08-28 03:46:39	25.5
2009-08-28 03:44:12	閉まる	2009-08-28 03:47:23	25.4
2009-08-28 03:34:06	開く	2009-08-28 03:46:06	25.5
2009-08-28 03:29:50	閉まる	2009-08-28 03:44:55	25.7
2009-08-28 03:29:46	開く	2009-08-28 03:43:41	25.7
2009-08-28 03:23:41	閉まる	2009-08-28 03:42:27	25.7
2009-08-28 03:23:28	開く	2009-08-28 03:41:13	25.7
2009-08-28 03:20:43	閉まる	2009-08-28 03:39:59	25.2
2009-08-28 03:20:28	開く	2009-08-28 03:38:45	25.6
2009-08-28 03:12:16	閉まる	2009-08-28 03:37:31	25.1
2009-08-28 03:12:10	開く	2009-08-28 03:36:17	25.1
2009-08-28 03:11:54	閉まる	2009-08-28 03:35:03	25.6
2009-08-28 03:11:50	開く	2009-08-28 03:33:49	25.9
2009-08-28 03:00:26	閉まる	2009-08-28 03:32:35	25.6
2009-08-28 02:28:05	閉まる	2009-08-28 03:31:21	25.5
2009-08-28 02:28:02	開く	2009-08-28 03:30:06	26
2009-08-28 01:46:12	閉まる	2009-08-28 03:28:52	25.3
2009-08-28 01:46:06	開く	2009-08-28 03:27:38	25.9
2009-08-28 01:47:15	閉まる	2009-08-28 03:26:24	25.9
		2009-08-28 03:45:11	26.0
		2009-08-28 03:36:21	25.6
		2009-08-28 03:31:20	25.4
		2009-08-28 03:27:20	25.7
		2009-08-28 03:21:20	25.6
		2009-08-28 03:15:19	25.9
		2009-08-28 03:09:19	25.6
		2009-08-28 03:03:19	25.6
		2009-08-28 02:57:19	25.7
		2009-08-28 02:51:18	25.6
		2009-08-28 02:45:18	25.6
		2009-08-28 02:39:17	25.6
		2009-08-28 02:33:17	25.6
		2009-08-28 02:27:17	25.6
		2009-08-28 02:21:16	25.6
		2009-08-28 02:15:16	25.9
		2009-08-28 02:09:16	25.6
		2009-08-28 02:03:15	25.8
		2009-08-28 01:57:15	25.7
		2009-08-28 01:51:15	25.9

図10: 閲覧インターフェース

5. 考察

本研究では、イーサフォンという通信技術を用いた小型端末と、センサを用いて家庭内を監視し、外部から安全に高齢者の状況を見守る手法の構築を行った。そして、3章で述べたような方法でセンサイーサフォン端末を作成し、研究室内に設置して実験を行った。

その結果、ドア開閉センサでは人の出入りを察知できた。このことより、人が行動していることが分かる。

次に、温度センサでは、温度の変化があまり見られなかった。これは、我々の研究室は基本的に1日中、人がおりずっとエアコンがついているからだ、と考えられる。今回の実験では、温度の変化は見られなかったが、高齢者宅で行えば温度の変化が見られるのではないかと考える。

最後に、光センサでは蛍光灯の明かりを察知して、光度が変化することで部屋の人が行動したかどうかを、察知することができた。

このことから、人の行動を感知して、高齢者の安否を確認することができると考える。このシステムは、人の詳しい行動を察知する必要がないので、このようなセンサで十分であると考えられる。

また、イーサフォンの技術を用いて、サーバを完全に自動化することで、設定不要のシステムの構築ができたと考えられる。

本研究で作成した見守りシステムは、実験である程度の成果を挙げることができた。しかし、作成したセンサではまだ情報が足りないと考えられる。そのため、今後センサの数を増やすことにより、さらなる成果を上げることが期待できる。

6. 結言

本研究では、センサとイーサフォン端末を用いて、設定が不要な高齢者見守りシステムの構築を行った。そこで、ドア開閉センサ・温度センサや光センサの3種類のセンサイーサフォン端末を作成した。そして、我々の研究室内で実験を行った結果、センサの反応を感知することができた。さらに、イーサフォンを用いることで設定不要なシステムの構築ができた。このことから、イーサフォン端末とセンサを用いた見守りシステムの有用性を示すことができたと考えられる。

今後の課題としてまず挙げられるのは、センサの追加である。今回の実験では3種類のセンサを用いて実験を行ったが、他にもセンサを追加することで、さらに精密な情報を得ることができると考える。また、今回の実験は研究室内で行ったので、実環境で実験を行

う必要があると考える。

参考文献

- [1] 共生社会政策統括官. 平成 21 年度 高齢社会白書. 平成 20 年度 高齢化の状況及び高齢社会対策の実施状況 第 1 章.
- [2] 品川佳満 橋本勇人. 人間性へ配慮した高齢者見守りシステムの開発—高齢者のプライバシー・抵抗感に視点をおいた意識調査—. 川崎医療福祉学会誌 Vol.11 No.1 2001 199 - 204.
- [3] 吉岡正博, 白井治彦, 黒岩丈介, 小高知宏, 小倉久和. イーサネットの機能のみを用いた通信モデルの提案と実装-ブロードキャスト機能を利用したイーサフォン. 情報処理学会全国大会講演論文集 vol.69(2007).
- [4] 福井大学: 通信装置, 及び, 通信方法, 特許出願 2004-217916, 特許公開 2006-041842, 特許番号(特許第 4110251) .
- [5] 株式会社秋月電子通商: H8/3069F ネット対応マイコン LAN ボード(完成品)(通販コード K-1271). <http://akizukidenshi.com/>.
- [6] 株式会社秋月電子通商: 高精度 IC 温度センサ LM60BIZ(TO-92). <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-02490/>.
- [7] 株式会社秋月電子通商: フォト IC ダイオード S9648-100. <http://akizukidenshi.com/catalog/g/gI-02426/>.

A 付録

本研究で使用された API の説明をする. 本研究室で開発された API は以下の図 A1 のとおりである。

名前	引数	説明
esocket	u_char[], u_int	イーサフォンソケットをオープンする
esend	ESocket*, u_char	第二引数のバイト配列を送信する
erecv	ESocket*, u_char	第二引数のバッファに送信されてきたデータを受信する
eclose	ESocket*	オープンしたソケットをクローズする

図 A1: API 一覧

esocket() 及び eclose() はイーサフォン通信を行うためのソケットをオープンまたはクローズする API であ

る. イーサフォン通信を行う際にはイーサフォンタイプ領域のデータを設定した上で通信する. esend() 及び erecv() は送受信に関する API である. esocket() 実行することによって得られる ESocket 構造体を第 1 引数にとり, esend() は第 2 引数で指定したポインタのバッファを送信する. erecv() は指定したバッファに受信したデータを格納する関数である. esend() は実行時に送信するデータにあわせて自動的に送信するフレームを生成するため, 従来のようなバイト配列を直接編集する必要はない.

城中村の自律性を維持した環境改善計画方法の提案

— 中国西安市草場坡村の事例 —

易 洪艶* 野嶋 慎二**

A Proposal of a Planning Method for Environmental Improvement with Maintaining Autonomy in Urban Villages

— A Case Study of Caochangpo Village in Xi'an City of China —

Hongyan Yi* and Shinji Nojima**

(Received February 4, 2010)

The present study aims to take up the problem of remodeling urban villages (village in the town) that has appeared in the urban area in cities and its surrounding area due to the rapid urbanization in China from early 1990s. With Caochangpo village in Xi'an city of China as an example, the goal of this study is to improve the urban function while maintaining autonomy of urban villages, function while maintaining autonomy of urban villages, and to construct the plan theory to improve the dwelling environment. After putting the existing research related to the urban village in order and presenting the policy of remodeling, the flow of environmental improvement plan has been presented. Based on the flow of environmental improvement plan, by ①eliminating the irrelevant housing functions of companies and factories, ②constructing the open space and ③constructing the centralized housing, the remodeling is carried out by three steps. Then, the remodeling plan to step up and support facilities for tenants has been presented while the dwelling environment is improved at the same time.

Key Words: China, Xi'an City, Urban village, Autonomy, Environmental Improvement, Planning, Proposal

1. 研究の目的と方法

中国では、1978 年改革以来急激な都市化が進行し、これにより多くの都市問題が現れてきている。その一つとして、都市周辺部の農地が急速に収用され市街地となる過程で、農民の住む居住지가開発されずに取り残される地区が現れてきている問題がある。

これらの地区は城中村（街の中の村）と呼ばれている。90 年代始めから、中国の大・中都市の市街地とその周辺部に形成されてきている。

城中村に住んでいる農民は土地の収用と共に耕地を失い、農業を止め、部屋を賃貸して生計を立てている。賃貸住宅・賃貸店舗を作るため、元々密集した狭小な敷地で構成された農村の基盤に、安価な事業費で建物を建て、質の低い中層建築物が密集する劣悪な住環境の高密度市街地が形成されてきた。また安価な賃貸住宅・店舗ではあるが、立地条件が良かったため不特定多数の都市住民が入居し、様々な用途が混在し治安も悪い。

しかしその一方で、城中村は急速に増加する農村部からの都市住民を受け入れる受け皿としての役割も果たしている。現在、環境改善のためこれらの地区を改造していく問題も差し迫った課題として生じ

*中国西安外国語大学

日本学術振興会外国人特別研究員

**福井大学建築建設工学科

* Xi'an International Studies University, China

Japan Society for the Promotion of Science,
Postdoctoral Fellowships for Foreign Researchers

** Dept. of Architecture and Civil Engineering, Fukui
University

ている。しかし、一般的には、城中村の改造ではスラムクリアランスによる大規模住宅開発が行われ、安価な賃貸住宅や賃貸店舗がなくなることで、こうした受け皿機能も喪失している問題など、様々な問題も生じているのも事実である。

城中村の改造についての研究は、①スラムクリアランスによる大規模な住宅開発を行う改造方法^[1]・^[2]、②大規模開発を行うと同時に、村民の住宅賃貸の経営を維持する改造対策^[3]・^[4]、③大規模開発を行う時に、改造資金の巨大さ^[5]、取り壊すことの難しさ^[6]、村民の開発後の生活保障に対する不安^[7]、外部からの借家人の居住場所の喪失^[8]などの改造の課題についての研究が見られる。しかし、こうした課題に対し、大規模スラムクリアランス型開発以外の計画論が少なく、特に城中村の自律性を維持しながら、環境を改善する計画が見られない。

本研究は中国西安市の草場坡村を事例として、城中村における改造事業について、建築物と道路の整備及び公共施設の整備を計画的に行い、政府が必要な助成を与えることで、城中村の自律性を維持しながらも、都市機能を向上させ、住環境の改善を図る計画方法の提案を行うことを目的としている。

研究方法は以下の通りである。

第一に、城中村に関する既存研究をレビューすることより、城中村の課題及びスラムクリアランス型大規模改造の課題をまとめる。

第二に、それらの課題を踏まえて、城中村の改造の方針を提示し、城中村の環境改善計画策定フローを提示する。

第三に、この環境改善計画策定フローに基づき、草場坡村を事例として、計画案を策定する。

2. 城中村の課題及び大規模改造の課題

既存研究をレビューし、城中村を大規模に改造する課題と城中村自身が抱えている課題について整理する。

2.1 大規模改造の課題

①単一的な改造計画

城中村を改造する時に、城中村の地域性、場所性、社会的な特性（借家人の数や特性）、空間的な特性（建物規模や空地など）を考慮していないことが課題として挙げられる。政府が主導して、村を壊して村民全体を新しい村へ移住させる改造^[9]、既存の村を取り壊し、改造後再び村民を居住させる改造^[10]の方法が用いられるが、必ずしも地域を考慮したものではないため、下記（②～⑥）に示すような課題が

見られる。

②農村部からの転入者あるいは低所得の借家人の受け皿の喪失

城中村は農村部からの転入者あるいは低所得の借家人を受け入れる受け皿として役割を果たしている。大学生にとっては大学の寮を出て最初の住む場所となり、勤め人にとっては都市で暮らすための必要な場、あるいはステップアップのための過渡期の住宅となっている。城中村を大規模に改造を行うと、借家人を受け入れる受け皿機能が失われる^[8]・^[11]。

③職業を始める第一歩の場所の喪失

城中村は、農村から都市へ流入してきた人の居住場所としての最初の受け皿であるとともに、職場として最初の受け皿となっている^[11]。城中村は多くの借家人が職業を始める場所としてインキュベーターの役割を果たしていると言える。城中村を大規模に改造を行うと、借家人が職業を始める最初の場所が失われる。

④地権者同士の農村コミュニティーの解体

城中村の地権者とその家族が長年同じ村で生活し互いに助け合って、深い地縁を結んでいる。また村民の間に血縁関係や宗族関係があり、城中村で伝統的な農村の人情や風気が見られる^[12]・^[13]。城中村を大規模改造すると、地権者同士の農村コミュニティーが解体される。

⑤地権者の自律的な活動の喪失

城中村の地権者の村民は自分の敷地に住宅を建てる権利があり、住宅を改増築し、住宅を賃貸する^[14]・^[16]。城中村を大規模に改造を行い、土地が政府の所有になると、住宅賃貸経営など村民の土地を活用した自律的な活動が失われる。

⑥膨大な改造資金に関する課題

城中村を大規模に改造を行う場合には村集団所有の土地から国家所有土地へ変更する費用、村全体の開発費用と村民全体の転出後の住宅建設費用など膨大な改造資金がかかる^[5]。

2.2 城中村が抱える課題

①日照・採光・通風等の室内環境が悪い

城中村においては、道路が狭く少ない農村の基盤の上に賃貸住宅が建てられている。それらの賃貸住宅が敷地いっぱい建てられているため、窓がなく、一年中暗い^[11]・^[15]。賃貸住宅経営が進むことによって、住宅が高層化してくる^[16]。さらに高層化と伴い、住宅の平面が一字型、二字型の建坪率が低い型からロ字型、中庭なし型など敷地いっぱい建てられる型へ変わり、環境が悪くなる^[17]。

②オープンスペース・緑地が少ない

城中村の村内には樹木は少なく、住宅は道路と路地を除いて隙間なく建ち並んでいる^[17]。また、都市施設が不足し、公共緑地が少なく、文化、体育、レジャーなどの施設もない^[18]。

③歩行者道路の回遊性が低い

城中村の道路は計画なく造ったものであるため、通り抜けられない箇所が多く、村内の道路の多くは3m未満、その線形も不整形である^[19]。また農民が住宅を造った時に残地として形成された幅1m未満の路地も多く、行商人たちは勝手に道路の両側に商品を陳列したり、道路沿いのレストランはかまどを道路に置いたりすることで、道路がさらに狭くなっている^[17]。以上より歩行者道路の回遊性が低い。

④居住立地限定階層を支援する環境がない

城中村には安価な賃貸住宅に長年住み続け、転出したいが経済上転出できない居住者層も存在している。城中村の新規都市住民を受け入れる機能を維持するには借家人の流動性を維持することが必要であり、借家人が居住立地限定階層にならないために、勤め人に対して職場の幹施、店舗経営者に対して経営指導などを行う環境が必要である^[11]。

これまで城中村を改造するには、スラムクリアランス型大規模改造という方法しかなかったが、以上の課題を生じている。一方、城中村が抱える課題も大きく、両者の課題を解決するための新しい改造方法が必要である。

3. 城中村の改造の方針

以上の考察より新しい改造方法として以下の改造の方針を提示する(図1)。

(1) 城中村の立地や場所の特性に応じた多様な環境改善整備

大規模改造の課題である①「単一な改造計画」に対しては、城中村の立地や場所の特性に応じた多様な環境改善整備を行う方針を立てる。例えば、借家人の特性に応じて借家人を支援する施設を作ったり、既存のオープンスペース量に応じて建設したり、住環境が悪い場所を改善するなどである。

(2) スラムクリアランス型でなく修復型の環境整備

大規模改造の課題である②「農村部からの転入者あるいは低所得者の借家人の受け皿の喪失」、③「職業を始める第一歩の場所の喪失」、④「地権者同士の農村コミュニティの解体」、⑤「地権者の自律的な活動の喪失」という課題に対しては、スラムクリアランスでなく修復型の環境整備が必要である。即ち、全てを改造するのではなく、これらの機能は

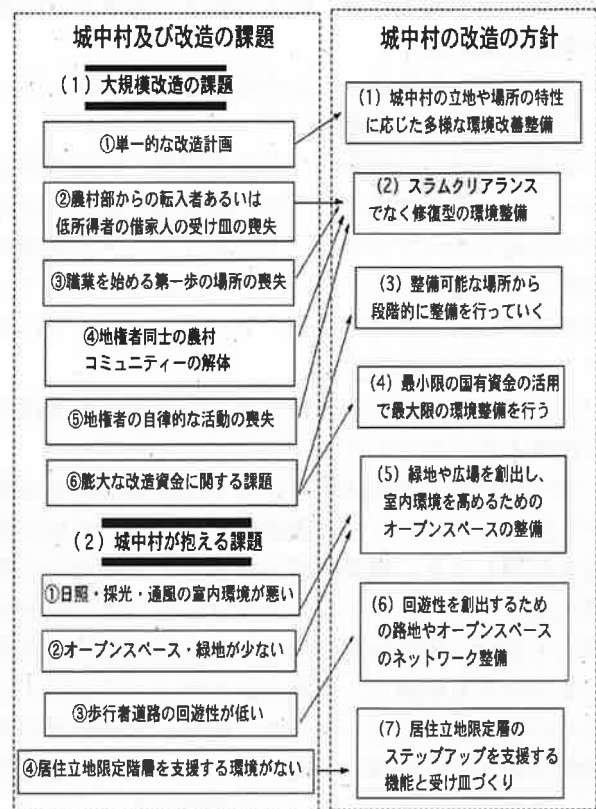


図1 城中村の改造課題による改造の方針

大半残しながら、環境の悪い場所だけを修復していく方法である。

(3) 整備可能な場所から段階的に整備を行っていく

大規模改造の課題である⑥「膨大な改造資金に関する課題」に対しては、一時期に全体を改造することではなく、少しずつ段階的に整備可能な場所から改造を始める方針が必要である。

(4) 最小限の国有資金の活用で最大限の環境整備を行う

大規模改造の課題である⑥「膨大な改造資金に関する課題」に対しては、最小限の国有資金を活用して、最大限の住環境の改善の効果を得られる方針を立てる。また多種の助成政策を採用し、個人や農村委員会や一部民間の資金も改造のプロジェクトに導入するなど多様な主体が改造に加わる方針とする。

(5) 緑地や広場を創出し、室内環境を高めるためのオープンスペースの整備

城中村が抱える課題①「日照・採光・通風の室内環境が悪い」、②「オープンスペース・緑地が少ない」という課題に対しては、緑地と広場などのオープンスペースを造り、住環境を改善する方針を立てる。オープンスペースは高密度の市街地の中で来街者にとっても住人にとっても安らぎの空間である。さらにオープンスペースの建設によって、既存の住

宅の採光面を増加させ、住宅の採光と通風などの室内環境を高める。

(6) 回遊性を創出するための路地やオープンスペースのネットワーク整備

城中村が抱える課題③「歩行者道路の回遊性が少ない」という課題に対しては、回遊性を創出するための路地やオープンスペースのネットワーク整備の方針を立てる。オープンスペースの建設によって、通り抜けられる路地を作り、オープンスペースへのアクセスとして利用する。

(7) 居住立地限定階層のステップアップを支援する機能と受け皿づくり

城中村が抱える課題④「居住立地限定階層を支援する環境がない」という課題に対しては、店舗経営者を指導したり、職業を斡旋するなど支援を行う職業支援センター、ステップアップの受け皿の役割を果たす店舗と屋台を建設する。また今より少し良質な賃貸住宅も建設し、借家人がステップアップするための住宅をすることにより、既存の賃貸住宅の流動性を高める。同時に一般ファミリー用の部屋も作り、ミクストコミュニティを実現する。

4. 城中村の環境改善計画策定フロー

前述の城中村の改造の課題と改造の方針を踏まえて、城中村の環境改善計画策定フローを以下のように提示する(図2)。

(1) 城中村の立地や場所による状況の把握

城中村の立地や場所による社会的な特性、空間的な特性を把握する。社会的な特性については借家人の数や特性、住宅以外の機能を考慮し、空間的な特性については住宅の敷地規模、建物規模、建物特性や空地などを考慮する。

(2) 状況に応じた整備方針の検討

城中村によって、賃貸住宅の高層化が進み、建坪率も高くなるなど、住環境の悪さに差異が生じている。中庭がなく、採光環境が悪い建物(中庭なし型)などの多い城中村では、環境改善のためのオープンスペースを多くする。あるいは城中村の街路の状況に応じて、地区全体の歩行ネットワークを計画したり、工場や村集団の所有地などを開発しやすい場所を種地として計画するなど、状況に応じた整備方針を考える。

(3) オープンスペースの配置の検討

工場や村集団の所有地など開発しやすい場所や住環境が悪い場所を優先して、オープンスペースの配置を検討する。

(4) 職業支援施設、ステップアップのための受け

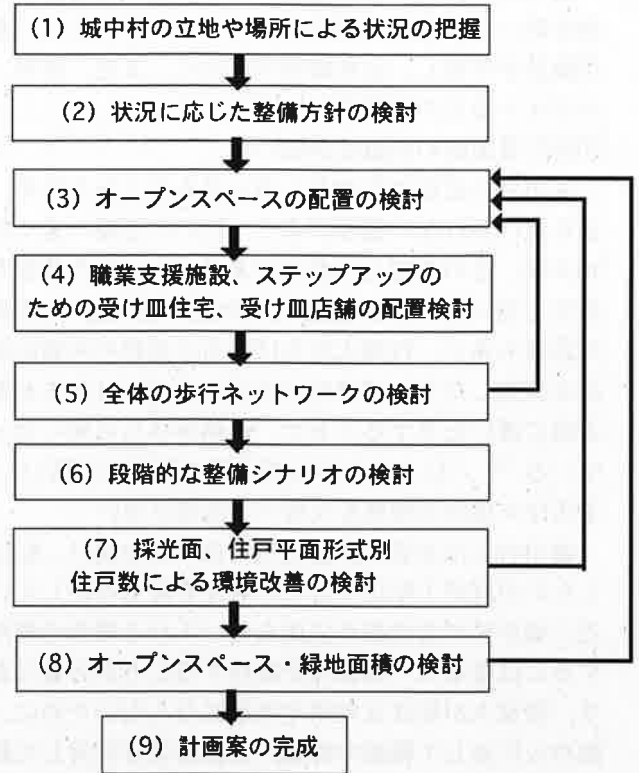


図2 城中村の環境改善計画策定フロー

皿住宅、受け皿店舗の配置の検討

オープンスペースに隣接して、また村の全体の住宅と店舗の分布を考慮して、職業支援施設、ステップアップのための受け皿住宅、受け皿店舗の配置を検討する。

(5) 全体の歩行ネットワークの検討

村全体の歩行者道路やオープンスペースをつなげ、回遊性を高める歩行ネットワークを作る。

(6) 段階的な整備シナリオの検討

整備において借家人が家を失わないように、まず借家人のいない場所で整備を行う。これにより、次の整備で借家人が移住できる受け皿を作るなど、段階的な整備シナリオを検討する。

(7) 採光面、住戸平面形式別住戸数による環境改善の検討

採光面から住環境を改善し、採光条件の悪い、「採光面なし」、「一面採光」の住戸の数を減少し、「二面採光」、「三面採光」、「四面採光」の住戸の数を増やす。また住宅平面を検討し、住環境を改善するため、採光と通風が悪い中庭なし型、ロ字型の住戸の数を減少させる。

(8) オープンスペース・緑地面積の検討

村全体のオープンスペース・緑地の面積を増加させる。

(9) 計画案の完成

以上のフローは、互いにフィードバックしながら行われ、最終的な環境改善計画が決定される。

5. 環境改善計画策定フローに基づいた計画の立案

西安市草場坡村を事例とし、以上の城中村の環境改善計画策定フローに基づいて、現況調査を行い、改造計画を立案する。

5.1 改造対象地区の概要

改造対象地区として西安市草場坡村¹⁾を対象とする。

現在の西安市は陝西省の省都として人口 674 万余りを有し、8 区と 5 県からなり、面積は 9983km²である。都市中心部となる 6 区（図 3）には 187 ケ所ある。これらの城中村の大半は完全に市街地に囲まれている。

本研究の対象である草場坡村は西安市内の南に位置しており（図 3）、南の第 2 環状線と南北メインストリートである長安南路の交差点にある（図 4）。村の北側は陝西省旅遊局に隣接して、南側は陝西省工業展覽館に隣接し、長安大学、西安音楽大学があり、西側に陝西省体育館、陝西省図書館があり、東側に休養所に隣接するなど、交通が便利で、賑やかな市街地に位置している。

草場坡村は完全に市街地に囲まれ、村は全て耕地がなくなり、村民は住宅賃貸を主収入として生計を立てている。また西安市全体の 187 ケ所の城中村において、村民人口 500～1500 人の規模の村の数は 112 と最も多い。草場坡村の村民の人口は 1260 人と平均的である。また建物の平均階数は 3.5 階であり、比較的賃貸住宅の比率が高く、中高層化が進行した場所であると言える。

草場坡村の地区面積は 52170.9m²で、そのうち住宅敷地面積が 42659.6m²である。村の地権者の戸数は 258 戸で、総人口は 1260 人である。1985 年以前は草場坡村の村民は野菜の栽培を主とする村であった。表 1 より土地収用のため、村民が逐次に耕地がなくなり、1993 年に入ると、野菜栽培を中止して、住宅賃貸を主収入とする生活を始めた。2006 年 6 月に西安政府が城中村を改造する政策により、村民が元の農民戸籍から全て都市住民に変わった。村には村民のほかに、借家人が約 6 千人いると言われている。

5.2 調査方法

調査は 2 回行った。1 回目の調査は 2006 年 3 月 16

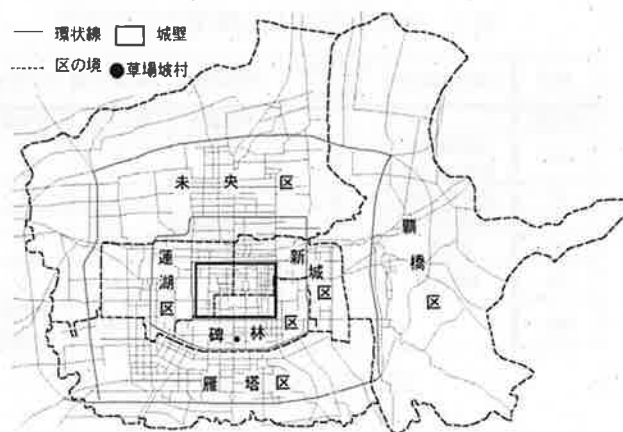


図 3 西安市中心部 6 区と草場坡村の位置



図 4 草場坡村の周りの状況

日～23 日に行った。1 回目の調査では、草場坡村の村民委員会へ土地収用過程、村の成立経緯について聞き取り調査を行った。次に村のエリアを踏査して、住宅地区の全 258 戸の階数と住宅内にある店舗を地図にプロットした。2 回目の調査は 2006 年 9 月 20 日～10 月 3 日に行った。2 回目の調査では、村への入り口の位置、公共物の位置、樹木などをプロットし、路地の行く先と幅員ごとの長さ、露天店舗と住宅内の店舗の用途を詳細に調査した。

5.3 環境改善計画策定フローに基づく草場坡村の計画立案

(1) 草場坡村の立地や場所によって状況を把握する

草場坡村の状況を把握するために、草場坡村の現況調査を行った。

表1 土地収用による職業などの変化

年代	土地収用の主体	収用土地の面積(畝)	村民の職業	村民の戸籍	村の仕組み
'85以前			野菜栽培	農民戸籍	村委員会
'85	陝西省経済委員会工業局	20	↓	↓	↓
'87	草場坡住宅区	30	↓	↓	↓
'93	2環状線の建設	100	野菜栽培中止	↓	↓
'95	電信局	15	↓	↓	↓
'95	延綿大厦	15	↓	↓	↓
'06.6			↓	都市住民	都市住民委員会

注) 1畝=6.667アール

草場坡村の成立経緯について、50年代に洪水のため、草場坡村の村民は元の家を失い、現在の場所に移住し、住宅の建設を始めた。1993年に入ると、土地が多く収用され、配給できる住宅敷地が減少したため、女子はわずか33㎡の住宅敷地(図5、「娘の住宅」と呼ばれる)が供給された。1995年以後、配給できる住宅敷地がなくなり、現在の状況になった。

草場坡村の建築物について、図5より村民の住宅のほか、国营会社、太鼓工場、幼稚園、ゴミ収集場、老年活動センターなどがある。太鼓工場、幼稚園、ゴミ収集場と老年活動センターの敷地は村集団所有である。

草場坡村の住環境について、表2より、道路に面していない住宅が30戸、1~3m道路に面している住宅が58戸で、アクセス条件が悪い住宅が多い。表3より住宅の平面類型において、採光が悪い中庭なし型が173戸と最も多い。図6より、住宅の階数別平面図において、3階建ての住宅が119戸と最も多く、住宅の平均階数が3.5階で、比較的高層化が進んでいる。

草場坡村の出入り口と村内の道路について、図7より出入り口が4つあり、そのうち3つが西安市の幹線道路につながり、交通が便利である。村内の道路において、道路は計画なく作られたもので、通り抜けられない箇所があり、道路の多くは3m未満、その線形も不整形である。

草場坡村の店舗と屋台について、表4の経営内容より、日常生活に密接に関わる店が多く、小売の店舗と屋台(写真3, 4)が98で、飲食の店舗と屋台(写真6, 7)が99、サービスの店舗と屋台が83ある。図8の村内の店舗と屋台の分布図より、屋台の多くは村の東北の入り口にある食料の自由市場の近くにある。診療所(写真5)の多くは村の東北にあり、旅館(写真8)の多くは村の南西の入り口の近くに集中している。草場坡村の緑地・オープンスペースについて、図5より、樹木がわずか5ヶ所あり、オープンスペースが少ない。

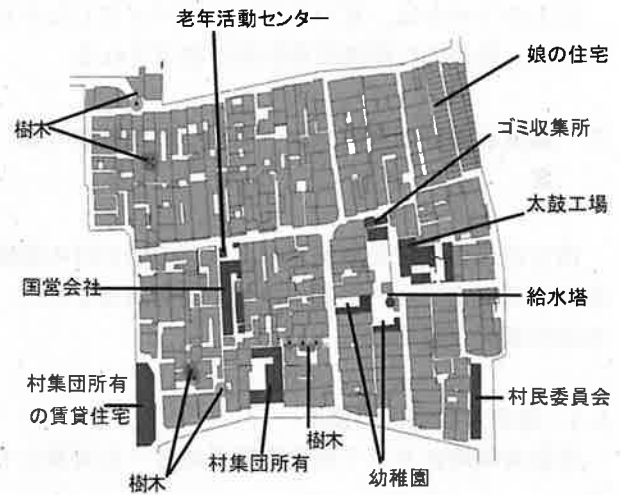


図5 草場坡村内の建築物

表2 道路の幅員による住宅の戸数

住宅の面している道路の幅員	住宅の戸数
5~6m主要道路	82(34%)
3~5m道路	88(32%)
1~3m道路	58(22%)
道路に面していない	30(12%)
合計	258(100%)

表3 住宅の平面類型

平面類型	中庭なし型	コ字型	ロ字型	L字型
図				
全258戸	173	41	9	7
平面類型	一字型	二字型	共同型	
図				
全258戸	3	15	7	3

注) 平面図で示されている階数は類型ごとに見られる最も高い階数を示している。

以上の草場坡村の現況調査によって、草場坡村の特性を整理する。

- ①立地から、草場坡村の周辺は「周りに農地がなく、大学など大規模な集客施設がある市街地にある村」という特性を持つ。
- ②借家人の特性から、草場坡村が「大学生と勤め人の居住が多い」村である。
- ③村の地権者に対する借家人の人数の割合から、

表4 店舗と屋台の経営内容

種類1	種類2	店舗の軒数	屋台の軒数	小計	合計
小売	肉、野菜、果物、調味料等	16	23	39	98
	コンビニ、百貨店等	21	0	21	
	服装、靴、帽子、靴下等	9	0	9	
	その他	28	1	29	
飲食		84	15	99	99
サービス	美容院	25	0	25	83
	携帯、電話サービス	23	0	23	
	その他	31	4	35	
アミューズメント	ゲーム	4	0	4	11
	インターネット	3	0	3	
	麻雀	2	0	2	
	その他	2	0	2	
	旅館	27	0	27	
会社		2	0	2	2
医療	診療所	6	0	6	6
教育	幼稚園2、塾1	3	0	3	3
公衆トイレ		3	0	3	3
空き店舗		17	0	17	17
合計		306	43	349	349



図6 住宅の階数別による平面図

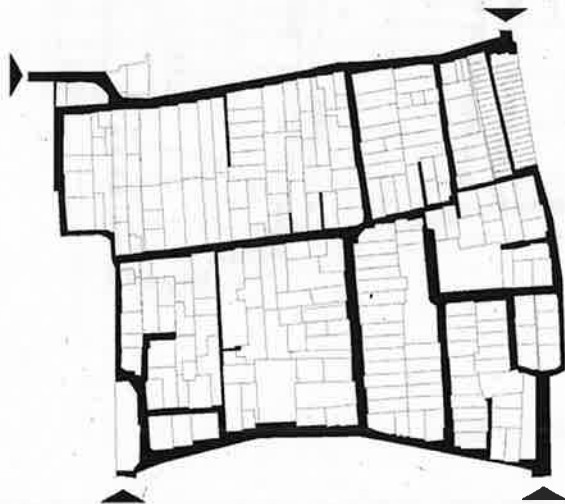


図7 村内の道路と4つの出入口



写真3 小売店舗 写真4 小売屋台 写真5 診療所



写真6 飲食店舗 写真7 飲食屋台 写真8 旅館

草場坡村の借家人の割合が高く、比較的「賃貸住宅の率が高い」と言える。

④賃貸方式から、草場坡村の村集団が「店舗賃貸と共同経営店舗の賃貸方式」で、村民個人が「住宅賃貸を主収入とする賃貸方式」である。

⑤住宅の階数から、草場坡村の住宅の平均階数が3.5階で、「高層化が進行している」と言える。

⑥接道条件から、草場坡村の住宅は道路に面していない、1~3m道路に面している住宅が多く、「接道条件が悪い」と言える。

⑦住戸環境から、草場坡村の住宅は敷地にいっぱい建てられ、住宅と住宅の間に隙間なく、窓がない部屋も多く、「賃貸住戸の部屋の採光と通風が悪い」と言える。

⑧居住空間から、草場坡村は空地がなく、緑地が少

なく、オープンスペースがなく、また中庭なし型の平面タイプの住宅が最も多く、「劣悪な居住空間」と言える。

⑨草場坡村には、村民の住宅以外に住居機能と関係ない工場や会社など建築物も存在している。

(2) 草場坡村の状況に応じて整備方針を立てる

借家人の割合が高く、村集団が店舗賃貸を行い、村民個人が住宅賃貸を行う状況から草場坡村の店舗や住宅の賃貸方式を維持する必要がある。借家人のステップアップの受け皿住宅と受け皿店舗、店舗賃貸者のステップアップのための職業支援施設を作る。緑地が少なく、オープンスペースがないことから緑地面積を増やし、オープンスペースを建設する。住環境が悪く、住宅平面が中庭なし型が多いことから住環境を改善する時に特に中庭なし型の住宅を改造

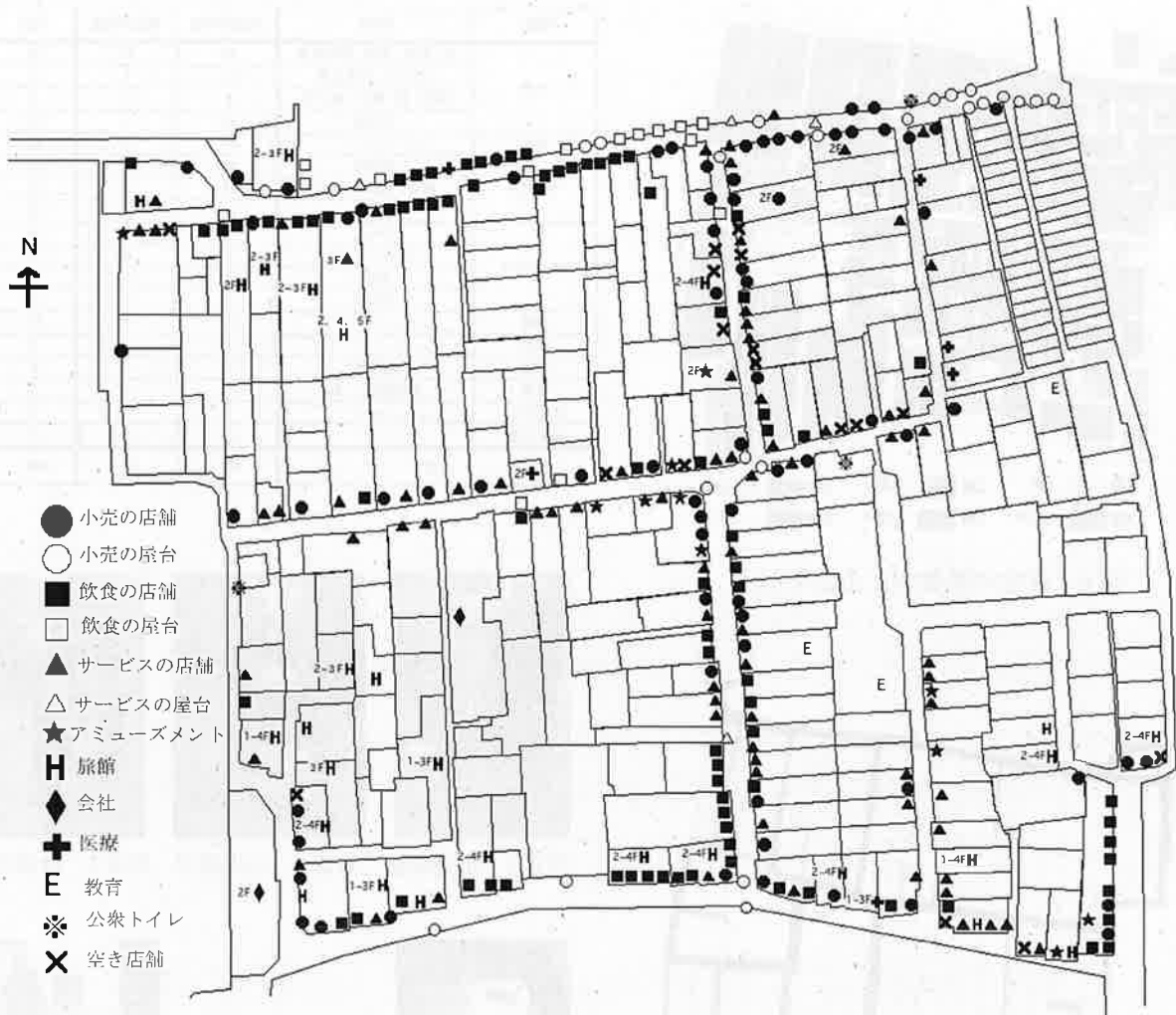


図8 村内の店舗と屋台の分布図

する。また、村内に工場や会社など住居機能と関係ない建築物があることから、これらの建築物を除去し種地として計画する。

(3) 草場坡村のオープンスペースの配置を検討する

太鼓工場や会社と村集団所有の老年活動センターやゴミ収集所を種地とし、またロ字型、中庭なし型など住環境が悪い住宅を改造することによりオープンスペースを創出する。

(4) 草場坡村の職業支援施設、ステップアップための受け皿住宅、受け皿店舗の配置を検討する

ゴミ収集所と太鼓工場であった村所有の敷地において、職業支援施設を建設する。ステップアップの受け皿住宅は集合住宅を建設する時に作る。ステップアップための受け皿店舗は路地や敷地が狭い元の「娘の住宅」であった敷地で作る。

(5) 草場坡村の全体の歩行ネットワークを検討する

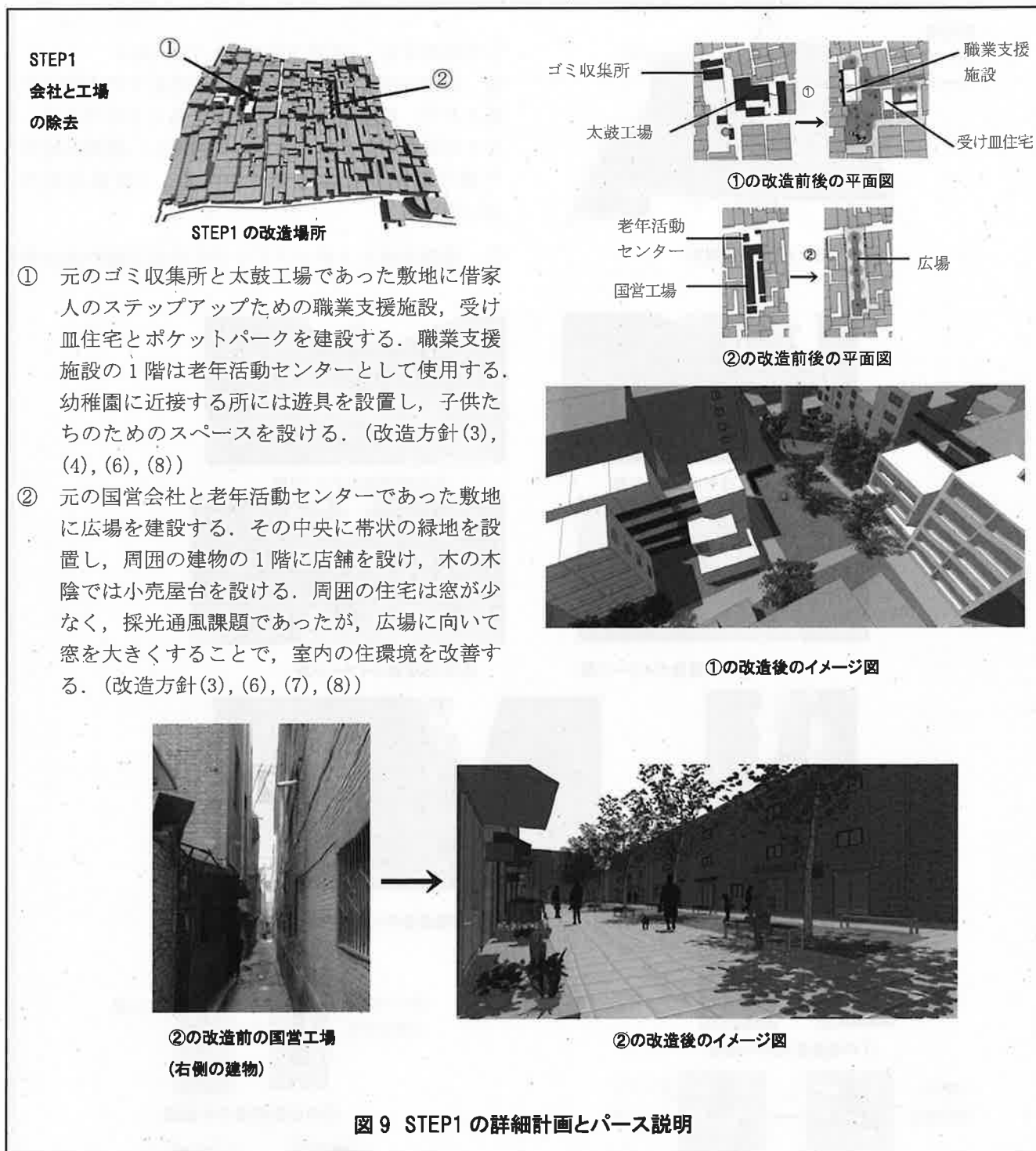
住環境が悪い住宅をオープンスペースに改造する時に、既存の路地や住宅間の隙間をオープンスペースの緑地へのアクセスとして利用し、全体の歩行ネットワークを改善する。

(6) 草場坡村の整備において段階的なシナリオを検討する

図9～11の順番で、草場坡村の整備を行う。STEP1は工場や会社など住居機能と関係ない場所を除去し種地として計画し、次の整備のための受け皿住宅を作る。STEP2は住環境が悪い住宅を除去しオープンスペースを建設する。STEP3は住環境が悪い住宅を共同化し集合住宅を建設する。

(7) 採光面、住戸平面形式別に住戸数による草場坡村の環境改善を検討する

表5のように、住宅の採光面から、環境の悪い採光面なし30戸と一面採光の169戸は改造後はそれぞれ2戸と99戸に減少した。二面採光53戸と三面採光5戸は改造後はそれぞれ84戸と23戸に増加した。



住戸平面形式から、環境が悪い中庭なし型173戸とロ字型9戸は改造後はそれぞれ142戸と5戸に減少した。

また、店舗と屋台の分布では、環境改善と同時に店舗と屋台の再配置を行い、改造は広場の周囲の建物の1階に店舗を設け、広場の中央にある緑地の木の木陰では小売の屋台を設けた。道路に面しているオープンスペースでは屋台を設け、自由市場に近いオープンスペースでは借家人がステップアップするための店舗と屋台を設ける。

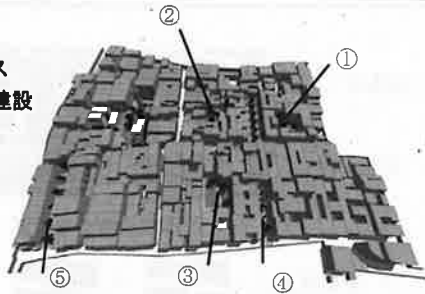
(8) 草場坡村のオープンスペース・緑地面積を検討する

表5のように、オープンスペース・緑地面積は改造後は3805㎡に増加した。

6. まとめ

以上のように、本研究は草場坡村を事例とし、城中村の環境改善策定フローに基づいて、城中村の自律性を維持した環境改善計画案を策定した。しかし、

STEP2
オープンス
ペースの建設



STEP2の改造場所



①の改造後のイメージ図



③の改造後のイメージ図



②の改造後のイメージ図



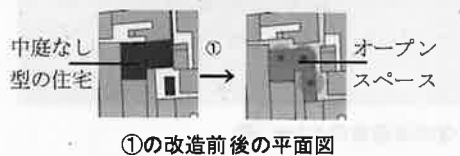
④の改造後のイメージ図



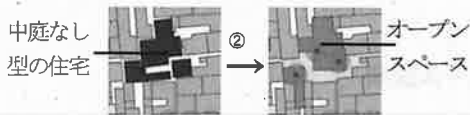
⑤の改造後「娘の住宅」



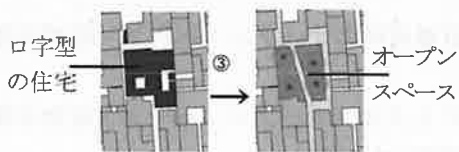
⑤の改造後のイメージ図



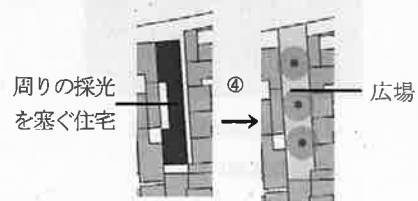
①の改造前後の平面図



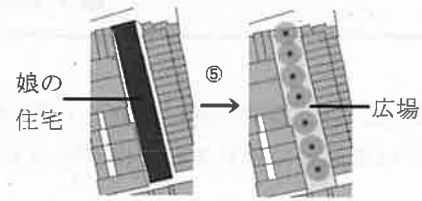
②の改造前後の平面図



③の改造前後の平面図



④の改造前後の平面図



⑤の改造前後の平面図

①, ②, ③ ブロックの内部にあるロ字型, 中庭なし型の住環境が悪い住宅を除去し, オープンスペースを建設する. これらのオープンスペースは緑地とし, 既存の路地や住宅間の隙間を緑地へのアクセス路と

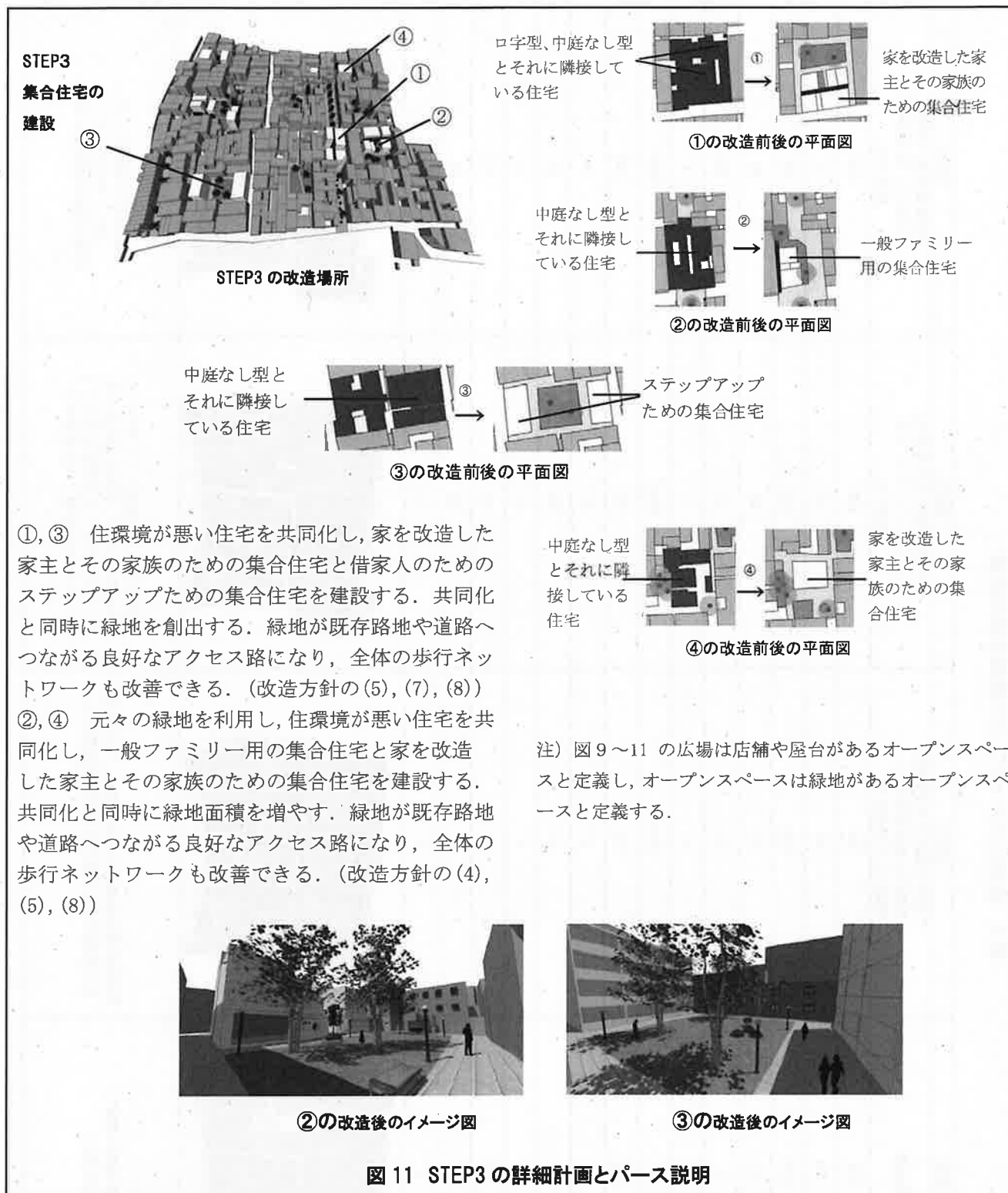
して利用する. (改造方針の(5), (7), (8))

④ 周囲の住宅への採光を塞ぐ住宅を1戸を除去することで, 周囲住宅環境を良くすることができる. ここは屋台が集まる場所として利用し, 道路が屋台で通行が困難な状態を改善する. (改造方針の(7), (8))

⑤ 環境改善とステップアップのための店舗や屋台の

再配置を共に考えて, 路地や敷地が狭い「娘の住宅」を除去し, 広場を建設する. この辺りは自由市場に近接して, 仮設の屋台が多いことか, 広場をステップアップのための店舗と屋台が集まる場所とする. (改造方針の(4), (7), (8))

図 10 STEP2の詳細計画とパース説明



城中村の自律性を維持した環境改善について今後の課題として以下のように残っている。





(1) 城中村において、各村の立地と場所によって住宅賃貸の状況が異なる。各村ごとに改造方案を出し実現させていく必要がある。例えば、住宅賃貸がよく進行し、住環境が悪い村では、オープンスペースを多く建設する。住宅賃貸があまり進行しなく、住環境があまり悪くない村では、住宅の増改築を制限し、住宅賃貸を経営するための集合住宅を建設す

る。

(2) 城中村の自律性を維持しながら村民の生活インフラを改善する仕組みが必要である。例えば、村の道路の舗装を行い、上下水と生活燃料を整備する必要がある。

(3) 城中村の自律性を維持すると同時に、村民に対する教育、職業訓練や指導などの支援が必要である。村民を住宅賃貸だけに頼る生活の状態から多様な生活方式へ変える。

表 5 改造のステップごとの環境改善の評価

段階	現状	STEP 1	STEP 2	STEP 3
整備のシナリオ	改造前	工場や会社など住居機能と関係ない場所を除去し、種地として計画する。	住環境が悪い住宅を除去し、オープンスペースを建設する。	住環境が悪い住宅を共同化し、集合住宅を建設する。
旧住宅の戸数 (戸)	258	258	232	209
採光面なし	30	28	11	2
旧住宅の採光面 (戸)	169	158	123	99
一面採光	53	63	80	84
二面採光	5	8	17	23
三面採光	1	1	1	1
四面採光	0	1378	2364	3805
緑地面積 (㎡)	173	173	151	142
中庭なし型	9	9	6	5
ロ字型	41	41	38	34
コ字型	7	7	9	9
L字型	10	10	10	3
一字型	15	15	14	13
二字型	3	3	3	3
共同型				
店舗分布				
店舗 屋台				
店舗分布の説明	安価な質の低い店舗と屋台が多い。	広場の周囲の建物には店舗を設け、その中央にある緑地の木の木陰では小売屋台を設ける。	道路に面しているオープンスペースでは屋台を設け、自由市場の近くのオープンスペースでは借家人のスタートアップのための店舗と屋台を設ける。	集合住宅の建設により、新しい住民が入り、店舗と屋台の質が高くなる。

注

- 1) 現地調査により、草場坡村の地権者の戸数は全部 268 戸で、そのうち 10 戸が草場坡村から北へ 100m 離れ、都市住民と雑居している。本研究でいう草場坡村はその 10 戸を除いて、集中して居住している 258 戸を指している。

参考文献

- [1] 田莉：“都市里的鄉村”現象評析—兼論鄉村—城市型期的矛盾協調發展，城市規劃匯刊，05，pp54-pp56，(1998)。
- [2] 張建明：廣州城中村研究，廣東人民出版社，(2003)
- [3] 閻小培ほか：快速城市化地區城鄉關係協調研究—以廣州市“城中村”改造為例，城市規劃，03，pp30-pp38，(2004)。
- [4] 魏立華ほか：“城中村”：存続前提下的轉型—兼論城中村改造的可行性模式—，城市規劃，07，pp9-pp13+pp56，(2005)。
- [5] 翁志超：淺論“城中村”的改造對策，商場現代化，13，pp41-pp42，(2004)。
- [6] 李釗：“城中村”改造途徑的思考，安徽建築，03，pp8-pp9，(2001)。
- [7] 王曉東ほか：對城中村改造的幾點認識，城市規劃，11，pp70-pp72，(2003)。
- [8] 高峰ほか：國內城中村研究總述，現代城市研究，07，pp21-pp24，(2006)。
- [9] 王福定：城市化後的村莊改建模式研究，人口與經濟，06，pp60-pp62+pp31，(2004)。
- [10] 敬東：“城市里的鄉村”研究報告—經濟發達地區城市中心區農村城市化進程的對策，城市規劃，09，pp8-pp14，(1999)。
- [11] 易洪艷・野嶋慎二：城中村的借家人の居住履歷とその受け皿機能に関する研究—中国西安市西八里村の事例—，日本建築学会計画系論文集 623 号，(2008)。
- [12] 魏立華ほか：“城中村”：存続前提下的轉型—兼論城中村改造的可行性模式—，城市規劃，07，pp9-pp13+pp56，(2005)。
- [13] 李晴ほか：“城中村”改造實驗—以珠海吉大村為例，城市規劃，11，pp23-pp27+pp45，(2002)。
- [14] 張京祥ほか：二元規制環境中城中村發展及其意義的分析，城市規劃，01，pp63-pp67，(2007)。
- [15] 吳英傑ほか：“城中村”改造：尋求城市發展與經濟利益的協調，鄉鎮經濟，07，pp33-pp35，(2004)。
- [16] 易洪艷・野嶋慎二：中国西安市における城中村の賃貸化の実態に関する研究，日本都市計画学会中部支部第 18 回発表会，pp45-pp48，(2007)。
- [17] 易洪艷・野嶋慎二ほか：城中村の居住空間構成とその変容に関する研究—中国西安市西八里村の事例—，日本建築学会計画系論文集 605 号，pp109-pp117，(2006)。
- [18] 廖俊平ほか：PPP 模式与城中村改造，城市開發，03，pp52-pp53，(2005)。
- [19] 菅野博貢：社会の流動化に伴う中国の都市居住問題とその改善にむけて—雲南省昆明市の事例研究—，アジア経済，第 46 卷第 3 号，pp42-pp76，(2005)。

戸建て住宅の外観形態の構成に関する考察

笠島達夫* 桜井康宏**

A Study on the Composition of the Outside Form in Detached House

Tatsuo KASASHIMA* and Yasuhiro SAKURAI**

(Received February 5, 2010)

The external appearance of Japanese contemporary detached houses has produced a great variety of forms in recent years. This study tries to reveal how the kinds of exterior elements configure MASS, which creates an outline of building, on the transformation of housing appearance.

As the result, four types were extracted as the major forms according to the classification method we have devised. How many variety in appearance there may be, it is possible to classify into these four types.

Key Words : Detached house, Outside form, Mass, Elements

1. 研究の背景と目的

近年の戸建て住宅の外観形態は、工業化住宅に先導されたように多種多様な外観が出現している。

1920年代にW・グロピウスによって提案された乾式組立構造に影響を受けた市浦健らの建築家が、建築生産を工業的に量産する研究を行いパネル式組立工法を試作する。第二次世界大戦後、住宅不足から軍事産業の平和利用、とりわけその生産設備や材料を用いた住宅建設が重要な課題となった。また都市不燃化、不燃建築方式による住宅建設の研究が活発化し、戦災復興院の政府機関や民間機関により提案、試作されている。造船業や航空製造業などが工場生産住宅協会を発足、また建築家たちによる最小限住宅の試みが活発になった。

1950年代後半になると住宅公団が整備され、また民間では鉄道会社の不動産部が宅地整備を開始した。そして1960年代初めには建設省の後押しによりプレファブ建築協会が設立される。その後、現在の大手プレファブメーカーがほぼ出揃う。

1970年代の高度経済成長期になると、当初の平屋建て、限定プランからイージーオーダー商品となり、商品の多様化、高級化に伴い平面の凹凸化、外観及び屋根形状の多様化が進んできた^{[1][5]}。

戸建て住宅の外観形態は、1960年代後半から住宅部品の急速な普及と工業化住宅の発展により戸建て住宅のスタイルを大きく変化させた。現代において多種多様な外観形態が見られるようになった。

戸建て住宅の空間構成が作り出す形からイメージされるのは様式(洋風、和風など)による分類などがあるが、近年の住宅は部品の普及や様式の複合化などで分類することが難しい。

設計プロセスにおける外観形態の成立は、機能(プラン)と形(シェルト)の相互の調整の中で形成され、建物の輪郭を作り出すMASSが、どのような外形要素の構成で成立するか検討される。

本研究では戸建て住宅の外観形態の変容を先導してきた工業化住宅に着目し、外観形態の構成を明らかにすることを目的とする。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

これまでの外形やファサードを扱った研究には、大垣直明^[15] ^[20]らの住宅様式の地域性に関する研究、坂本一成らによる外形のイメージに関する研究^[9] ^[10]、外形ヴォリュームと室の配列に関する研究^[22]

* ELM建築設計室

** 福井大学大学院工学研究科建築建設工学専攻
教授・工博

* ELM architecture design office

** Prof., Graduate School of Eng., Fukui Univ., Dr. Eng

[23] , 確田智子の現代日本人の住宅像に関する研究 [13], 福島史乃らの住宅地景観と住み手の住宅デザイン観の研究 [24]がある。

これらは外観形態の地域的特性, 住宅のイメージ観, デザイン観に関する研究であり, また一連の外形ヴォリュームと室の関係に関する研究は, 「新建築」や「住宅特集」に掲載された様々な設計者による現代の住宅作品(RC又はS造)を対象に, 外部は建物の輪郭を形成するヴォリュームと, 内部の室をもとに, ヴォリューム(外形)と室の関係, 外形のヴォリュームに沿った室の配列, 外形ヴォリューム間にまたがった室の配列について類型化している。

そして外形と室配列から, 主室が内部空間を代表するもの, 同等な気積による全体をもつもの, 内外にわたる空間の従属が作りだされるもの, 外形により主室が断片化されるものといった内外の関係による構成を明らかにしている。

これに対し本研究は, 一般戸建て住宅を対象に, 建物の輪郭を形成するMASSがどのような外形要素の構成で成立するかという視点で考察するものである。

3. 研究の方法

建築の設計において, 居住空間を作り出すとき, 基本的単位となる要素の組み合わせにより形が構成される。

住宅の形^[8]は, 3次元のものを2つの2次元の構成要素に分けて考えるとき, 1つは「平面」で真上から見たとき壁で形作られた図形である。もう1つは「立面」で地表から見たとき, 壁, 屋根及びその他のディテールによって作られる図形である。

人間が生活する機能となる平面上の室^[18]が内部空間の単位となり, 組み合わせられプランが成立する。プランは室が線状や塊状につながり正方形や長方形の形を作り, また複雑なプランからL字, T字やU字の形を作る。

室(ユニット)のさまざまな形状の集合^[22]が立体的まとまりとしての塊(MASS)が外部空間の単位となる。この塊(MASS)を形成している各部位の要素は, 骨格となる構造, 覆いとなる屋根, 機能上必要な窓及び付加的機能のバルコニーやポーチである。そして屋根や壁などの物理的境界が作る形が多様な外観形態を作り出している。

そこで本研究では,

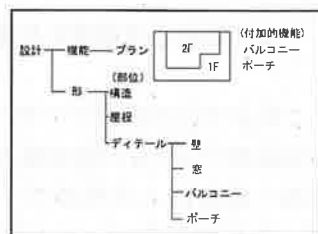


図1 外観構成のフロー

これらの構成要素の組み合わせによる外観形態の特徴に着目し, その構成に関する考察を行う。

3.1 分析資料

資料は1976年(S51)から2004年(H16)の「ニューハウス」(ニューハウス出版(株)及び1993年(H5)から2004年(H16)の「月間ハウジング」(リクルート), 及び一部「新建築1984臨時増刊」, 「工業化戸建住宅・資料」(建築学会)を使用した。

分析に使用した資料「ニューハウス」は, 一般戸建て住宅のPR雑誌であり, メーカーがその時代の商品をPRしている。また「月刊ハウジング」は90年代以降メーカーハウス専門誌として時代の商品を多く紹介している。以上2つの資料を, 時系列に捉えられる基本資料として採用した。

本稿では1970年代後半の高度経済成長期以降, 商品の多様化した外観を対象とし, また工業化住宅を先導してきた大手5社の主力商品に着目し整理した。これは, 1970年代前半までの外観は, 構造フレームのままの形態でデザイン性が特になく考えられるためである。また, 5社のうち1社は分社化によるものである。

そして, 上記雑誌に掲載された新商品と, 各社の資料から商品の年表を作成, その年代に掲載されている商品を照らし合わせた。

その結果, 外観写真のみのものは301棟あったが, 外観写真, 平面図及び面積の記載のある資料197棟を分析対象に用いた。なお, 3階建ては除外し(但し小屋裏部屋など外観上2階建の物は含んだ), 自由設計や地域限定商品は除外した。

以上の条件で選んだ資料を基に, 外観形態の特徴について分析を行う。

4. 外観形態の分類

内部空間の単位となる室は, モジュール(0.9m又は1.0mを1Pと定義する)の倍数を基準に4Px4P, 3Px4P, 2Px4Pなど数種類の高さを持った立体的ユニットが基本単位となり, 1階MASS及び2階MASSが形成され外観の骨格となる。次に覆いとなる屋根及びディテールが外観を構成する。

そこで, 本研究では, 外観形態を特徴づける主要な構成部位として以下の3つの要素に注目する。

- 1) 主MASS: 2階MASS
- 2) 屋根形状: 屋根の形状や架け方
- 3) ディテール: バルコニー, 窓, ポーチ, その他装飾

このうちバルコニーは外観形態の構成上, 1階MASSにもなり, その有無や形状が外観に大きく影

響すると考えられることから、本稿ではバルコニーを分析の対象とする。

4.1 主 MASS の分類 (図 2)

主 MASS は単 MASS と複 MASS に分類できる。さらに単 MASS は A: BOX 型に、複 MASS は B: L 型, C: T 型, D: その他 (凹型, 雁型, 他) の計 4 分類に細分化できる。

主 MASS の分類において 1 階 MASS の取付き方による分類を図 2 に示す。

BOX 型は屋根と正面垂直部の壁, 窓等の対比性とバルコニーの組み合わせに特徴がある。

L 型は突出した部分の幅と後部の幅の比によって垂直性, 水平性の強調が変わる。下屋は屋根を持つものとバルコニーを兼ねるものがあり, MASS とのバランス性を考慮した形態が特徴である。T 型は突出部が正面性及び垂直性に特徴がある。

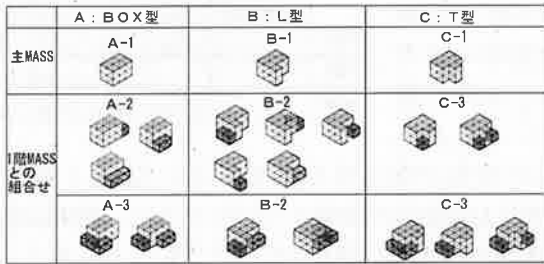


図 2 MASS タイプ

4.2 屋根の分類 (図 3)

屋根は大きく分けて, 1.寄棟屋根, 2.切妻屋根, 3.葺流し屋根, 4.陸屋根, 5.その他, の 5 分類とする。

寄棟屋根は, 軒が全て 1 直線となり, 壁との分節点を明確にし, どの立面も壁との分節点で垂直部の壁との対比性が強調される。切妻屋根は, 水平部分と三角部分による分節に特徴がある。特に水平部分が何重にも重なる屋根は水平強調の特徴となる。



図 3 屋根形状

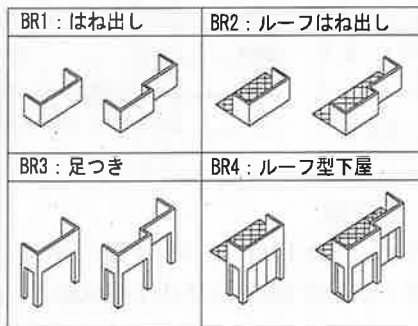


図 4 バルコニータイプ

4.3 デイテールの分類 (図 4)

デイテールはバルコニーについて BR1. はね出し, BR2. ルーフはね出し BR3. 足つき, BR4. ルーフ型下屋, の 4 分類とする。

5. 分類の特徴

5.1 MASS の特徴 (表 1)

主 MASS による分類では, BOX 型が最も多く 44.2% を占め, 続いて L 型が 42.6% と多い。L 型と BOX 型で 87% を占める。

主 MASS と 1 階 MASS の関係を見ると, BOX 型は A1(1 階 MASS が付かないタイプ)が多い。L 型は B3(1 階 MASS が前横に付くタイプ), B2(1 階 MASS が前に付くタイプ), B1(1 階 MASS が付かないタイプ), と均等に分布する。

表 1 MASS の特徴

主MASS	1階MASS	合計
A: BOX型	1: なし	49 (24.9%)
	2: 単(前 or 横付)	23 (11.7%)
	3: 複(前横付)	15 (7.6%)
	A計	87 (44.2%)
B: L型	1: なし	27 (13.7%)
	2: 単(前 or 横付)	26 (13.2%)
	3: 複(前横付)	31 (15.7%)
	B計	84 (42.6%)
C: T型	1: なし	8 (4.1%)
	2: 単(前 or 横付)	12 (6.1%)
	3: 複(前横付)	4 (2.0%)
	C計	24 (12.2%)
D計	2 (1.0%)	
合計	197 (100%)	

5.2 屋根の特徴 (表 2)

屋根による分類では寄棟屋根が 49.2% を占め, また切妻屋根は 29.4% で 2 つの屋根の種類が全体の 78% であった。

5.3 デイテール(バルコニー)の特徴 (表 3)

バルコニーは, 無しが 2 割, 有りが 8 割。そのうち, はね出し型(BR1)とルーフ型下屋(BR4)が多い。

表 2 屋根の特徴

寄棟屋根	97	49.2%
切妻屋根	58	29.4%
葺流し屋根	8	4.1%
陸屋根	22	11.2%
その他	12	6.1%
合計	197	100.0%

表 3 バルコニーの特徴

BR1	72	36.5%
BR2	15	7.6%
BR3	13	6.6%
BR4	53	26.9%
無	44	22.3%
計	197	100%

6. 形態の分析

6.1 時系列に見た規模, 型分類の特徴

年代的に見た規模は (表 4), 1970 年代後半から 1980 年代前半は, 規模は小さいものが多い。1980 年代前半になると数(18.8%)も多くなり, 規模も大きいものが増えてきた。

1990年代前半には数(25.4%)は最も多くなり、規模も大きいものが増えた(200㎡以上が14.7%)。そして1990年代後半も数、規模ともに増えている。

次に型分類の傾向を見ると、1980年代前半まではBOX型が多いが、1980年代後半になるとL型が多く現れる(表5)。一方、規模はBOX型が小さく、L型は大きいものが多い(表6)。屋根は寄棟屋根が1990年代前半から多くなり1990年代後半までに46.3%と約半数に及ぶ。切妻屋根は80年代前半から2000年前半まで一定した数であった。

表4 年代/規模

西暦	79.81~ 133.83 (~40坪)	134~ 149.75 (~45坪)	150.48~ 165.68 (~50坪)	170.37~ 189.0 (~60坪)	200.33~ 231.90 (~70坪)	236.32~ 327.51 (~102坪)	合計
70年代後半	17 (8.6%)	6 (3.0%)	1 (0.5%)	1 (0.5%)	2 (1.0%)		27 (13.7%)
80年代前半	12 (6.1%)	8 (4.1%)	8 (4.1%)	4 (2.0%)	3 (1.5%)	2 (1.0%)	37 (18.8%)
80年代後半	2 (1.0%)	3 (1.5%)	2 (1.0%)	4 (2.0%)	3 (1.5%)	2 (1.0%)	19 (9.6%)
90年代前半	3 (1.5%)	8 (4.1%)	6 (3.0%)	4 (2.0%)	16 (8.1%)	13 (6.6%)	50 (25.4%)
90年代後半	3 (1.5%)	7 (3.7%)	5 (2.5%)	8 (4.1%)	12 (6.1%)	8 (4.1%)	43 (21.8%)
00年代前半	3 (1.5%)	6 (3.0%)	2 (1.0%)	3 (1.5%)	6 (3.0%)	1 (0.5%)	21 (10.7%)
合計	40 (20.3%)	41 (20.6%)	24 (12.2%)	24 (12.2%)	42 (21.3%)	26 (13.2%)	197 (100.0%)

表5 屋根・型/年代

屋根 タイプ	MASS タイプ	70年代 後半	80年代 前半	80年代 後半	90年代 前半	90年代 後半	00年代 前半	合計
1 寄棟	A: BOX型	6 (3.0%)	10 (5.1%)	1 (0.5%)	12 (6.1%)	12 (6.1%)	2 (1.0%)	43 (21.8%)
	B: L型	3 (1.5%)	5 (2.5%)	4 (2.0%)	15 (7.6%)	10 (5.1%)	4 (2.0%)	41 (20.8%)
	C: T型			1 (0.5%)	4 (2.0%)	8 (4.1%)		13 (6.6%)
	1計	9 (4.6%)	15 (7.6%)	6 (3.0%)	31 (15.7%)	30 (15.2%)	6 (3.0%)	97 (49.2%)
2 切妻	A: BOX型	5 (2.5%)	8 (4.1%)	4 (2.0%)	1 (0.5%)	2 (1.0%)	3 (1.5%)	23 (11.7%)
	B: L型		5 (2.5%)	2 (1.0%)	9 (4.6%)	8 (4.1%)	5 (2.5%)	29 (14.7%)
	C: T型	1 (0.5%)		2 (1.0%)	2 (1.0%)		1 (0.5%)	6 (3.0%)
	2計	6 (3.0%)	13 (6.6%)	8 (4.1%)	12 (6.1%)	10 (5.1%)	9 (4.6%)	58 (29.4%)
3 葺流し		3 (1.5%)		2 (1.0%)	2 (1.0%)	1 (0.5%)	8 (4.1%)	
4 陸屋根		6 (3.0%)	6 (3.0%)	2 (1.0%)	2 (1.0%)	1 (0.5%)	5 (2.5%)	
5 その他		3 (1.5%)	3 (1.5%)	3 (1.5%)	3 (1.5%)			12 (6.1%)
合計		27 (13.7%)	37 (18.8%)	19 (9.6%)	50 (25.4%)	43 (21.8%)	21 (10.7%)	197 (100.0%)

表6 屋根・型/面積

屋根 タイプ	MASS タイプ	79.81~ 133.83 (~40坪)	134.0~ 149.75 (~45坪)	150.48~ 165.68 (~50坪)	170.37~ 189.0 (~60坪)	200.33~ 231.90 (~70坪)	236.32~ 327.51 (~102坪)	合計
1 寄棟	A: BOX型	9 (4.6%)	14 (7.1%)	8 (4.1%)	6 (3.0%)	7 (3.6%)	1 (0.5%)	43 (21.8%)
	B: L型	3 (1.5%)	6 (3.0%)	5 (2.5%)	7 (3.6%)	14 (7.1%)	6 (3.0%)	41 (20.8%)
	C: T型		3 (1.5%)	2 (1.0%)	1 (0.5%)	2 (1.0%)	5 (2.5%)	13 (6.6%)
	1計	12 (6.1%)	23 (11.7%)	13 (6.6%)	14 (7.1%)	23 (11.7%)	12 (6.1%)	97 (49.2%)
2 切妻	A: BOX型	13 (6.6%)	5 (2.5%)	2 (1.0%)	1 (0.5%)	1 (0.5%)	1 (0.5%)	23 (11.7%)
	B: L型		5 (2.5%)	2 (1.0%)	5 (2.5%)	10 (5.1%)	5 (2.5%)	29 (14.7%)
	C: T型		1 (0.5%)	2 (1.0%)	1 (0.5%)	1 (0.5%)		6 (3.0%)
	2計	13 (6.6%)	11 (5.6%)	8 (4.1%)	7 (3.6%)	12 (6.1%)	7 (3.6%)	58 (29.4%)
3 葺流し		2 (1.0%)	2 (1.0%)	1 (0.5%)	1 (0.5%)	1 (0.5%)	8 (4.1%)	
4 陸屋根		12 (6.1%)	2 (1.0%)	2 (1.0%)		3 (1.5%)	22 (11.2%)	
5 その他		1 (0.5%)	3 (1.5%)		2 (1.0%)	3 (1.5%)	3 (1.5%)	12 (6.1%)
合計		40 (20.3%)	41 (20.6%)	24 (12.2%)	24 (12.2%)	42 (21.3%)	26 (13.2%)	197 (100.0%)

6.2 屋根の形と MASS の組み合わせによる特徴

ここからは、屋根の形で最も多く見られた寄棟屋根と切妻屋根について特徴を分析する。

屋根がMASSと作り出す形態は、寄棟屋根と切妻屋根では違った特徴がある(表7)。

寄棟屋根とMASSとの組み合わせで最も多く見られるのがBOX型で、43棟(21.8%)次に多く見られるのがL型の41棟(20.8%)であった。

次に切妻屋根とMASSとの組み合わせをみると、L型の29棟(14.7%)がもっとも多く、次に多いのがBOX型の23棟(11.7%)であった。これらは屋根の水平性軸と屋根の重なりによる水平強調の特徴が強く見られる。次に屋根と型分類(MASS1,MASS2)の関係についてみると、寄棟屋根では、BOX型(A1)とL型(B3)タイプがもっとも多く、次にL型(B1)及び(B2)が多い。切妻屋根ではBOX型(A1)とL型(B2)とが多く、L型(B3)(B1)と続く。

表7 屋根/MASSタイプ

MASS 1	MASS 2	1:寄棟	2:切妻	その他	合計
A (BOX型)	1: なし	22 (11.2%)	14 (7.1%)	13 (6.6%)	49 (24.9%)
	2: 単(前 or 横付)	13 (6.6%)	4 (2.0%)	6 (3.0%)	23 (11.7%)
	3: 複(前横付)	8 (4.1%)	5 (2.5%)	2 (1.0%)	15 (7.6%)
	A計	43 (21.8%)	23 (11.7%)	21 (10.7%)	87 (44.2%)
B (L型)	1: なし	11 (5.6%)	8 (4.1%)	8 (4.1%)	27 (13.7%)
	2: 単(前 or 横付)	12 (6.1%)	12 (6.1%)	2 (1.0%)	26 (13.2%)
	3: 複(前横付)	18 (9.1%)	9 (4.6%)	4 (2.0%)	31 (15.7%)
	B計	41 (20.8%)	29 (14.7%)	14 (7.1%)	84 (42.8%)
C (T型)	1: なし	4 (2.0%)	3 (1.5%)	1 (0.5%)	8 (4.1%)
	2: 単(前 or 横付)	8 (4.1%)	2 (1.0%)	2 (1.0%)	12 (6.1%)
	3: 複(前横付)	1 (0.5%)	1 (0.5%)	2 (1.0%)	4 (2.0%)
	C計	13 (6.6%)	6 (3.0%)	5 (2.5%)	24 (12.2%)
D計			2 (1.0%)	2 (1.0%)	
合計		97 (49.2%)	58 (29.4%)	42 (21.3%)	197 (100%)

6.3 屋根・型とバルコニーの組み合わせによる特徴

外観の構成要素の分節でディテール、特にバルコニーの形態で特徴が変化する。屋根・型とバルコニーの組み合わせによる特徴を見てみると(表8)、1.寄棟屋根・BOX型はBR1(はね出タイプ)が多い。またバルコニーのないものも多い。ファサードの内部ユニットが示す窓とバルコニーのつりあいが特徴。

- 2.寄棟屋根・L型はBR4(ルーフ型下屋)が多い。
- 3.切妻屋根・L型はBR3(足付)及びBR4(ルーフ型下屋)が多い。

表8 屋根・型/バルコニー

屋根 タイプ	MASS タイプ	BR1	BR2	BR3	BR4	無	合計
寄棟	A: BOX型	15 (7.8%)	4 (2.0%)	2 (1.0%)	10 (5.1%)	12 (6.1%)	43 (21.8%)
	B: L型	15 (7.6%)	3 (1.5%)	6 (3.0%)	15 (7.6%)	2 (1.0%)	41 (20.8%)
	C: T型	6 (3.0%)			6 (3.0%)	1 (0.5%)	13 (6.6%)
	1計	36 (18.3%)	7 (3.6%)	8 (4.1%)	31 (15.7%)	15 (7.6%)	97 (49.2%)
切妻	A: BOX型	13 (6.6%)	1 (0.5%)		4 (2.0%)	5 (2.5%)	23 (11.7%)
	B: L型	8 (4.1%)	6 (3.0%)	1 (0.5%)	10 (5.1%)	4 (2.0%)	29 (14.7%)
	C: T型			2 (1.0%)	3 (1.5%)	1 (0.5%)	6 (3.0%)
	2計	21 (10.7%)	7 (3.6%)	3 (1.5%)	17 (8.6%)	10 (5.1%)	58 (29.4%)
3計 葺流し		4 (2.0%)		1 (0.5%)	2 (1.0%)	8 (4.1%)	
4計 陸屋根		6 (3.0%)			1 (0.5%)	15 (7.6%)	
5計 その他		5 (2.5%)	1 (0.5%)	1 (0.5%)	2 (1.0%)	3 (1.5%)	12 (6.1%)
合計		72 (36.5%)	15 (7.6%)	13 (6.6%)	53 (26.8%)	44 (22.3%)	197 (100.0%)

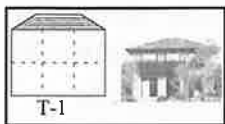
7. 代表的な外観構成のタイプとその特徴

7.1 代表的な外観構成のタイプ

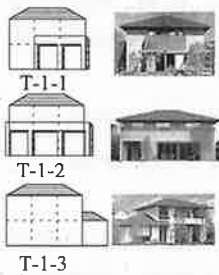
以上の分析により、戸建て住宅の外観形態の構成については4つのタイプとそのサブスタイルに分類できる。

タイプごとの特徴を以下に整理する。

(1)タイプ1：BOX・寄棟型 (43/197件)



タイプ1の特徴は、寄棟屋根と単 MASS の組み合わせでファサードを3列窓を基本とし、入口位置やバルコニーの幅により3分割の割合を0.5:2:0.5又は0.75:1:1のように変化させたもの。屋根とマッシブな形に、窓・バルコニーとのコントラストを考えた最も基本的な形と言える。面積の小さい初期の建物に多いが、近年には面積の大きい建物も多い。



サブスタイルは、前面に部分幅の箱型バルコニーが取り付く(T-1-1)、全幅のバルコニーが取り付け基礎壇型に見える(T-1-2)、下屋が取り付け基本 BOX とサブ BOX のコントラスト型(T-1-3)が多い。

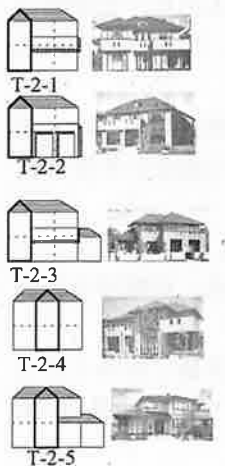
(2)タイプ2：L(T)・寄棟型 (41(13)/197件)



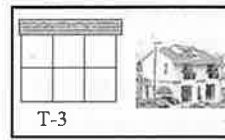
タイプ2の特徴は、寄棟屋根と MASS の組み合わせで特に2つ MASS がL型に交差したものと、T型に交差したもので、前面 MASS と背面 MASS の比は概ね2:1又は、1:2が多い。窓は各ユニットを明確に表し、縦強調が特徴と言える。

サブスタイルは前面 MASS の幅が1の縦強調 MASS に背面に水平強調のバルコニーが取り付けいたものが特徴。

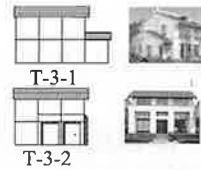
T型はL型の交差が特殊なものとして扱う。このタイプは中央に前面 MASS が配置され窓も縦に連続性を持たせ縦強調したシンボリックさが特徴と言える。



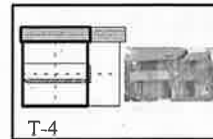
(3)タイプ3：BOX・切妻型 (24/197件)



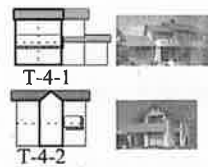
タイプ3の特徴は、切妻屋根と単 MASS の組み合わせでファサードの3分割を基本に、はね出しバルコニーが取付く形。外壁材や屋根根飾りにより様式建築スタイルもこのタイプと言える。最もベーシックなタイプとして普及している。サブスタイルは、下屋又はバルコニーが取り付け、基本 BOX とサブ BOX のコントラストが見られる。



(4)タイプ4：L(T)・切妻型 (28(6)/197件)



タイプ4の特徴は、切妻屋根の重なりによる多重屋根とバルコニーの組み合わせによる水平強調の形と言える。1・2階屋根のラインの強調ゆえ規模の大きいものが多い。



サブスタイルは下屋、バルコニーの1階のラインが追加され多重の水平強調の形。

屋根・MASSのT型交差が見られる。

7.2 代表的な外観構成のタイプの傾向

全体的な傾向について、年代、面積別に見てみると(付図1, 付図2)、次のことが指摘できる。

- 1.初期にはいろいろのバリエーションの形があったが寄棟屋根と切妻屋根に淘汰されている。
- 2.寄棟屋根で主 MASS が A: BOX 型と B: L 型が主流であったが、B: L 型, A: BOX 型, C: T 型と多様化している。
- 3.切妻屋根では A: BOX 型と B: L 型が多かったが、B: L 型が主流となってくる。特に90年代から多くなる。
- 4.タイプ別で見ると、BOX・寄棟型(T1)及びL・寄棟型(T-2-3)が最も多く、次にBOX・切妻型(T3)及びL・切妻型(T-4)が多く
5. BOX 型 (BOX・寄棟, BOX・切妻) は80年代後半までは小規模の傾向であったが90年代になると大きい規模になっている。

8. まとめ

本稿の分析により明らかとなった知見をまとめると以下のである。

- ① 戸建て住宅の外観は、一見すると多種多様に見えるものの、今回考案した外形要素の分類方法によって4つの主たるタイプに分類できることを明らかにした。
- ② 特に中心的なものは、BOX・寄棟型(T1)及びL(T)・寄棟型(T-2-3)であった。

ただし年代的には、80年代まではBOX型が多く規模も小さいものも多く見られたのに対し、90年代になるとL型が多くなり規模も大型化してくる。

こうした変容の要因としては、家族構成の変化によりニーズが大型化してくる中で、建築の形はBOX型を基本としつつも、主MASSの複数化からL型が現れたと推察される。そしてその際、屋根、MASS及びバルコニーの要素の組み合わせによるデザイン性も重視されたものと考えられる。

本論文では、今日に至る外観の基本スタイルの構成について明らかにしたが、外観のデザイン性に関する考察はなされていない。

今後の課題として、基本スタイルが出来る過程において、デザインがどうかかわるかを明らかにする必要がある。

参考文献

- [1] 松村秀一：工業化住宅・考，学芸出版社，1987
- [2] 松村秀一：「住宅」という考え方，東京大学出版会，1999
- [3] 本間義一：住宅，日本経済評論社，1987
- [4] 新建築社，4月臨時増刊(住宅の工業化は今)，1984
- [5] 新建築社，12月臨時増刊，1995
- [6] 日本建築学会編，工業化戸建住宅・資料，1952
- [7] 日本建築学会編，工業化住宅の工法計画，1953
- [8] VIRGINIA&LEE MCALESTER, A FIELD GUIDE TO AMERICAN HOUSES,
- [9] 坂本一成・遠藤信行，建築の形象での図像性に関する研究，建築学会計画系論文 No351(S60.5)，No356(S60.10)，No361(S61.3)
- [10] 岩岡竜夫・坂本一成，商品化住宅の外形における図像的イメージ，建築学会計画系論文 No380(S62.10)
- [11] 若山滋・山田祥裕・渡辺勝彦・島岡達雄，構法様式および形態各要素の分布に関する研究，建築学会計画系論文 No369(S61.11)
- [12] 荒井一弘・藤沢好一，木造戸建て住宅の外観に関する考察(住宅メーカーの住宅タイプとその特徴)，建築学会梗概集 1993.9(関東)
- [13] 碓田智子，現代日本人の住宅像に関する研究 1994 学位論文
- [14] 小池美和子・玉置伸悟・長谷川洋，福井都市圏における戸建て分譲住宅プランの変容過程に関する研究，建築学会梗概集 1995.8(北海道)
- [15] 大垣直明・谷口尚弘，戸建新築住宅における住宅様式の地域性に関する研究 I, II, III, 建築学会梗概集 1994.9(東海)・1995.8(北海道)・1997.9(関東)
- [16] 塚本由晴・坂本一成，現代日本の住宅作品における空間の文節と接続，建築学会計画系論文 No465(1994.11)
- [17] 塚本由晴・繁昌朗・坂本一成，現代日本の住宅作品における外部空間の文節と統辞，建築学会計画系論文 No470(1995.4)
- [18] 塚本由晴・坂本一成，現代日本の住宅作品における空間の分割，建築学会計画系論文 No478(1995.12)
- [19] 塚本由晴・奥矢恵・坂本一成，住宅作品における架構表現による構成単位の文節，建築学会計画系論文 No480(1996.2)
- [20] 谷口尚弘・大垣直明，新築戸建て住宅における様式・材料の普及構造に関する研究，建築学会計画系論文 No519(1996.5)
- [21] 中井邦夫・坂本一成，現代日本の市庁舎建築における空間構成と用途の文節，建築学会計画系論文 No519(1996.5)
- [22] 中井邦夫・大内靖志・小川次郎・坂本一成，現代日本の建築作品における室の集合と外形構成計画系論文 No528(2000.2)
- [23] 小川次郎・小野田環・坂本一成，外形ヴォリュームと室の配列による建築の構成，建築学会計画系論文 No537(2000.11)
- [24] 福島史乃・宇野浩三，住宅地景観と住み手の住宅デザイン観，建築学会計画系論文 No541(2001.3)

屋根	寄棟屋根									切妻屋根									葺流し			陸屋根				その他																					
	A			B			C			1計	A			B			C			2計	A	B	C	3計	A	B	C	D	4計	A	B	C	5計														
西暦	1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	1	1		1	1	1	1		1	1	1		1	1	1	1										
1976										5										2												3			1												
1977										2										3				1								2															
1978										1														2								1			1												
1979										1										1												1															
70年代後半	6			3						9	5			1			6			1	1	1	3	6			6	2	1	3	27																
1980										3										1												3			1												
1981										7										5												1															
1982										1										1																											
1983										2										6												1			1												
1984										2																						1			1												
80年代前半	10			5						15	9			4			13							3	2	1	6	3		3	37																
1985										1										2																											
1986										3										3												1															
1987										1										2												1			3												
1988										1										1																											
80年代後半	1			4			1			6	4			2			2			8				2	2			2	1	2	3	19															
1990										4																						2															
1991										3										2																											
1992										1										4				1																							
1993										13										4																											
1994										10										2				1																							
90年代前半	12			15			4			31	1			9			2			12	1	1		2	1	1		2	2	1	3	50															
1995										7										2																											
1996										5										3																											
1997										5																						1															
1998										8										2																											
1999										5										3				2																							
90年代後半	12			10			8			30	2			8			10			2			2				1	1			43																
2000										3										5												1															
2001										2										2																											
2002										2														1																							
2003										1										2												1															
2004																																3															
2000年代前半	2			4						6	3			5			1			9	1	1		3	1	1		5				21															
										43											97											58	2	5	8	14					22	5	5	2	12	197	
T1 (20)			T1-1 (5)			T1-2 (3)			T1-3 (9)			T2 (3)			T2-1 (11)			T2-2 (3)			T2-3 (20)			T2-4 (6)			T2-5 (6)			T3 (12)			T3-1 (4)			T3-2 (2)			T4 (13)			T4-1 (7)			T4-2 (5)		

付図2 時系列に見るタイプ別商品

CFD 解析による福井大学文京キャンパス内の風環境評価に関する研究

吉田 伸治*

高橋 祐輔**

Study on Evaluation of Wind Environment within Bunkyo Campus of University of Fukui Using CFD Analysis

Shinji YOSHIDA*

Yusuke TAKAHASHI**

(Received March 2, 2010)

The purpose of this study is to investigate wind environment within Bunkyo Campus of University of Fukui by means of the Computational Fluid Dynamics. The wind environment is evaluated using the scale for assessment including the effect of air temperature at the pedestrian level. Through the study, it was found that the installation of arcades near the Integral Research Building enables us to improve the wind environment.

Key Words : Computational Fluid Dynamics (CFD), Wind Environment, Arcade

1. はじめに

福井大学文京キャンパスでは 2002 年に総合研究棟 I (南部), 総合研究棟 II, 2004 年 VBL, 2008 年には総合研究棟 I (北部)と竣工させ, 高層化・高密度化が進められている. 特に総合研究棟 I は 13 階建と福井市でも有数の高さを有しており, 本学の新たなシンボリック的存在である反面, その周辺ではビル風による風環境の悪化が指摘されている. 文京キャンパスは本学教職員のあらゆる活動の中心であり続けると考えると, このビル風問題の対策は快適なキャンパス空間創出を考える上で急務な課題と言える. 本研究では数値流体物理学 CFD (Computational Fluid Dynamics) 解析に基づく数値解析^[1]により本学文京キャンパス内の風環境の形成メカニズムを明らかにすることを目的とする. また, 本稿では冬季におけるキャンパス内メインストリートの風環境改善の対策として防風用アーケードを設置する場合の効果についても検討する.

2. 解析概要

2.1 解析対象

解析対象は福井大学文京キャンパスである. 図 1 に文京キャンパスの平面図を示す. なお, キャンパス全体の風環境を分析するため, その形成に寄与す



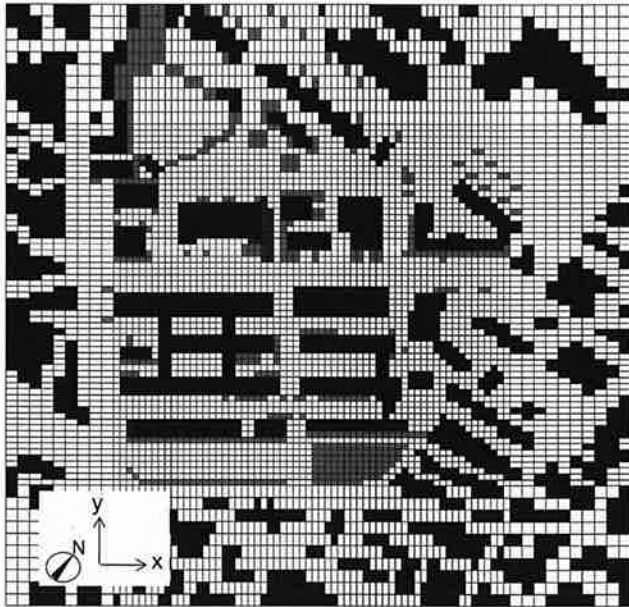
図 1 解析対象

* 建築建設工学専攻

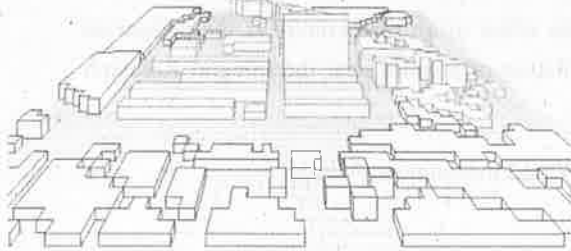
** 名古屋大学大学院環境学研究科

* Architecture and Civil Engineering Course,
Graduate School of Engineering

** Graduate School of Environmental Studies,
Nagoya University



(1) 平面図



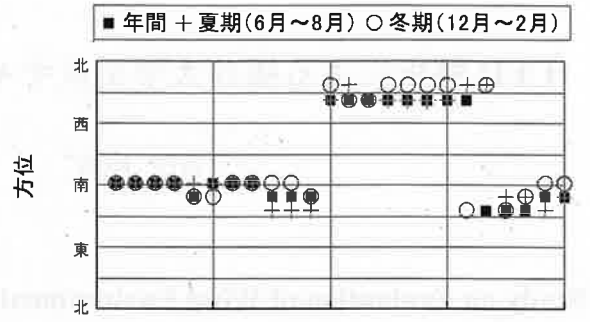
(2) 鳥瞰図 (南東方向より望む)

図2 解析領域のグリッドデザイン

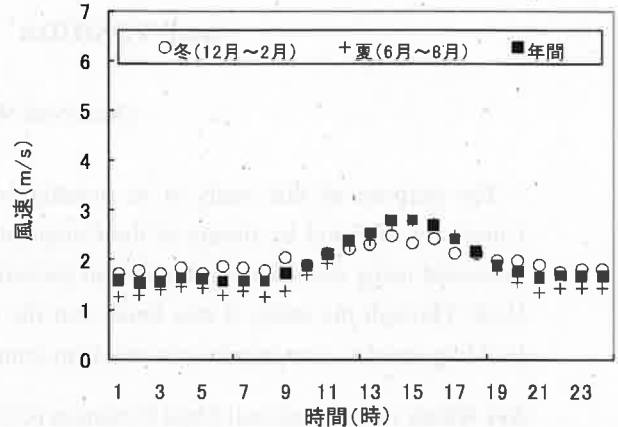
る周囲の住宅地, 芦原街道付近も含んだ領域を設定する. 図2にCFD解析のために設定したグリッドデザインを示す. 解析領域の大きさはx方向770m, y方向810m, z(鉛直)方向460mとし, メッシュの総分割数は265,236 (93(x)×92(y)×31(z))とする.

2.2 解析条件

冬季日中(午後2時頃)を対象日時と想定する. 気象条件は, 拡張アメダス気象データ^[1]の福井(標準年)を参考に設定した. 参考として, 図3に風向ならびに風速の季節毎の時間変化を示す. 年間を通じて夜間および午前中には南または南東から, 日中は北西からの風向を示すことが分かる. 本解析では, ビル風による日中における街路内の歩行並びに温熱環境悪化の影響分析を目的とするため, 冬季日中(12時~18時頃)の主風向の北西(NW), 準主風向の北(N)を対象とした解析を行う. 風速については, 高さ6.5m (H_b)で2.3m/s (U_b)となることを基準に地上高さの1/4乗に比例するプロファイルを与えた ($U(z) = U_b \times (z/H_b)^{0.25}$). なお, 本解析では冬季を対象とするため夏季に比べて気温の空間分布が小さいと判断し, 気温は空間一様に3°Cと想定した.



(1) 季節毎の風向の時間変化



(2) 季節毎の風速の時間変化

図3 福井市の冬季風向の風配図

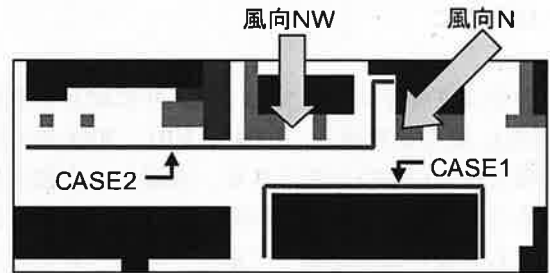


図4 解析ケース(アーケードの配置)

2.3 解析ケース

本解析では, まず前節に示した二つの風向(NW, N)を対象とした現状の風環境評価を行う. さらに, 現状に対する対策案として文京キャンパス内メインストリート歩道にアーケードを設置することを想定し, その効果を評価する. 図4に本解析で想定するアーケードの設置位置を示す. 総合研究棟近傍に設置する場合をCASE1, 大学会館前から生協までを含む歩道に設置する場合をCASE2として, 各々の評価を行う. なお, アーケードは高さ3m, 幅5mに設定する.

2.4 乱流モデル

建物風上側コーナーにおける乱流エネルギー k の過剰生産を抑制する改良Launder-Katoモデル^[2]を組み込んだ改良型 $k-\epsilon$ モデルを使用した. 解析手法の詳細は文献3を参照されたい.

2.5 結果の評価

村上・森川らが文献 4 で提案する気温の影響を考慮した風環境評価尺度 (図 5) を採用する。本解析では解析領域内の気温は 3°C で一様と想定するため風速 1.4m/s 以下を適風域, 1.4m/s 以上 1.9m/s 未満を中間域, 1.9m/s 以上を強風による非適風域と判断する。具体的には領域内の高さ 1.3m における水平方向各メッシュの風速に対して上記の 3 段階評価を適用して風況マップを制作する。

3. 解析結果

3.1 風向北西 (NW) 時の風環境評価

図 6 に解析領域全体の高さ 1.3m における風速ベクトルの水平分布を, また総合研究棟周辺の結果を

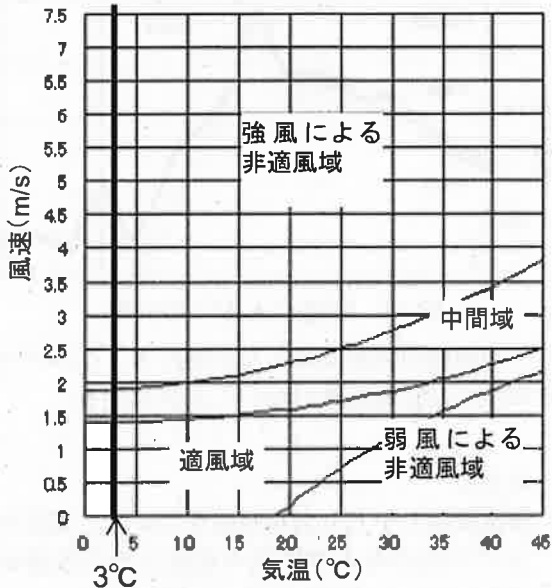


図 5 気温の影響を考慮した風環境評価尺度

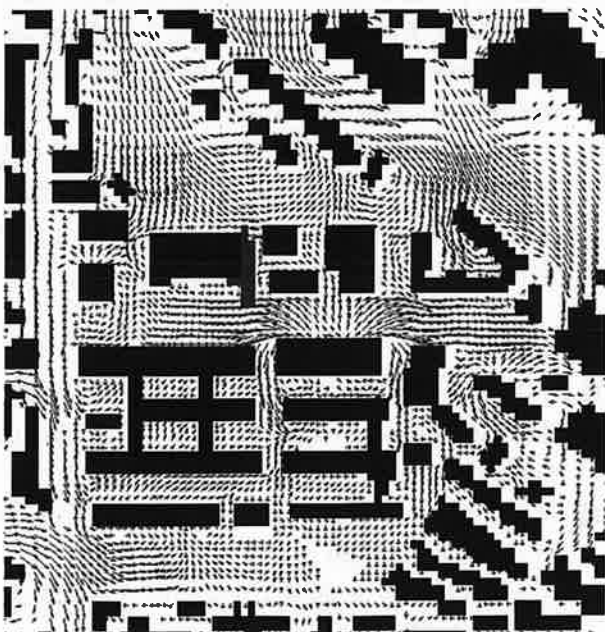


図 6 風速ベクトルの水平分布 (風向 NW, 高さ 1.3m)

拡大表示したものを図 7 に示す。日本海側から福井平野に流入する季節風の影響により, 解析領域北西から風が流入し, 図書館の北西の角で分離する。総合研究棟に対しては北西側壁面正面より風が衝突するため, 北西・北東の両コーナーを中心に剥離に伴う強風域が生じる。その結果得られる風況マップを図 8 に示す。上述の二つのコーナーを中心に非適風域が生じ, 適風と非適風の中間となる領域は工学部 1 号館近傍から産学官連携本部 (地域共同研究センター) 前まで広がる。次に本解析で想定する対策ケ

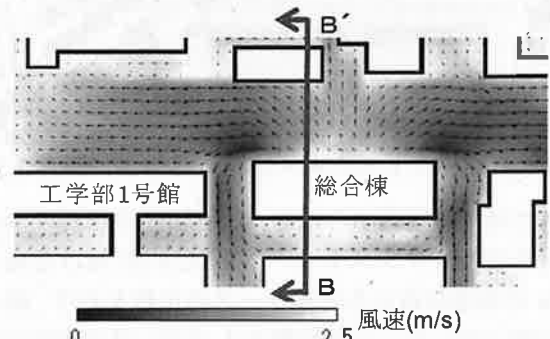


図 7 風速ベクトルの水平分布 (総合棟周辺, 風向 NW, 高さ 1.5m)



図 8 総合棟周辺の風況マップ (風向 NW, 現状)

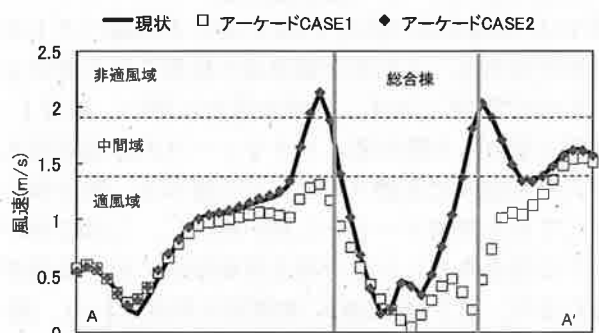


図 9 風速の A-A' 上の分布

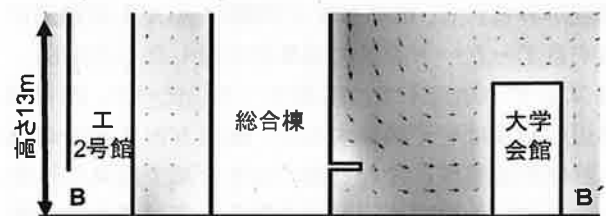


図 10 風速ベクトルの鉛直分布 (風向 NW, CASE1)

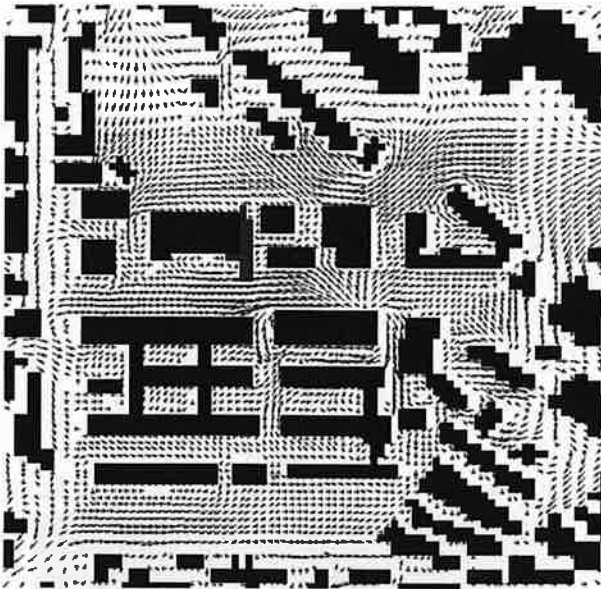


図11 風速ベクトルの水平分布 (風向N, 高さ1.3m)

ースの効果を検証するため、図9に総合棟隣の歩道付近を含むメインストリート上(A-A')における高さ1.3mの風速分布の各対策ケースの比較を示す。総合棟近傍にアーケードを配置するCASE1では現状に比べ風速が大きく減少する。これは図10に示す総合棟近傍の地表付近の風速ベクトルの鉛直分布(B-B')より明らかな様に、設置されるアーケードが上方からの吹き降ろしを遮蔽するためであり、A-A'上のほぼ全ての領域で適風域へと改善がみられる。一方、大学会館そばの歩道にアーケードを設置するCASE2ではその効果は殆ど表れない。これはアーケードの設置の有無に関わらず総合棟からの吹き降ろしが地表付近に直接到達するためである。

3.2 風向北(N)時の風環境評価

図11に領域全体の高さ1.3mにおける風速ベクトルの水平分布を、また総合棟周辺の結果を拡大表示したものを図12に示す。風向の変化に伴い、教育1号館と教育2号館の間よりキャンパス内に風が流入し大学生協の北東側コーナーで分離する。総合棟に対しても北東側コーナーに風が衝突し、これに伴い生じる吹き降ろしと総合棟北西側壁面に沿う気流が合わさり、風下側(西側)に強風域が形成される。図13に示す風況マップにおいても、総合棟北西コーナー付近から工学部1号館前まで広がる非適風域、中間域がみられる。風向NWと同様にA-A'上の風速に対するアーケード設置の効果を比較したものを図14に示す。CASE1では現状ケースに比べて、総合棟周辺の風速はやや減少するが、風向NWの場合の様に評価が適風域に変わる程の大きな減少は見られない。これは強風の原因が吹き降ろしだけでなく、総合棟側壁面に沿う気流の影響が大きいことを示している。また、風向NWと同様にCASE2ではアー



図12 風速ベクトルの水平分布 (総合棟周辺, 風向N, 高さ1.5m)

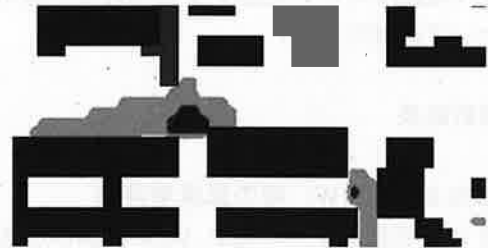


図13 総合棟周辺の風況マップ (風向N, 現状)

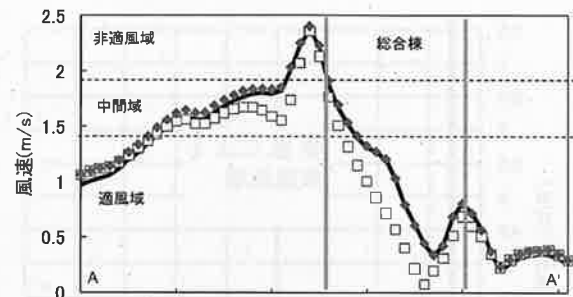


図14 風速のA-A'上の分布

ケードの設置の効果はほとんど表れず、このアーケード単独では防風効果がないことがわかる。

4. まとめ

- (1) 数値流体力学CFD解析技術を用いて、文京キャンパス内の冬季風環境の現状とその改善のためのアーケードの設置効果を分析した。
- (2) 冬季日中の総合棟周りの風環境は同建物に対する気流の衝突ポイントによって大きく変化する。
- (3) 風環境改善のためにアーケードを設置する場合、総合棟近傍に設置するのが最も有効である。しかし、風向Nの場合、風向NWの場合に比べてその緩和効果は小さくなるため、この対策のみでは不十分であり、常緑樹の効果的な配置をはじめとする対策が必要であることが示唆された。

参考文献

- [1] 日本建築学会編, 拡張アメダス気象データ (2000).
- [2] Kato M., Launder, B.E., Prep. of 9th Symp. on Turbulent shear flow, 10-4-1-6 (1993).
- [3] 村上, CFDによる建築・都市の環境設計工学, 東京大学出版会(2000).
- [4] 村上, 森川, 第6回風工シンポジウム論文集, 219-226(1982).

様々な嵩高い置換基を有する ポリ(パラフェニレンビニレン)膜の合成とその気体透過性

小出 洋平* 阪口 壽一* 橋本 保*

Synthesis of Poly(*p*-phenylenevinylene) Membranes Having Various Bulky Substituents and Their Gas Permeability

Yohei KOIDE*, Toshikazu SAKAGUCHI*, and Tamotsu HASHIMOTO*

(Received January 14, 2010)

The polymerizations of 2,5-bis(4-trimethylsilylphenyl)-1,4-bis(bromomethyl)benzene (**1a**), 2,5-bis(4-dimethyloctylsilylphenyl)-1,4-bis(bromomethyl)benzene (**1b**), and 2-[2,5-bis(2-ethylhexyloxy)phenyl]-1,4-bis(bromomethyl)benzene (**3c**) were carried out with *t*-BuOK to give the corresponding poly(*p*-phenylenevinylene)s [PPVs] (**2a**, **2b**, and **4c**, respectively). The polymer (**2a**) was insoluble in any solvents, while the polymers (**2b** and **4c**) were soluble in organic solvents. The weight-average molecular weights of **2b** and **4c** were as large as 316,800 and 256,500, respectively. The oxygen permeability coefficients (P_{O_2}) of membranes of **2b** and **4c** were 12.0 and 6.2 barrers, respectively. The oxygen permeability of **2b** was almost the same as that of poly(2-dimethyloctylsilyl-*p*-phenylenevinylene) which is the known polymer. This indicates that phenyl groups of side chain induce the polymer chain packing although octylsilyl groups should increase gas permeability.

Key Words : Poly(phenylenevinylene), Thermal Stability, Membrane, Gas Permeability, Selectivity

1. 緒言

近年、高分子膜を用いた気体の分離技術は地球温暖化などの環境問題や省エネルギーの観点から実用化が求められている技術であり、現在までに置換ポリアセチレン、ポリイミド、ポリスルホンなど様々な種類の高分子が合成され、気体分離膜材料への応用が検討されてきた。^{[1]~[4]}これらの研究から高分子膜が高い気体透過性を示すためにはポリマー主鎖が芳香環、二重結合、三重結合といった剛直な成分から成り立っていること、且つ嵩高い置換基を有していることが重要であることが分かってきた。^{[5]~[7]}主鎖骨格が剛直であることで嵩高い置換基によって形

成される大きな分子間隙を維持することが可能となり、結果として高い気体透過性を示す。

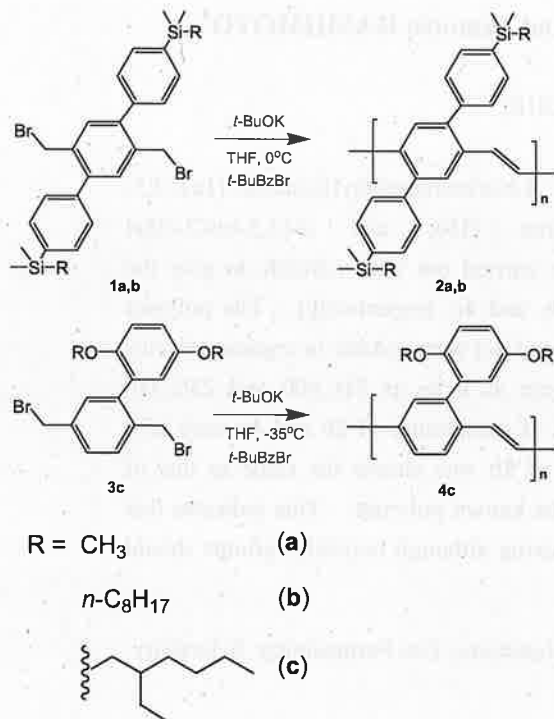
これらの知見から我々はポリ(パラフェニレンビニレン)[PPV]誘導体に着目した。PPV 誘導体はその高い光・電子機能から主に有機 EL 材料として広く研究がなされてきており、現在有機 EL 発光素子として応用されている。^{[8]~[12]}しかし、気体分離膜材料としての研究は行われていない。PPV 誘導体は主鎖骨格が芳香環と二重結合から成り立っており剛直な主鎖成分を有している。したがって芳香環に嵩高い置換基を導入すればポリマー鎖間のパッキングを妨げ、膜状態において大きな分子間隙を保有でき、ポリマー膜は高い気体透過性を示すことが期待できる。また熱的安定性、薄膜形成能、ポリマーの加工性も優れており、気体分離膜材料に適している。

非多孔質ポリマー膜への気体の透過は、ポリマー膜中への気体の溶解と拡散という 2 つの機構を通して起こる。気体の溶解度はそれぞれの気体によって

* 工学研究科材料開発工学専攻

* Materials Science and Engineering Course, Graduate School of Engineering

決まっているので、膜の気体透過性を左右するのは気体の拡散係数である。気体の拡散係数はポリマーの構造によって決まるので、本研究で扱われているような気体透過性が知られていないポリ(パラフェニレンビレン)類の気体透過性を調べることは非常に重要である。そこで本研究では、新規気体分離膜材料の開発を目的としてシリルフェニル基を有する PPV 誘導体、およびアルコキシシリルフェニル基を有する PPV 誘導体を合成し(Scheme 1), そのポリマー膜の気体透過性を調べた。



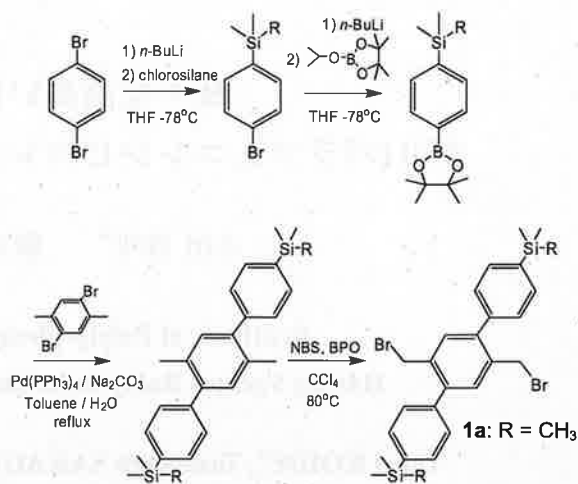
Scheme 1 Gilch polymerization

2. 実験

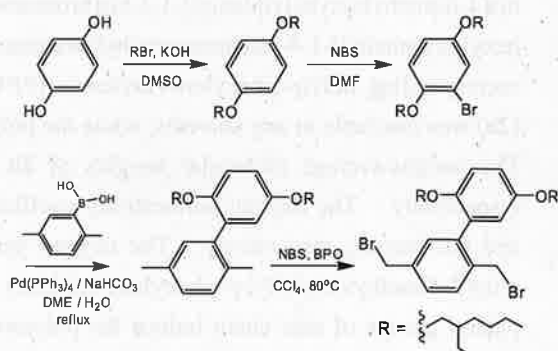
2.1 試薬

モノマーである 2,5-ビス(4-トリメチルシリルフェニル)-1,4-ビス(プロモメチル)ベンゼン(1a), 2,5-ビス(4-ジメチルオクチルシリルフェニル)-1,4-ビス(プロモメチル)ベンゼン(1b), 2-(2,5-ビス(2-エチルヘキシロキシ)フェニル)-1,4-ビス(プロモメチル)ベンゼン(3c)は文献を参考にして合成スキームのように合成し(Scheme 2, Scheme 3), カラムクロマトグラフィーにより精製した。^{[13],[14]}

重合溶媒であるテトラヒドロフランは水素化リチウムアルミニウム上で 1 回蒸留した後、褐色アンブル管に小分けして保存した。その他の試薬は市販品をそのまま使用した。



Scheme 2 Synthesis of monomer (1a), (1b)



Scheme 3 Synthesis of monomer (3c)

2.2 重合

2.2.1 モノマー(1a)の重合

重合は窒素雰囲気下で行った。200mL のナス型フラスコに滴下ロート、三方コックを取り付け、その中にモノマー初濃度を 20mM に調製したモノマーのテトラヒドロフラン溶液入れた。そして分子量調節剤として *p-t*-ブチルベンジルブロミド(*t*-BuBzBr)を 4mM 添加した。^[15]次に 50mL のナス型フラスコに三方コックを取り付け、その中に塩基である *t*-BuOK を入れた後、テトラヒドロフランに溶解させ、塩基初濃度 70mM のテトラヒドロフラン溶液を調製した。そしてモノマー溶液をアイスバスで 0°C に冷却した。十分に冷却されたら塩基溶液を滴下ロートを用いて 30 分かけてゆっくりとモノマー溶液へと滴下させて攪拌することで重合を開始させた。重合はポリマーがゲル化または不溶部が析出してきたので 15 分程度で多量のメタノールに再沈殿することで停止させた。メタノール不溶部をメタノール、アセトンで十分に洗浄し、ろ過により回収し、デジケータ内で真空乾燥した。

2.2.2 モノマー(1b)の重合

重合は窒素雰囲気下で行った。200mL のナス型フラスコに滴下ロート，三方コックを取り付け，その中にモノマー初濃度を 15mM に調製したモノマーのテトラヒドロフラン溶液入れた。そして分子量調節剤として *t*-BuBzBr を 1.5mM 添加した。次に 50mL のナス型フラスコに三方コックを取り付け，その中に塩基である *t*-BuOK を入れた後，テトラヒドロフランに溶解させ，塩基初濃度 60mM のテトラヒドロフラン溶液を調製した。そしてモノマー溶液を 0°C に冷却した。十分に冷却されたら塩基溶液を滴下ロートを用いて 30 分間かけてゆっくりとモノマー溶液へ滴下させ，攪拌することで重合を開始させた。重合は 0°C で 1 時間攪拌し徐々に反応溶液の色が黄緑色の強い蛍光を呈してきて，溶液の粘度が出てきたら，反応後の溶液を多量のメタノールに再沈殿することで重合を停止させた。メタノール不溶部をメタノール，アセトンで十分に洗浄し，ろ過により回収してクロロホルムに溶解させた。生成ポリマーが完全にクロロホルムに溶解したら，再び多量のメタノールとアセトンの 1 対 1 の混合溶媒へとポリマー溶液を再沈殿させた。メタノール，アセトン不溶部をろ過により回収し，メタノール，アセトンで十分に洗浄しデジケーター内で真空乾燥した。

2.2.3 モノマー(3c)の重合

重合は窒素雰囲気下で行った。200mL のナス型フラスコに滴下ロート，三方コックを取り付け，その中にモノマー初濃度を 22mM に調製したモノマーのテトラヒドロフラン溶液入れた。そして分子量調節剤として *t*-BuBzBr を 22mM 添加した。次に 50mL のナス型フラスコに三方コックを取り付け，その中に塩基である *t*-BuOK を入れた後，テトラヒドロフランに溶解させ，塩基初濃度 132mM のテトラヒドロフラン溶液を調製した。そしてモノマー溶液をアセトンアイスバスで -35°C に冷却した。十分に冷却されたら塩基溶液を滴下ロートを用いて 30 分間かけてゆっくりとモノマー溶液へ滴下させ，攪拌することで重合を開始させた。重合は -35°C で 2 時間攪拌し徐々に反応溶液の色が黄緑色の強い蛍光を呈してきて，溶液の粘度が出てきたら，反応後の溶液を多量のメタノールに再沈殿することで重合を停止させた。メタノール不溶部をメタノール，アセトンで十分に洗浄し，ろ過により回収してクロロホルムに溶解させた。生成ポリマーが完全にクロロホルムに溶解したら，再び多量のメタノールとアセトンの 1 対 1 の混合溶媒へとポリマー溶液を再沈殿させた。メタノール，アセトン不溶部をろ過により回収し，メタノール，アセトンで十分に洗浄しデ

ジケーター内で真空乾燥した。

2.3 自立膜の調製

ポリマーのクロロホルム溶液を調製し，ガラスフィルターでろ過してガラスシャーレに移した。室温で数日間放置し溶媒を自然蒸発させ，完全に溶媒が蒸発したらシャーレからポリマー膜を剥がしてメタノールに 1 日浸し，再度ポリマー膜を乾燥させた。

2.4 測定

生成ポリマーの分子量分布はゲルパーミエーションクロマトグラフィー(GPC)を用いて測定した。標準ポリスチレンによって作成した検量線から数平均分子量(M_n)，重量平均分子量(M_w)，多分散度(M_w/M_n)をポリスチレン換算で求めた。GPC は，本体に島津 LC-10AD，3 本のゲルカラム (Shodex K-805 × 1 本, K-804L × 3 本)，屈折率検出器に島津 RID-6A，溶媒にクロロホルムを用いて行った。

核磁気共鳴スペクトル(NMR)は，JEOL，LA-500，FT-NMR 分光計で溶媒に重水素化クロロホルムを用いて室温で測定した。

示差熱重量測定(TG-DTA)は RIGAKU Thermo Plus DCS 8230L を用いて測定した。

膜密度は，ポリマー膜の硝酸ナトリウム水溶液中での浮力を測定して膜の体積を計算し，膜密度を測定した。

気体透過性は，本体に気体透過測定装置(理化精機工業株式会社，K-315-N)を用いて乾燥した窒素，酸素，二酸化炭素の透過速度を常温(25°C)で測定した。

3. 結果と考察

3.1 モノマー(1a),(1b),(3c)の重合

すべてのモノマーの重合結果及び得られたポリマーの分子量を Table 1 に示す。モノマー(1a)は 0°C，-35°C で重合を行ったが，得られたポリマー(2a)はあらゆる溶媒に不溶であった。モノマー(1b)，(3c)

Table 1 Molecular weights of the polymers

	M_w	M_w / M_n
polymer(2a)	insoluble	
polymer(2b)	316,800	26.4
polymer(4c)	256,500	5.7

から得られたポリマー(2b), (4c)は重量平均分子量がそれぞれ 316,800, 256,500 と可溶性の高分子量ポリマーでありクロロホルムを溶媒に用いたキャスト法により丈夫な自立膜を調製することができた。ポリマー(2b)の多分散度が大きいのは再沈殿により生成したオリゴマーを十分に除けなかったためであると考えられる。

得られたポリマー(2b), (4c)の $^1\text{H-NMR}$ スペクトルを測定し、その結果を Figure 1, Figure 2 に示した。どちらのポリマーもその構造に由来するピークが観測され積分比も一致したことから、目的の構造のポリマーが合成できたことを確認した。

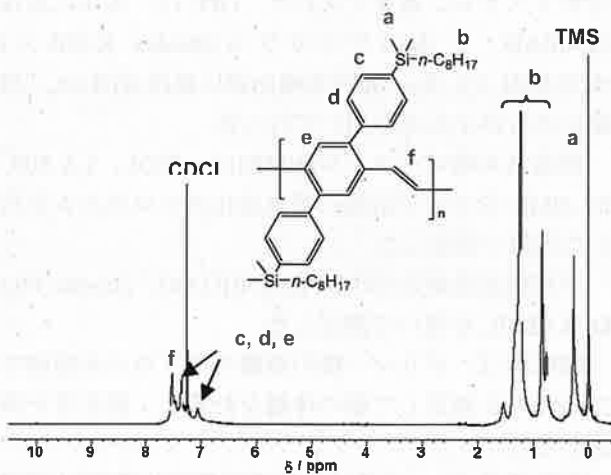


Figure 1 $^1\text{H-NMR}$ spectrum of polymer(2b)

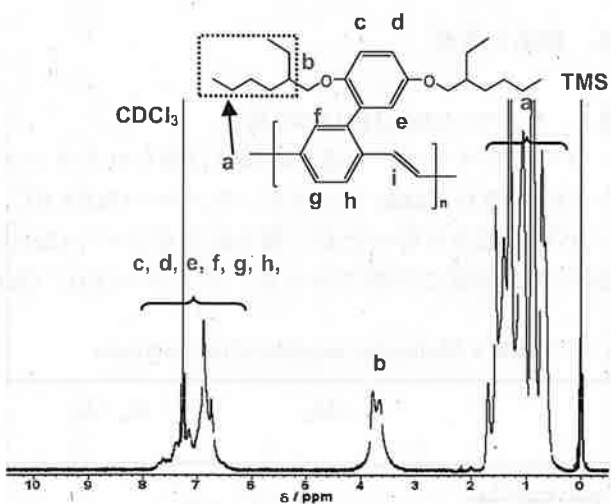


Figure 2 $^1\text{H-NMR}$ spectrum of polymer(4c)

また、元素分析により自立膜を調製することができたポリマー(2b), (4c)の構造組成を調べ、その結果

を Table 2 に示した。いずれのポリマーも元素分析から臭素の成分が確認でき、完全に脱ハロゲン化水素反応が進行していないことが分かった。しかし、臭素含量から計算すると二重結合が形成されていないユニットはどちらのポリマーも共に 10%以下であることが分かった。

Table 2 Structural composition of polymers^{a)}

R		
DMOSP	90%	10%
R		
BEHP	94%	6%

a) Calculated from bromine content measured by elemental

3.2 ポリマーの溶解性

重合により得られたポリマーの溶解性を Table 3 に示す。トリメチルシリル基を有するポリマー(2a)は一般的な有機溶媒にすべて不溶であった。しかし、ジメチルオクチルシリル基を有するポリマー(2b)はクロロホルムに可溶、テトラヒドロフランに一部可溶であった。そして分岐アルコキシ基を側鎖芳香環に 2 つ有するポリマー(4c)はシリル基を有するポリマー(2a), (2b)と比較して、飛躍的に有機溶媒への溶解性が向上し、キシレン、トルエン、ジエチルエーテルなど多くの有機溶媒に完全に溶解した。これは分岐アルコキシ基が 2 つ導入されたためであると考えられる。

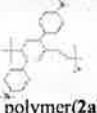
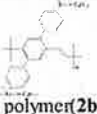
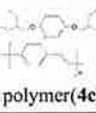
3.3 ポリマーの熱的特性

ポリマー(2b), (4c)の示差熱重量測定(TG-DTA)を行い、ポリマーの熱分解温度を測定した。その結果を Figure 3 に示す。ポリマー(2b), (4c)の 5%重量損失温度はそれぞれ 391°C, 346°Cであり高い熱的安定性を示した。

3.4 ポリマー膜の気体透過性及び膜密度

それぞれのポリマー膜の気体透過性及び膜密度を測定し、その結果を Table 4 に示した。ジメチルオクチルシリル基を繰り返し単位に 2 つ有するポリマー(2b)膜の酸素透過係数(P_{O_2})は 12.0 barrer であり、それほど高い値を示さなかった。またポリマー(2b)

Table 3 Solubility of polymers

polymer	hexane	<i>p</i> -xylene	toluene	CCl ₄	CHCl ₃	THF	Et ₂ O	CH ₂ Cl ₂	acetone
 polymer(2a)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
 polymer(2b)	-	-	-	-	++	+-	-	-	-
 polymer(4c)	-	++	++	++	++	++	++	++	-

++ : soluble , +- : partly soluble , - : insoluble

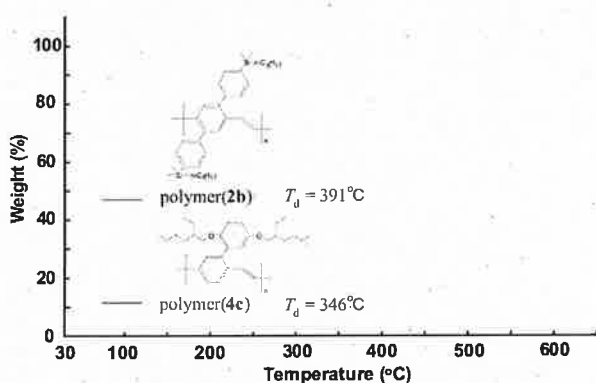
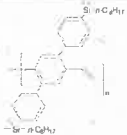
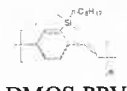
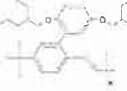


Figure 3 TGA analysis of polymers

膜はジメチルオクチルシリル基を繰り返し単位に 2 つ有しているにも関わらず、以前合成したジメチルオクチルシリル基を 1 つ有する DMOS-PPV と同程度の気体透過性を示した。これは側鎖への芳香環の導入により膜状態でよりスタッキングが起こっているためであると考えられる。このことは DMOS-PPV 膜よりもポリマー(2b)膜のほうが膜密度が高くなっていることから分かる。

ポリマー(4c)膜は、側鎖の芳香環が立体障害により主鎖のベンゼン環に対してねじれていることが予想され、高い気体透過性を示すことが期待される。しかし、ポリマー(4c)膜の酸素透過係数(P_{O_2})は 6.2 barrer とポリマー(2b)や DMOS-PPV よりも低く、膜密度も小さいことから側鎖の影響によって十分な分子間隙が形成されていないことが分かった。

Table 4 Gas permeability of polymers

Polymer	P_{N_2} (barrer)	P_{O_2} (barrer)	P_{CO_2} (barrer)	P_{CO_2}/P_{N_2}	P_{O_2}/P_{N_2}	density (g / cm ³)
 polymer(2b)	6.7	12.0	41.6	6.2	1.8	1.022
 DMOS-PPV	3.9	12.0	60.0	15.4	3.0	0.979
 polymer(4c)	1.9	6.2	27.2	14.3	3.3	1.009

(1 barrer = 1×10^{-10} cm³ (STP) cm / (cm²s cmHg))

4. 結論

3種類の嵩高い置換基を有するポリ(パラフェニレンビニレン)誘導体を脱ハロゲン化水素法による重合によって合成した。ポリマー(2a)はあらゆる溶媒に不溶であったため自立膜を調製することができなかったが、ポリマー(2b), (4c)については可溶性の高分子量ポリマーが得られ、キャスト法により丈夫な自立膜を調製することができた。ポリマー(2b), (4c)の構造及び構造組成は¹H-NMRスペクトルと元素分析により確認することができた。また、ポリマー(2b), (4c)の熱分解温度を測定し、5%重量損失温度がそれぞれ391°C, 346°Cと高い熱的安定性を示した。ポリマー(2b)膜の気体透過性はジメチルオクチルシリル基を繰り返し単位内に1つ有するDMOS-PPVと同程度の値を示した。これは側鎖への芳香環の導入により膜状態でよりスタッキングを起こし膜密度が増加したためであると考えられる。またポリマー(4c)膜の気体透過性は側鎖の芳香環が主鎖に対してねじれることで高い気体透過性を示すと期待されたが、その気体透過性は他より低く、分子間隙を形成できていないことが分かった。

参考文献

- [1] K. Nagai, T. Masuda, T. Nakagawa, B. D. Freeman, and I. Pinnau: *Prog. Polym. Sci.*, **26**, 721 (2001).
- [2] T. Aoki: *Prog. Polym. Sci.*, **24**, 951 (1990).
- [3] R. L. Burns, W. J. Koros: *Macromolecules*, **36**, 2374 (2003).
- [4] Y. Dai, M. D. Guiver, G. P. Robertson, Y. S. Kang, K. J. Lee, J. Y. Jho: *Macromolecules*, **37**, 1403 (2004).
- [5] K. Nagai: *Koubunshi Ronbunshu*, **61**, 420 (2004).
- [6] T. Masuda, T. Sakaguchi: *Mirai Zairyo*, **5**, 26 (2006).
- [7] T. Masuda, E. Isobe, T. Higashimura, and K. Takada: *J. Am. Chem. Soc.*, **105**, 7473, (1983).
- [8] A. C. Grimsdale, K. L. Chan, R. E. Martin, P. G. Jokisz, A. B. Holmes: *Chem. Rev.*, **109**, 897 (2009).
- [9] J. Kim, T. M. Swager: *Nature (London)*, **411**, 1030 (2001).
- [10] T. Sato, D. L. Jiang, T. Aida: *J. Am. Chem. Soc.*, **121**, 10658 (1999).
- [11] Z. K. Chen, and W. Huang, L. H. Wang, and E. T. Kang, B. J. Chen, C. S. Lee, and S. T. Lee: *Macromolecules*, **33**, 9015 (2000).
- [12] T. Ahn, S. W. Ko, J. Lee, and H. K. Shim: *Macromolecules*, **35**, 3495 (2002).
- [13] Y. Jin, S. Song, S. H. Park, J. A. Park, J. Kim, H. Y. Woo, K. Lee, H. Suh: *Polymer*, **49**, 4559 (2008).
- [14] D. M. Johansson, G. Srdanov, G. Yu, M. Theander, O. Inganäs, and M. R. Andersson: *Macromolecules*, **33**, 2525 (2000).
- [15] B. R. Hsieh, Y. Yu, A. C. Vanlaeken, and H. Lee: *Macromolecules*, **30**, 8094 (1997).

新規シリルプロピン類のメタセシス重合および生成ポリマーの特性

竹田 愛子* 阪口 壽一* 橋本 保*

Metathesis Polymerization of Novel Silylated Propynes and Properties of Polymers

Aiko TAKEDA*, Toshikazu SAKAGUCHI*, and Tamotsu HASHIMOTO*

(Received January 21, 2010)

Novel silylated propyne derivatives were synthesized and polymerized with various transition metal catalysts. The polymerization of 1-dimethylphenylsilyl-propyne (**1a**) with TaCl₅/*n*-Bu₄Sn afforded a high-molecular weight polymer (**2a**). In contrast, propyne derivatives having phenoxysilyl groups (**1b-e**) were not polymerized, which may be due to the decomposition of phenoxysilyl groups during polymerization. The polymerization of **1f** with WCl₆/Ph₄Sn gave a polymer (**2f**) although the polymerization with TaCl₅/*n*-Bu₄Sn did not proceed. Polymers **2a** and **2f** showed good solubility and dissolved in carbon tetrachloride, toluene, chloroform, tetrahydrofuran, etc. The free-standing membrane of **2a** could be prepared by solution-casting. The oxygen permeability coefficient and oxygen/nitrogen separation factor of membrane of **2a** were 5.3 barrers and 4.1, respectively.

Key Words : Metathesis Polymerization, Polyacetylene, Membrane, Gas Permeability

1. 緒言

膜による気体分離は省エネルギー、低コストなどの利点があるため実用化が求められている技術である。効率の良い気体の分離を実現するためには、気体透過速度が大きく、気体透過選択性が高い高分子膜が必要である。多種多様なポリマーが気体分離膜材料として検討されているが、その中でポリ置換アセチレンは一般に高い気体透過性を示すため、気体分離膜への応用が期待されている。ポリ置換アセチレン膜が高い気体透過性を示す理由は、剛直な主鎖と置換基の立体障害のために分子鎖パッキングが妨げられ、疎な構造をとるためである。なかでもポリ[1-(トリメチルシリル)-1-プロピン] (PTMSP) は、酸素透過係数 10000 barrers と著しく高い気体透過性を

示す^[1]。

また、窒素などと異なり、二酸化炭素は四極子モーメントをもつため極性基と相互作用する性質があり、極性基含有のポリマー膜への二酸化炭素の溶解度が他のガスに比べて高いことが知られている。しかし、極性基含有の二置換アセチレンの重合では、極性基が触媒毒となるためポリマーを直接得ることができず、極性基含有ポリ置換アセチレンを合成するには、まず保護基を導入したモノマーを重合し、得られた前駆体ポリマーの高分子反応が必要である。例えば、ポリ[1-(*p*-ヒドロキシフェニル)-2-(フェニル)アセチレン]膜は、ポリ[1-(*p*-*t*-ブチルジメチルシロキシフェニル)-2-(フェニル)アセチレン]膜の高分子反応により得られる^[2]。

本研究では、高気体透過性を示すポリマー膜の開発を目的として、新規 PTMSP 類似ポリマーの合成を検討した。また、合成したポリマーの高分子反応による極性基への変換も検討した。本研究で合成したモノマーを Table 1 に示す。

* 工学研究科材料開発工学専攻

* Materials Science and Engineering Course, Graduate School of Engineering

Table 1 Structures of Monomers

	structure
1a	
1b	
1c	
1d	
1e	
1f	

2. 実験

2.1 測定

生成ポリマーの分子量および分子量分布はゲルパーミエーションクロマトグラフィー (GPC) を用いて測定し、標準ポリスチレンにより作成した検量線から生成ポリマーの数平均分子量 M_n と多分散度 M_w/M_n (M_w : 重量平均分子量) をポリスチレン換算で求めた。GPC の本体には、SHIMADZU LC-10AD、示差屈折計には SHIMADZU RID-6A を使用した。カラムには Shodex KF-802.5 1本と Shodex A-80M 2本を使用し、カラム測定温度 40.0 °C で溶媒に THF を用い流速 1.0 mL/min で測定した。核磁気共鳴スペクトル (NMR) は、JEOL, LA-500, FT-NMR 分光計で溶媒に重水素化クロホルムを用いて室温で測定した。赤外吸収スペクトル (IR) は Nicolet MAGNA 560 spectrometer を用いて測定した。膜厚はマイクロメーターを用いて測定した。

気体透過性は気体透過測定装置 (理化精機工業株式会社, K-315-N) を用いて常温 (25 °C) で窒素、酸素、二酸化炭素について測定した。気体透過係数 (P) は定常状態での傾きより求めた。気体拡散係数 (D) は 'タイムラグ' 法により式 (1) を用いて求めた。

$$D = l^2/6\theta \quad (1)$$

ここで、 l は膜厚、 θ はタイムラグとする。溶解度係数 (S) は以下の式 (2) を用いてもとめた。

$$S = P/D \quad (2)$$

2.2 試薬

重合溶媒であるトルエン (和光, 1級) は、塩化カルシウム中で一晩乾燥後、水素化カルシウム上で 2 回蒸留した。テトラ *n*-ブチルスズ (和光, 1級) は、水素化カルシウム上で 1 回減圧蒸留し (115 °C, 5 mmHg), 褐色アンプルに小分けした。五塩化タンタル (Aldrich, 特級) は、グローブボックスを用い窒素下で褐色アンプルに小分けした。その他の試薬はそのまま使用した。1-プロピニルマグネシウムブロミド THF 溶液、クロロジメチルフェニルシラン、その他の有機溶媒は特に記述がない限りそのまま用いた。クロロジメチルフェノキシシラン^[3], クロロジメチル-(2,6-ジメチル)フェノキシシラン^[3], クロロジメチル-(2,6-ジ-*t*-ブチル)フェノキシシラン^[3], クロロジエチルフェノキシシラン^[3], ヨードメチルジメチルフェニルシラン^[4] は文献を参考に合成した。

2.3 モノマー合成

2.3.1 1-ジメチルフェニルシリル-1-プロピン (1a)

1-プロピニルマグネシウムブロミドの THF 溶液 (0.5 M, 100ml) を、滴下ロートを取り付け窒素置換した三口フラスコに入れた。0 °C に冷却し、クロロジメチルフェニルシラン (8.5 g) のジエチルエーテル (75ml) 溶液を滴下した。滴下終了後室温に戻し、10 時間攪拌した。水を加えて反応を停止し、塩酸 (0.1 M) で 2 回次いで水で 1 回洗浄した。硫酸ナトリウムで脱水した後、溶媒を減圧留去した。粗生成物はカラムクロマトグラフィー (固定相: シリカゲル, 移動相: ヘキサン) により精製し、1-ジメチルフェニルシリル-1-プロピンを得た (13 g, 収率 50%)。

2.3.2 1-ジメチルフェノキシシリル-1-プロピン (1b)

1a の合成と同じ方法で合成した。ただし、クロロジメチルフェニルシランの代わりにクロロジメチルフェノキシシランを用いた。また、粗生成物は減圧蒸留により精製し、目的物 1-ジメチルフェノキシシリル-1-プロピンを得た (収率 75%)。

2.3.3 1-ジメチル-(2,6-ジメチル)フェノキシシリル-1-プロピン (1c)

1a の合成と同じ方法で合成した。ただし、クロロジメチルフェニルシランの代わりにクロロジメチル-(2,6-ジメチル)フェノキシシランを用いた。また、粗生成物は減圧蒸留により精製し、目的物 1-ジメチル-(2,6-ジメチル)フェノキシシリル-1-プロピンを得た

(収率 56%).

2.3.4 1-ジメチル-(2,6-ジ-*t*-ブチル)フェノキシシリル-1-プロピン (1d)

1a の合成と同じ方法で合成した。ただし、クロロジメチルフェニルシランの代わりにクロロジメチル-(2,6-ジ-*t*-ブチル)フェノキシシランを用いた。また、粗生成物は再結晶により精製し、目的物 1-ジメチル-(2,6-ジ-*t*-ブチル)フェノキシシリル-1-プロピンを得た(収率 77%)。

2.3.5 1-ジエチルフェノキシシリル-1-プロピン (1e)

1a の合成と同じ方法で合成した。ただし、クロロジメチルフェニルシランの代わりにクロロジエチルフェノキシシランを用いた。また、粗生成物は減圧蒸留により精製し、目的物 1-ジエチルフェノキシシリル-1-プロピンを得た(収率 72%)。

2.3.6 1-ジメチルフェニルシリル-2-ブチン (1f)

1-プロピニルマグネシウムブロミドの THF 溶液 (0.5 M, 800ml)を、還流管を取り付け窒素置換した三口フラスコに入れた。次いで、臭化銅(I) (8.0 g)を加え 1 h 攪拌した後、ヨードメチルジメチルフェニルシラン (33.5 g)を加えた。60 °C で 4 日間攪拌した。塩化アンモニウム水溶液を加え、ジエチルエーテルで 2 回抽出した。エーテル層を塩化ナトリウム水溶液で洗浄し、硫酸マグネシウムで脱水した後、溶媒を減圧留去した。粗生成物はカラムクロマトグラフィ(固定相:シリカゲル, 移動相:ヘキサン)により精製し、1-ジメチルフェニルシリル-2-ブチンを得た(2.5 g, 収率 11%)。

2.4 重合

重合は、三方コックを取り付けたシュレンク管を用いて窒素雰囲気下で行った。遷移金属触媒を用いトルエン中 80 °C で 24 時間重合させた。手順は次のとおりである。シュレンク管にモノマーと重合溶媒を入れ、モノマー溶液を調製した。別のシュレ

ンク管に、遷移金属触媒、助触媒と重合溶媒を入れた。モノマー溶液と触媒溶液は 80 °C で 10 分間加熱した。それからモノマー溶液を触媒溶液に加え、80 °C で 72 時間重合した。少量のメタノールを加えて重合を停止した。得られたポリマーは大過剰のメタノールまたはアセトンに沈殿させ、ガラスフィルターでろ過、あるいはデカンテーションにより回収した。収率は重量法により求めた。

2.5 製膜

ポリマー膜はトルエン溶液によるキャスト法で調製した。まず、ポリマーのトルエン溶液(0.1 wt%)を調製し、ガラスフィルターでろ過してシャーレに流し込んだ。3-5 日室温で静置しトルエンを蒸発させた。得られた膜はメタノールに 24 時間浸した後、室温で 24 時間乾燥させた。

2.6 ポリマー膜の自由体積分率(FFV)

自由体積分率(FFV)は、ポリマー膜の密度の測定値から計算して求めた。ポリマー膜密度(ρ)は、密度既知の硝酸ナトリウム水溶液中での膜の重量と空気中での膜重量から、以下の式(3)を用いて求めた。

$$\rho = \rho_0 \times M_A / (M_A - M_L) \quad (3)$$

ρ_0 は硝酸ナトリウム水溶液の密度、 M_A は空気中での膜重量、 M_L は硝酸ナトリウム水溶液中での膜重量とする。

FFV は以下の式(4)を用いて計算した。

$$\text{FFV} = (v_{sp} - v_0) / v_{sp} \approx (v_{sp} - 1.3v_w) / v_{sp} \quad (4)$$

v_{sp} は膜の比容、 v_0 はポリマーの非占有体積、 v_w は van der Waals 体積である^[5]。

3. 結果と考察

3.1 重合

モノマー 1a-f の重合結果を Table 2 に示す。モノマー 1a を TaCl₅/*n*-Bu₄Sn を触媒系で重合した場合、重量平均分子量 4.66×10⁵ のポリマー 2a が 44% の収率で得

Table 2 Polymerization of Monomers^{a)}

Run	Monomer	Catalysts	[M] ₀	Yield ^{b)} [%]	$M_w \times 10^{-5}$	M_w/M_n
1	1a	TaCl ₅ / <i>n</i> -Bu ₄ Sn	1.0	44	4.66	4.88
2	1b-e	TaCl ₅ / <i>n</i> -Bu ₄ Sn	1.0	0	—	—
3	1b-e	TaCl ₅ /Ph ₃ Bi	1.0	0	—	—
4	1f	TaCl ₅ / <i>n</i> -Bu ₄ Sn	1.0	0	—	—
5	1f	WCl ₆ /Ph ₄ Sn	1.0	24 ^{c)}	0.378	1.77
6	1f	WCl ₆ /Ph ₄ Sn	5.0	16 ^{c)}	0.504	1.67

^{a)} In toluene at 80 °C for 72 h; [catalyst] = 100 mM, [cocatalyst] = 200 mM. ^{b)} Methanol-insoluble product. ^{c)} Acetone-insoluble product.

られた。ポリマー**2a**は自立膜調製可能な高分子量体であった。**1b-e**の重合ではメタノール不溶部としてポリマーを得ることはできなかった。Fig. 1-4に、モノマー**1b-e**の ^{13}C NMR スペクトル(Fig. 1-4(a))および重合後の ^{13}C NMR スペクトル(Fig. 1-4(b), (c))を示す。モノマー**1b**の $\text{TaCl}_5/n\text{-Bu}_4\text{Sn}$ を触媒系に用いた重合では、重合後のNMR スペクトル(Fig. 1(b))にモノマーのアセチレン炭素に相当するピークが見られた。このことから、この重合では多くのモノマーが消費されずに残っていることが分かる。重合系中でモノマーが分解し、その結果生成した極性の高い化合物、あるいはモノマー自体により触媒が失活したことが原因として考えられる。 $\text{TaCl}_5/\text{Ph}_3\text{Bi}$ を触媒系に用いた場合、重合後のNMR スペクトル(Fig. 1(c))にはアセチレンピークが観察されず、モノマーはほぼ消費されていると考えられる。しかしながら、生成物の分子量が低いためメタノール不溶部としてポリマーを回収することはできなかった。モノマー**1c**は**1b**に比べ酸素原子の周りの立体障害が大きく分解しにくいと考えられる。しかしながら**1c**の重合においても同様に、助触媒に $n\text{-Bu}_4\text{Sn}$ を用いた重合ではモノマーが多く残っており(Fig. 2(b)), Ph_3Bi を用いた場合ではモノマーはほぼ消費されている(Fig. 2(c))がポリマーは回収できなかった。モノマー**1d**および**1e**の重合では、触媒系に $\text{TaCl}_5/n\text{-Bu}_4\text{Sn}$ を用いた場合も(Fig. 3(b)及びFig. 4(b)), $\text{TaCl}_5/\text{Ph}_3\text{Bi}$ を用いた場合も(Fig. 3(c)及びFig. 4(c)), 重合後のNMR スペクトルにモノマーのアセチレンピークが観察されたことから、モノマーがほとんど消費されていないことが分かる。これらのモノマーは比較的アセチレン部位に近い位置に大きな置換基を持っており、そのかさ高い置換基による立体障害が原因となり、 Ph_3Bi を助触媒に用いた重合においてもモノマーが消費されなかったと考えられる。モノマー**1f**の重合では、 $\text{TaCl}_5/n\text{-Bu}_4\text{Sn}$ を触媒系に用いた場合ではポリマーは回収できなかった。しかし、 $\text{WCl}_6/\text{Ph}_4\text{Sn}$ を触媒系に用いた重合でポリマー**2f**を得ることができた。一般に、 TaCl_5 はかさ高い置換基を持った二置換アセチレンモノマーの重合に適した触媒であり、 WCl_6 は立体障害の大きい一置換アセチレンあるいは立体障害の小さい二置換アセチレンの重合触媒として用いられる^[6]。例えば*n*-ジアルキルアセチレンは WCl_6 /助触媒系の重合では選択的にポリマーを生成するが、 TaCl_5 を触媒とした重合では副生成物として環状三量体を与える^[7]。モノマー**1f**は、アセチレン部位とシリル基の間にメチレンスペーサーが存在するため比較的立体障害が小さく、 TaCl_5 よりも WCl_6 のほうが重合触媒に適していたと考えられる。モノマー**1f**の重合においてモ

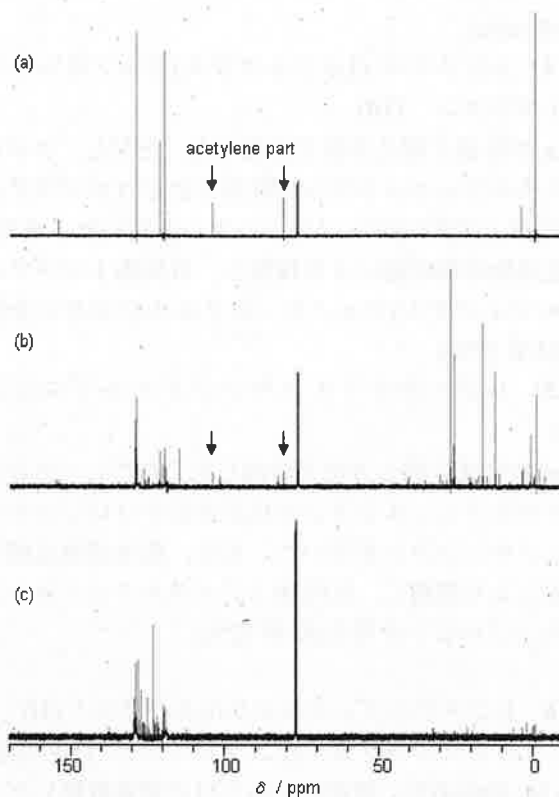


Fig. 1 ^{13}C NMR spectra of (a) monomer **1b**, (b) products generated by polymerization of **1b** with $\text{TaCl}_5/n\text{-Bu}_4\text{Sn}$, and (c) with $\text{TaCl}_5/\text{Ph}_3\text{Bi}$.

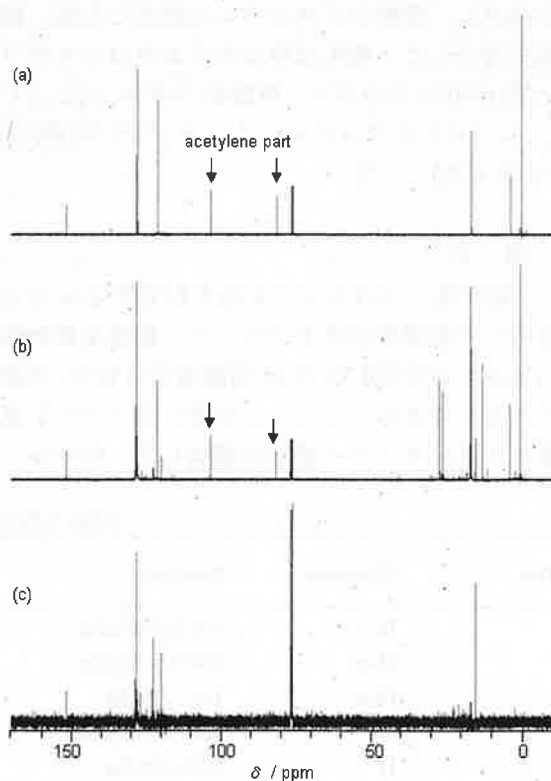


Fig. 2 ^{13}C NMR spectra of (a) monomer **1c**, (b) products generated by polymerization of **1c** with $\text{TaCl}_5/n\text{-Bu}_4\text{Sn}$, and (c) with $\text{TaCl}_5/\text{Ph}_3\text{Bi}$.

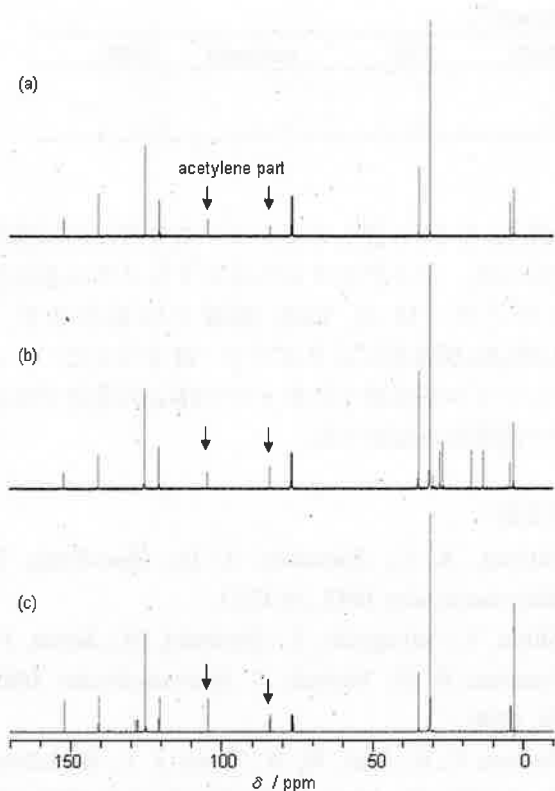


Fig. 3 ^{13}C NMR spectra of (a) monomer **1d**, (b) products generated by polymerization of **1d** with $\text{TaCl}_5/n\text{-Bu}_4\text{Sn}$, and (c) with $\text{TaCl}_5/\text{Ph}_3\text{Bi}$.

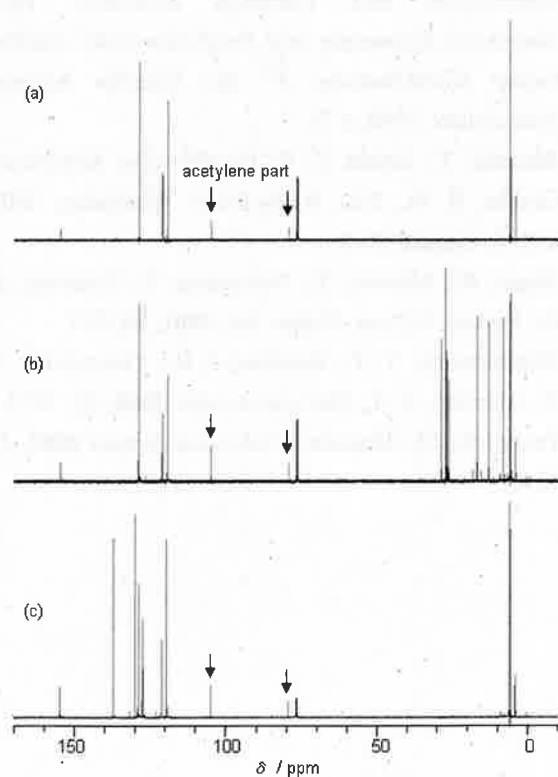


Fig. 4 ^{13}C NMR spectra of (a) monomer **1e**, (b) products generated by polymerization of **1e** with $\text{TaCl}_5/n\text{-Bu}_4\text{Sn}$, and (c) with $\text{TaCl}_5/\text{Ph}_3\text{Bi}$.

ノマー初期濃度 1.0 M の場合, 得られたポリマーの重量平均分子量は 0.378×10^5 であった. モノマー初期濃度を 5.0 M にすると, 得られたポリマーの重量平均分子量は 0.504×10^5 に増加した. しかしながら得られたポリマー**2f**の分子量は製膜するには十分でなく, 自立膜を作ることはできなかった.

3.2 ポリマー**2a**, **2f**の特性

ポリマー**2a** および **2f** の溶解性を Table 3 に示す. ポリマー**2a** は CCl_4 , トルエン, CHCl_3 , THF など一般的な有機溶媒によく溶けた. ポリマー**2f** は CCl_4 , トルエン, Et_2O , CHCl_3 , THF により溶解性を示し, ヘキサンに部分可溶であった. ポリマー**2a** はトルエン溶液を用いたキャスト法により自立膜を調製することができた. ポリマー**2f** においてもキャスト法による膜調製を試みたが, 分子量が低すぎるため自立膜は得られなかった.

ポリマー膜**2a**の酸素, 窒素, 二酸化炭素についての気体透過係数(それぞれ $P(\text{O}_2)$, $P(\text{N}_2)$, $P(\text{CO}_2)$)を測定した. その結果, $P(\text{O}_2) = 5.3$ barrer, $P(\text{N}_2) = 1.3$ barrer, $P(\text{CO}_2) = 35$ barrer であった. ‘タイムラグ法’を用いて求めた, 二酸化炭素の拡散係数($D(\text{CO}_2)$)と溶解度係数($S(\text{CO}_2)$)は, $D(\text{CO}_2) = 8.7 \times 10^{-8} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, $S(\text{CO}_2) = 40 \times 10^{-3} \text{ cm}^3(\text{STP}) \text{ cm}^{-3} \text{ cmHg}^{-1}$ であった. 自由体積率 (FFV) はポリマー中の空隙の割合を表す値である. 膜密度から算出したポリマー膜**2a**の FFV は 0.123 であった. ポリ[1-(トリメチルシリル)-1-プロピン] (PTMSP) の FFV は 0.34 と報告されており^[8], **2a** に比べて著しく高い. ジメチルフェノキシシリル基よりも, トリメチルシリル基のようにより球状に近い置換基のほうが, 分子間隙を形成しやすいと考えられる. また, フェニル基のスタッキングも, ポリマー**2a**の低い FFV の原因であると考えられる. Savoca らの報告では, ポリマー**2a**は $\text{TaCl}_5/\text{Ph}_3\text{Bi}$ を用いて合成されており, その気体透過係数は $P(\text{O}_2) = 4.4$ barrer, $P(\text{N}_2) = 1.2$ barrer, $P(\text{CO}_2) = 37.6$ barrer である^[1]. これらの値は本研究で合成したポリマー ($\text{TaCl}_5/n\text{-Bu}_4\text{Sn}$ 触媒系)の値とほぼ同じであった. これより, 助触媒の違いは, 得られるポリマー膜の気体透過性にほとんど影響を与えないことがわかった.

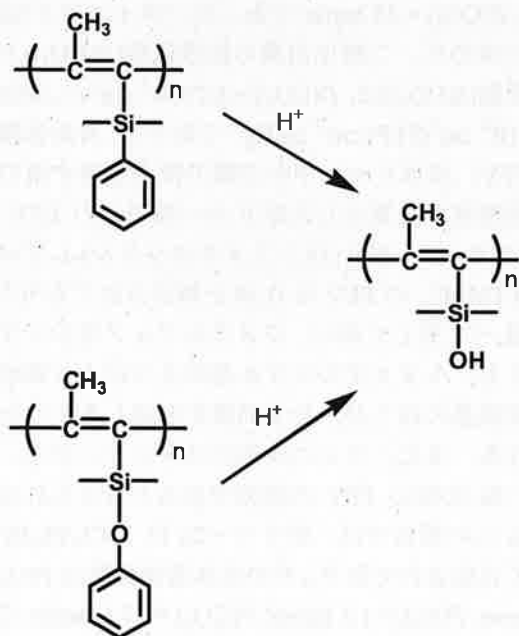
ポリマー膜**2a**のシリル基分解反応を試みた. トリフルオロ酢酸, またはトリフルオロ酢酸/ヘキサン混合溶液, トリフルオロ酢酸/水混合溶液に, 室温あるいは 60°C でポリマー膜**2a**を 24 h 浸した後, メタノールに 6 h 浸して不純物を除去し, 乾燥させて IR スペクトルを測定した. 反応前後の IR スペクトルにあまり変化はなく, 反応は進行しなかった. トリフルオロメタンスルホン酸あるいはトリフルオロメタン

Table 3 solubility of polymers ^{a)}

polymer	hexane	CCl ₄	toluene	Et ₂ O	CHCl ₃	THF	methanol	DMF
2a	—	+	+	—	+	+	—	—
2f	±	+	+	+	+	+	—	—

^{a)} Symbols: +; soluble, ±; partly soluble, —; insoluble.

スルホン酸/水混合溶液を用いて同様の反応を試みた。トリフルオロメタンスルホン酸を用いた場合はポリマーが分解したと思われ、トリフルオロメタンスルホン酸/水混合溶液の場合は反応が進行しなかった。ポリ[1-(*p*-トリメチルシリルフェニル)-2-フェニルアセチレン]膜は、トリフルオロ酢酸/ヘキサン混合溶液に浸すことでシリル基が脱離しポリ[ジフェニルアセチレン]膜が得られることが報告されている^[9]。ポリ[1-(*p*-トリメチルシリルフェニル)-2-フェニルアセチレン]に比べ、ポリマー**2a**ではシリル基が主鎖に直結しており立体的に混み合っているため、あるいはシリル基がポリマー主鎖やフェニル置換基と共鳴し安定化しているために、シリル基分解反応が進行しなかったと考えられる。



Scheme 1 Reaction of Si-containing polymer membranes

4. 結論

1-(トリメチルシリル)-1-プロピン類似モノマー**1a-f**を合成し、遷移金属触媒を用いて重合した。ジメチルフェニルシリル基を持つモノマー**1a**は、TaCl₅/*n*-Bu₄Snを触媒系に用いた重合で、自立膜調製可能な高分子量ポリマー**2a**を与えた。ポリマー**2a**は酸に対して安定であり、トリフルオロ酢酸にポリ

マー膜**2a**を24 h浸してもシリル基分解反応は進行しなかった。ジメチルフェニルシリルメチル基を持ったモノマー**1f**はTaCl₅触媒では重合せず、WCl₆/Ph₄Sn触媒系によりポリマー**2f**を与えた。フェノキシシリル基を持ったモノマー**1b-e**の重合ではポリマーは得られなかった。

参考文献

- [1] Savoca, A. C.; Surnamer, A. D.; Chao-Fong, T. *Macromolecules* **1993**, *26*, 6211.
- [2] Shida, Y.; Sakaguchi, T.; Shiotsuki, M.; Sanda, F.; Freeman, B. D.; Masuda, T. *Macromolecules* **2005**, *38*, 4096.
- [3] Penkett, C. S.; Paul, W. B.; Barry, J. T.; Benedicte, R.; Aurelie, O.; Peter, B. H. *Tetrahedron* **2004**, *60*, 2771.
- [4] Shimizu, M.; Iwakubo, M.; Nishihara, Y.; Oda, K.; Hiyama, T. *ARKIVOC* **2007**, 29.
- [5] Van Krevelen, K. W. *Properties of Polymers: Their Correlation with Chemical Structure; Their Numerical Estimation and Prediction from Additive Group Contributions*, 3rd ed.; Elsevier Science: Amsterdam, 1990; p 71.
- [6] Masuda, T.; Sanda, F. *In Handbook of Metathesis*; Grabbs, R. H., Ed.; Wiley-VCH: Weinheim, 2003; Vol. 3, Chapter 3.11.
- [7] Nagai, K.; Masuda, T.; Nakagawa, T.; Freeman, B. D.; Pinnau, I. *Prog. Polym. Sci.* **2001**, *26*, 721.
- [8] Shantarovich, V. P.; Kevdina, I. B.; Yampolskii, Y. P.; Alentiev, A. Y. *Macromolecules* **2000**, *33*, 7453.
- [9] Teraguchi, M.; Masuda, T. *Macromolecules* **2002**, *35*, 1149.

ひまし油由来リシノレイン酸を用いた化学修飾による 分解・リサイクル可能なポリウレタンの合成

養輪 岳郎* 漆崎 美智遠* 阪口 壽一* 橋本 保*

Synthesis of Degradable and Recyclable Polyurethanes Using Polyols Modified with Castor Oil-Based Ricinoleic Acid

Takero MINOWA*, Michio URUSHISAKI*, Toshikazu SAKAGUCHI*, and Tamotsu HASHIMOTO*

(Received February 3, 2010)

Ricinoleic acid derived from castor oil was utilized for the preparation of the ester linkages-containing tetraethylene glycol {HO-CH[(CH₂)₅CH₃]CH₂CH=CH(CH₂)₇-C(=O)O-(CH₂CH₂O)₃CH₂CH₂-OC(=O)-(CH₂)₇-CH=CH-CH₂CH[(CH₂)₅CH₃]-OH}. This polyol was reacted with 4,4'-diphenylmethane diisocyanate followed by the chain-extension reaction with 1,4-butanediol to give new polyurethanes with degradable ester moieties. The alkaline treatment of the obtained polyurethanes caused hydrolysis reaction of the ester linkages to give the mixture of tetraethylene glycol and urethane oligomers as degradation products.

Key Words : Castor Oil, Ricinoleic Acid, Polyol, Polyurethane, Degradable Polymer, Chemical Recycling

1. 緒言

地球環境に調和した高分子材料開発には少なくとも二つの大きな課題がある。一つは、現在合成高分子材料の原料はほとんどが石油や石炭などの化石資源由来のものであるため、今後化石資源が枯渇する観点から、できる限り植物などの再生可能な資源へと転換することである。^[1] もう一つは、使用された高分子材料を分解し、再び高分子材料の原料として利用して、材料合成に使われる資源を循環させるケミカルリサイクルを実施することである。^[2]

汎用的な合成高分子材料の一つであるポリウレタン材料は、ウレタン結合以外の化学構造を変えることにより広範囲の性質を持つように設計でき、樹脂、ゴム・エラストマー、繊維、塗料など幅広い分野で使用されている。^[3] ポリウレタンは通常、複数のヒ

ドロキシ基を有する化合物（ポリオール）と多官能性のイソシアナート（二官能性ならジイソシアナート）の重付加反応により合成される。^[3] 本研究では、植物成分由来のエステル結合を有するポリオールの合成と、それを用いた分解可能な新規ポリウレタン材料の開発を目的とした (Scheme 1)。Scheme 1 に示すように、ポリウレタン材料の原料のポリオールに、ひまし油^[4] を加水分解して得られるリシノレイン酸を用いてエステル結合を導入し、そのポリオールから合成されるポリウレタンの熱的性質などの基本的物性を検討した。さらに、分子中のエステル結合をアルカリ加水分解して、もとの原料ポリオールの再生を検討し、この新規ポリウレタンのケミカルリサイクル性を検討した。

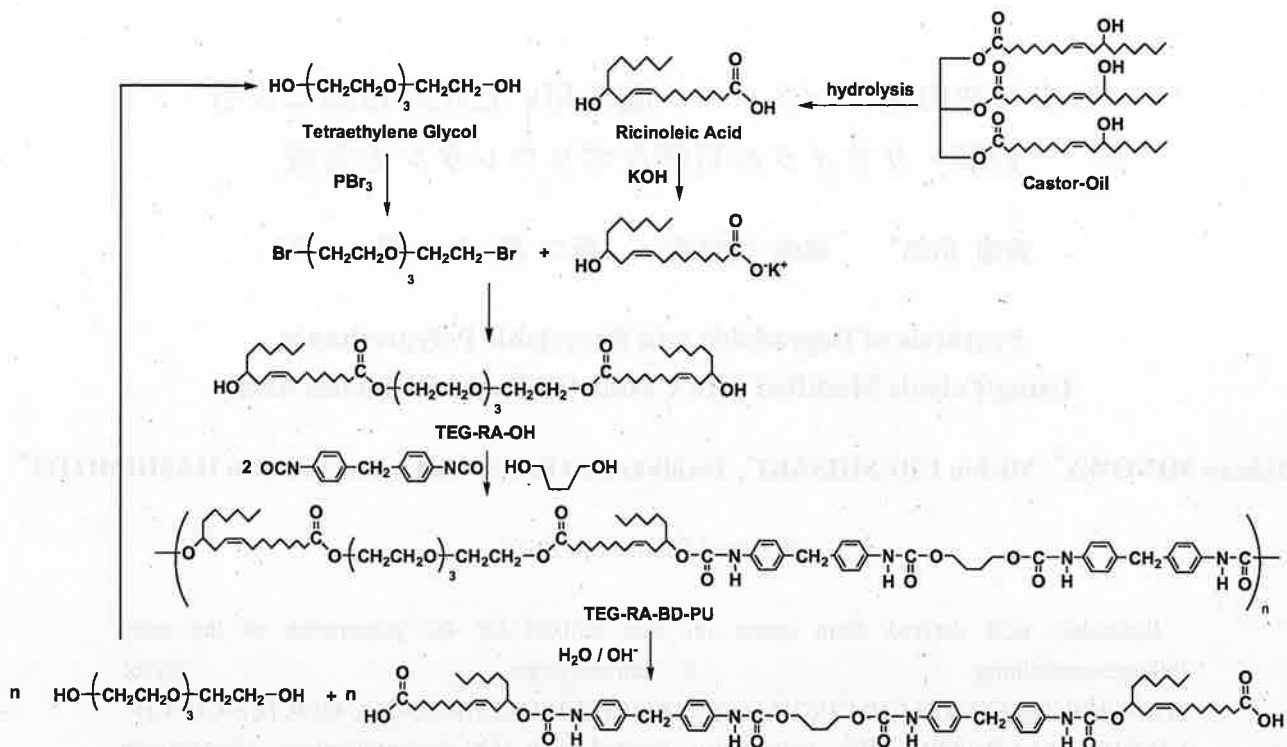
2. 実験

2.1 試薬

伊藤製油により製造されたひまし油由来リシノレイン酸 H-1657 は、そのまま使用した。伊藤製油によ

* 工学研究科材料開発工学専攻

* Materials Science and Engineering Course, Graduate School of Engineering



Scheme 1 Synthesis and degradation of ricinolate-containing polyurethane.

り製造された変成ひまし油ポリオール URIC PH-5001 は、減圧下(6 mmHg), キャピラリーにより窒素を導入しながら 90 °C で 6 時間乾燥した。1,4-ブタンジオール (和光, 特級) は水素化カルシウム上で 2 回蒸留し, アンフル詰めをして使用直前まで冷蔵庫で保存した。テトラヒドロフラン (和光, 一級) はモレキュラーシーブスで一晩予備乾燥し, 水素化リチウムアルミニウム上で 2 回蒸留した。N,N-ジメチルホルムアミド (和光, 特級) はモレキュラーシーブスで一晩予備乾燥し, 水素化カルシウム上で 1 回蒸留した。その他の試薬は市販品をそのまま使用した。

2.2 ポリオールの合成

還流冷却管, 滴下漏斗をとりつけた三つ口丸底フラスコにテトラエチレングリコール 100 g (0.52 mol) とジクロロメタン 200 mL を加え, 塩化ナトリウムを加えた氷で冷却した。その混合物の中へ三臭化りん 140 g (0.52 mol) を攪拌しながらゆっくりと滴下した。滴下終了後, 室温に戻し, 20 時間攪拌した。反応後は上記と同様に冷却し, イオン交換水を徐々に加え反応をとめた。その後再び室温に戻し, 分液漏斗を用いて, 生成物をヘキサンにより抽出し, その有機層を飽和塩化ナトリウム水溶液で洗浄し, 硫酸ナトリウムで乾燥した。その後エバポレーターによりヘキサンを除去し, 得られたテトラエチレングリコールジブROMAイドを室温で真空乾燥した。

丸底フラスコにリシノレイン酸 140 g (0.47 mol) とジクロロメタン約 300 mL を加え, そこに 0.5 mol/L エタノール性水酸化カリウム溶液 940 mL (0.47 mol) をホールピペットを用いて当量加え攪拌しながら室温にて 2 時間反応させた。反応後はエバポレーターによりジクロロメタンとエタノールを除去し, 得られたリシノレイン酸カリウム塩を室温で真空乾燥した。

丸底フラスコにテトラエチレングリコールジブROMAイド 46 g (0.14 mol) とリシノレイン酸カリウム塩 145 g (0.43 mol), 溶媒として DMF を約 300 mL 加えた。また, 相間移動触媒として臭化テトラ-*n*-ブチルアンモニウムを 2.0 g 加え, 攪拌しながら反応系の温度を 50 °C にし 20 時間反応させた。その後, 多量の水を加え, さらにジエチルエーテルを加え, 有機層をシリンジにより採取した。回収された有機層からエバポレーターによりジエチルエーテルを取り除いた。生成物をジクロロメタンに溶解し, その溶液を飽和塩化ナトリウム水溶液により洗浄した。その後エバポレーターによりジクロロメタンを除去し, 得られたポリオール (TEG-RA-OH) を室温で真空乾燥した。

2.3 ポリウレタンの合成

還流冷却管, 三方コックを備えたフラスコにポリオール (TEG-RA-OH : 5.4012 g, 8.91×10^{-3} mol ; OH 含量 = 1.65×10^{-3} mol/g ; 水酸基価 = 92.8

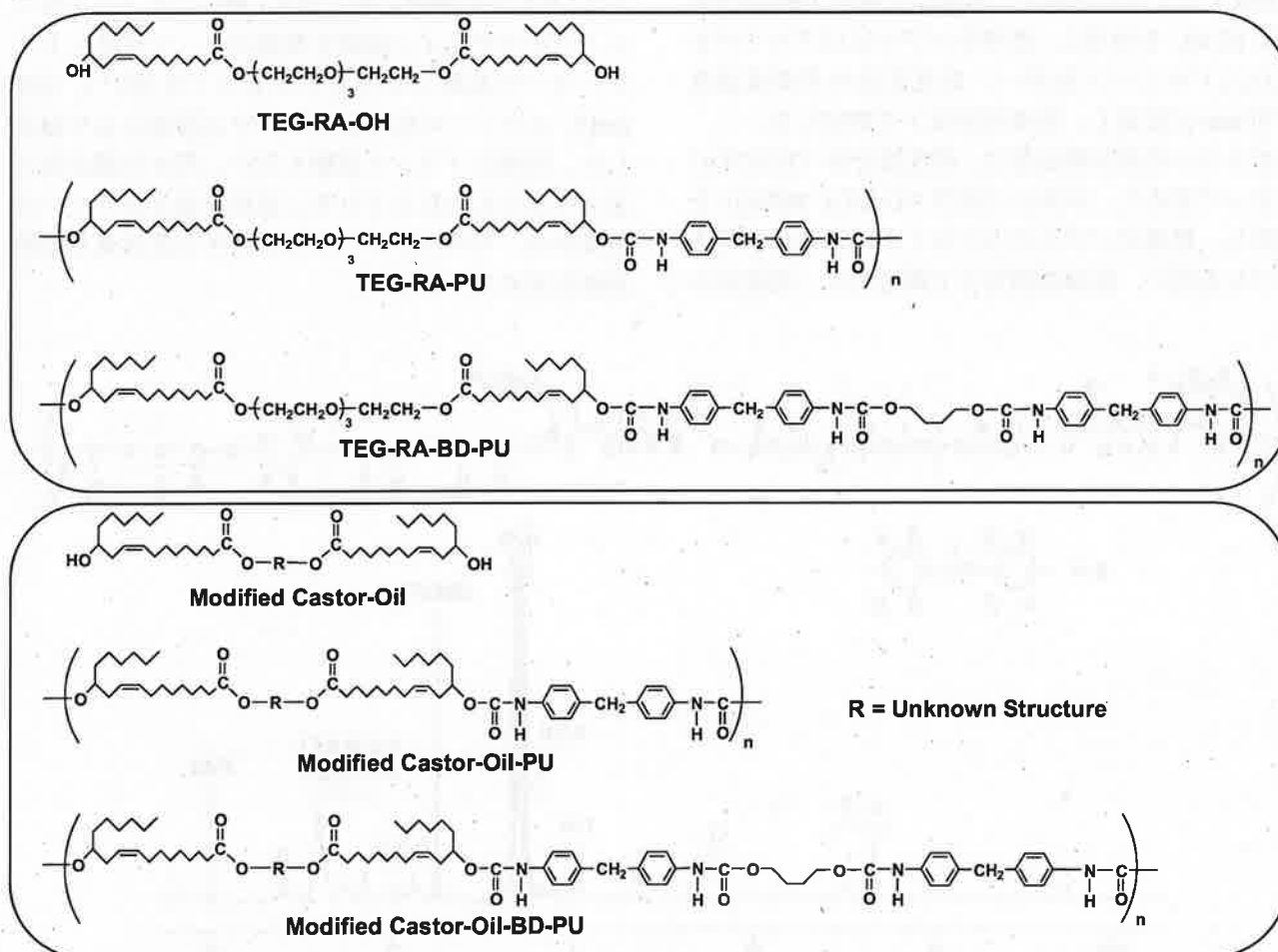
mgKOH/g; 変成ひまし油ポリオール: 2.8050 g, 2.21×10^{-3} mol; OH 含量 = 7.90×10^{-4} mol/g, 水酸基価 = 44.3 mgKOH/g) を入れて乾燥窒素雰囲気下にした後, 4,4'-ジフェニルメタンジイソシアネート (MW = 250.25) を等モル (TEG-RA-OH の場合: 2.2432 g, 8.96×10^{-3} mol; 変成ひまし油ポリオールの場合: 0.5574 g, 2.21×10^{-3} mol) 加えて反応させポリウレタンを合成した. この時, 反応が進むにつれて粘度が上昇するため, 65°C に加熱し, THF 溶媒を加えて反応溶液を希釈しながら撹拌した. その後生成したポリマーをメタノールに沈殿させ回収し, 室温で真空乾燥した.

また, ポリウレタン分子中のウレタン結合濃度を高めるため, ポリオールに対して2等量のジイソシアネートを用いてポリウレタンを合成した. 還流冷却管, 三方コック, 滴下漏斗を備えたフラスコに 4,4'-ジフェニルメタンジイソシアネート (TEG-RA-OH の場合: 3.6557 g, 1.46×10^{-2} mol; 変成ひまし油ポリオールの場合: 1.9940 g, 7.87×10^{-3} mol) を入れて乾燥窒素雰囲気下にした. そこへ, 滴下漏斗を用いてポリオール (TEG-RA-OH: 4.4120g,

7.28×10^{-3} mol; 変成ひまし油ポリオール: 5.0480 g, 3.93×10^{-3} mol) をゆっくりと滴下し, 2時間反応させ両末端にイソシアネート基を有するプレポリマーを合成した. 次に, ブタンジオール (MW = 90.12) (TEG-RA-OH の場合: 0.6582 g, 7.35×10^{-3} mol; 変成ひまし油ポリオールの場合: 0.3642 g, 3.95×10^{-3} mol) を反応させポリウレタンを合成した. この時, 反応が進むにつれて粘度が上昇するため, 65°C に加熱した後, THF 溶媒を加えて反応溶液を希釈しながら撹拌させた. その後生成したポリウレタンをメタノールに沈殿させ回収し, 室温で真空乾燥した.

2.4 エステル結合を有するポリウレタンの分解反応

フラスコにポリウレタン (TEG-RA-PU: 2.3 g, エステル基含量 = 2.2×10^{-3} mol/g; TEG-RA-BD-PU: 5.0 g, エステル基含量 = 1.5×10^{-3} mol/g) を入れ, 溶媒 (TEG-RA-PU の場合: アセトン 100mL; TEG-RA-BD-PU の場合: THF 180 mL) を加えて溶解させた. 次に, 0.5 mol/L エタノール性水酸化カリウム溶液 20 mL (1.0×10^{-2} mol) を加えた後, イオ



Scheme 2 Synthesized ester linkages-containing tetraethylene glycol and polyurethanes with degradable ester moieties.

ン交換水 0.2 mL (1.1×10^{-2} mol) を加え、室温にて 24 時間攪拌しながら反応させた。その後、エバポレーターを用いて溶媒を除去し、生成物を室温で真空乾燥を行った。

2.5 測定

生成ポリマーの分子量は、ゲルパーミエーションクロマトグラフィー (GPC) を用いて測定し、標準ポリスチレン (分子量: 840000, 775000, 186000, 50000, 16700, 2800 または 8420000, 775000, 186000, 50000, 10300, 2800) により作成した検量線を基に数平均分子量 (M_n) と多分散度 (M_w/M_n) をポリスチレン換算で求めた。GPC 本体には島津 LC-10AD, 屈折率検出器には島津 RID-6A を使用した。溶媒には THF を用いて、0.5 wt/vol% に調製した試料溶液を装置に注入し、流速 1.0 mL/min で測定した。

得られたポリマーの構造は、核磁気共鳴スペクトルにより解析した。本体には、LA-500FT-NMR スペクトロメータを使用し、内部標準にテトラメチルシランを用いて、室温で測定した。

ポリマーのガラス転移温度は、示差走査熱量分析 (DSC) によって求めた。本体には理学 Thermo Plus DSC 8230L を使用し、標準サンプルにはアルミナを入れたアルミパンを用い、温度変化を昇降温速度 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ に設定し、窒素雰囲気下で測定した。

ポリマーの熱分解温度は、熱重量分析 (TG-DTA) によって求めた。本体には理学 TG-DTA 8071G1 を使用し、標準サンプルにはアルミナの入ったプラチナパンを用い、窒素雰囲気下で測定した。室温から

Table 1 Characterization of the Obtained Polyurethanes

Polymer	M_n (GPC) ^{a)}	M_w/M_n (GPC) ^{a)}	M_n of Soft Segment ^{a,b)}
TEG-RA-PU	10400	2.92	730
TEG-RA-BD-PU	11500	2.33	730
Modified Castor-Oil-PU	23600	13.71	3540
Modified Castor-Oil-BD-PU	22700	7.50	3540

a) By GPC with polystyrene calibration.

b) M_n of the used polyols.

650°C までの温度範囲で昇温速度 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ の条件で測定した。熱分解温度 (T_d) は、5% 重量減少時の温度とした。

ヒドロキシ末端ポリマーのヒドロキシ基含量及び水酸基価は、アセチル化法によって求めた。ヒドロキシ末端ポリマー 0.3 g を 100 mL のナス型フラスコに取り、そこにアセチル化試薬 (無水酢酸 1.5 mL をピリジン 48.5 mL に溶解させた溶液) をホールピペットを用いて 5.0 mL を加え、還流冷却管を備え付け、オイルバスにより約 100°C で 2 時間反応させた。室温に冷やしてからイオン交換水を還流冷却管の上から約 15 mL 加えて未反応の無水酢酸を完全に酢酸にした。その反応溶液に指示薬 0.1 wt% エタノール性フェノールフタレイン溶液を数滴加え、マグネツスターラーで攪拌しながらビュレットを用いて 0.05 mol/L エタノール性水酸化カリウム溶液により滴定した。同様にブランク試験も行い、両者の滴定値の差より求められたヒドロキシ基相当量とポリマーの重量から、そのポリマーのヒドロキシ基含量と水酸基価を求めた。

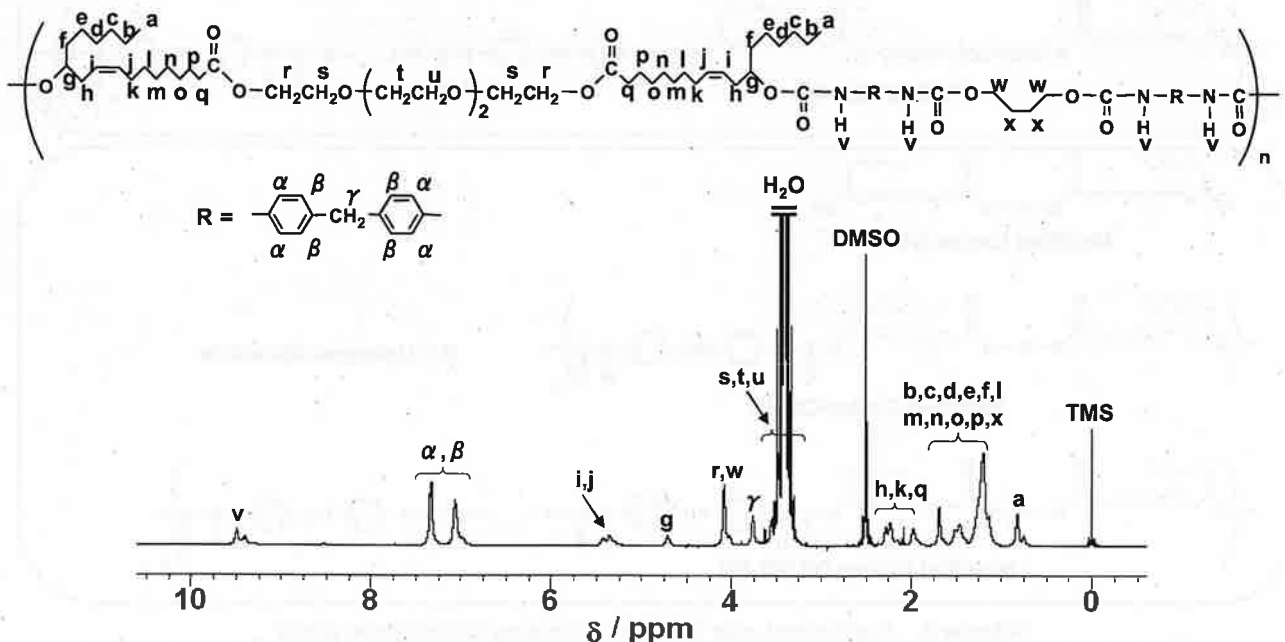


Figure 1 ^1H NMR spectrum of TEG-RA-BD-PU in $\text{DMSO}-d_6$.

Table 2 Solubility of Polyurethanes^{a)}

Polymer	hexane	toluene	Et ₂ O	CHCl ₃	THF	CH ₂ Cl ₂	acetone	ethanol	methanol	DMSO	H ₂ O
TEG-RA-PU	×	○	○	○	○	○	○	×	×	△	×
TEG-RA-BD-PU	×	×	×	×	○	×	×	×	×	○	×
Modified Castor-Oil-PU	×	△	×	△	△	△	×	×	×	△	×
Modified Castor-Oil-BD-PU	×	×	×	△	○	△	×	×	×	△	×

a) Polymer concentration, 1 wt/vol%

○: soluble, △: partly soluble, ×: insoluble.

3. 結果と考察

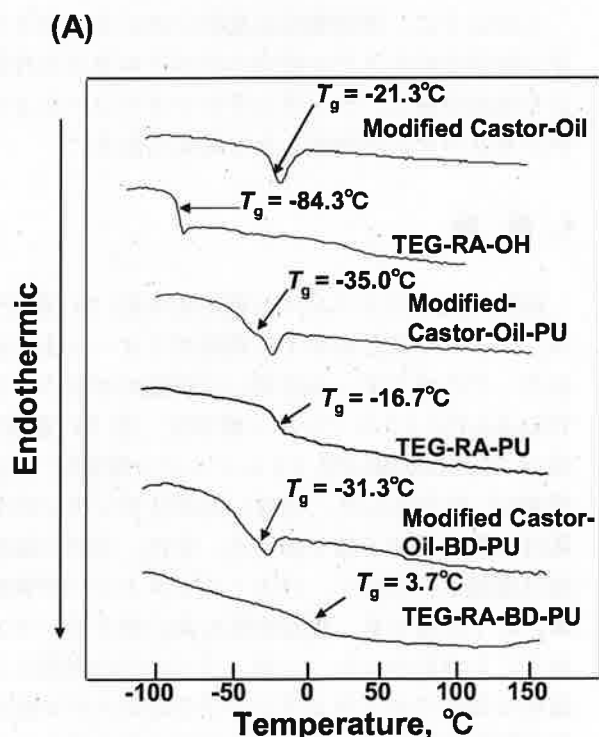
3.1 ポリオール及びポリウレタンの合成

Table 1 に合成したポリウレタンのキャラクターゼーションの結果を示す。まず、TEG-RA-PU 及び TEG-RA-BD-PU のプレポリマーグリコールとして M_n が約 700 の TEG-RA-OH が合成できた。得られた TEG-RA-PU 及び TEG-RA-BD-PU は、分子量が 10000 程度のポリマーであった。また、変性ひまし油ポリオールをソフトセグメントとする Modified Castor-Oil-PU 及び Modified Castor-Oil-BD-PU は、分

子量が 20000 以上のポリマーであった。Figure 1 に TEG-RA-BD-PU の ¹H NMR スペクトルを示す。9.5 ppm 付近にポリウレタンの生成を示すウレタン結合の水素のピーク ν が明確に観測され、その他のピークも目的の構造に帰属できた。

3.2 ポリウレタンの溶解性

合成した 4 つのポリウレタンの溶媒への溶解性を検討した。ここでは 1 wt/vol% の濃度で、室温にて測定した。Table 2 に示すように、TEG-RA-OH と等モルの MDI を反応させて得られたポリウレタンは、ト



(B)

	R	T_d (°C)
Modified Castor-Oil	Unknown structure	334
TEG-RA-OH	$(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_3\text{CH}_2\text{CH}_2$	181
Modified Castor-Oil-PU	Unknown structure	322
TEG-RA-PU	$(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_3\text{CH}_2\text{CH}_2$	297
Modified Castor-Oil-BD-PU	Unknown structure	314
TEG-RA-BD-PU	$(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_3\text{CH}_2\text{CH}_2$	306

Figure 2 DSC thermograms of the polymers during the second heating scan.

T_g : glass transition temperature measured by DSC; second heating scan.

T_d : thermal decomposition temperature measured by TG-DTA; 5 % weight loss.

参考文献

- [1] 福嶋 邦彦 編：植物由来プラスチックの高機能化とリサイクル技術，サイエンス&テクノロジー (2007)
- [2] 橋本 保：高分子，57-5，350 (2008)
- [3] 松永 勝治 編：最新ポリウレタン材料と応用技術ーポリウレタン創製への道ー，シーエムシー出版 (2005)
- [4] 浜口 隆司：機能材料，26-4，45 (2006)

技術者入門授業「工業と技術者」における創造技法「ワークデザイン」の導入

葛生 伸*

Introduction of a Creation Method “Work Design” in a Lecture “Industry and Engineers” for Undergraduate Students of the Applied Physics Course

Nobu KUZUU*

(Received February 26, 2010)

Practices in an engineer's education class “Industry and engineers” for the junior of the Applied Physics course are reported. One of the goals of the class is to nurture the skill to treat the issues that have no unique answer. General knowledge and writing skill for engineers are also introduced. To nurture the skill to treat the answerless issues, we introduced a creation method called the “work design”. The method should be useful to settle the ethical issues, to avoid the misinterpretation between the goal and the means, and to develop the mind to conjecture the benefits of various interested parties.

Keywords: Engineer's Education, Applied Physics Course, Work Design, Engineering Ethics

1. はじめに

福井大学物理工学科では物理学を中心とする専門教育を行っている。筆者が担当している「熱力学」(2年前期必修)の最初の授業でこの学科を選んだ理由と将来学科で学んだことをどのように活かしたいかをレポート課題として書かせている^[1]。「物理学の工業への応用を学ぶものと期待して入学したのに、物理の基礎ばかりを学んでいる」とか「他の学科と違い、決まった就職先が無い」と書く学生も多い。大部分の学生は卒業生の就職先(業種)や職務内容を知らない。卒業生の多くが技術者になっている実態を考えると、技術者の仕事について学ぶための授業の必要性を感じる。さらに、JABEE 認定基準^[2]によると「技術者倫理」を含む内容の授業が必要となる(表 1)。さらに、「正解の無い問題を解決するためのデザイン能力の育成」も要求されている。以上の背景から平成 17 年度から専門教育科目「工業と技術者」を開講している。その中で「ワークデザイン」とよばれる創造技法を取り入れている。この科目の教育実践を紹介し、実践項目の効果と課題について考察する。さらに、平成 23 年度から開講予定

の授業「創造システムデザイン」における「ワークデザイン教育」の計画と本講義との連携について述べる。

2. 授業の目的および概要

「技術者倫理」や、「正解の無い問題を解決するためのデザイン能力の育成」に加えて、将来どのように「技術者として仕事をしていくか」について知識を与える

表 1 JABEE の学習・教育目標^[2]。

- | |
|--|
| (a) 地球の視点から多面的に物事を考える能力とその素養 |
| (b) 技術が社会および自然に及ぼす影響や効果、および技術者が社会に対して負っている責任に関する理解(技術者倫理) |
| (c) 数学、自然科学、情報技術に関する知識とそれらを応用できる能力 |
| (d) 該当する分野の専門技術に関する知識とそれらを応用できる能力 |
| (e) 種々の科学・技術・情報を利用して社会の要求を解決するためのデザイン能力 |
| (f) 日本語による論理的な記述力、口頭発表力、討議などのコミュニケーション能力および国際的に通用するコミュニケーション基礎能力 |
| (g) 自主的、継続的に学習できる能力 |
| (h) 与えられた制約の下で計画的に仕事を進め、まとめる能力 |

*大学院工学研究科物理工学専攻

*Applied Physics Course, Graduate School of Engineering

ことも重要だと考えた。そこで、

- (1) 技術者の仕事の種類と概要を知る。
- (2) 技術者として必要な「報告」ができる。
- (3) 問題を建設的・発展的に収束する方向で議論ができる。
- (4) 手段と目的を混同せずに業務を遂行できる。
- (5) 倫理観を知識として与えるのではなく、自然な形で倫理的な判断ができるようにするための素養をつける。

などを目差した授業を考えた。これらをふまえて、シラバス¹⁾には以下のような目標を示した。

- (1) 技術者の仕事・役割、生産活動に関する一般知識を学ぶ。
- (2) 技術者としての倫理観を身につける。
- (3) 制限期間内に自分で学び報告する能力を身につける。
- (4) 技術者として必要な自己学習および報告能力を身につける。
- (5) 討論と発表の方法を学ぶ。

これらのうち、(2)~(5)はJABEEの学習・教育目標(表1)と関連している。(2)はJABEEの学習・教育目標(b)に、(3)は(g)、(h)に、(4)は(g)に、(5)は(f)に関連している。

以上の目標達成のため「グループ討論」を取り入れた。さらに、技術者倫理では「正解の無い課題」に対する「決断」を迫られる。そのための手段として「ワークデザイン」と呼ばれる創造技法を取り入れることにした。

平成13年から教育地域科学部伊佐公男教授を代表とするエネルギー環境教育の拠点大学活動^{4)[5]}の中で早稲田大学の黒須誠治教授、中村学園大学吉岡洋一助教授(現松山大学教授)に講師をお願いして2泊3日の合宿を含め40時間余りのワークデザインの研修を行った(平成16年)。筆者もそれに参加し、自己学習のために学校教員向けのテキストを試作した⁶⁾。

その時期に開講準備をしていた「工業と技術者」の中にワークデザインの手法の一部を取り入れることにした。ワークデザインを導入することが授業の目的に適っていると考えたからである。授業の詳細を述べる前に「ワークデザイン」について概説する。

3. ワークデザイン

「ワークデザイン」は1959年に米国のNadlerによって提唱された創造技法である^{7)[8][9][10][11]}。現在、物流システム設計、業務効率化、新製品開発に応用されている。発想法としても注目されている。

図1にワークデザインの概要を示す。設定目標レベルを決めるまでの段階(目標設定段階)と、解決案の

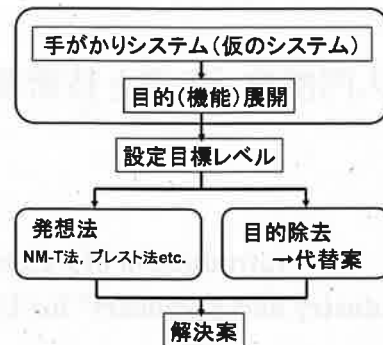


図1 ワークデザインの概要。

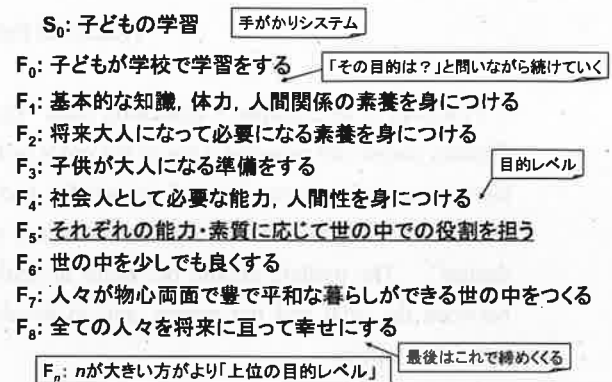


図2 目的(機能)展開の例。

創出(システムの設計)をする段階に大別される。前者は、ワークデザインに固有のものである。

ここでは、目的(機能)展開と呼ばれる手法が重要である。まず、解決したいと考えているものに関連して「手がかりシステム」とよばれる個別具体的な例を考える。図2に目的展開の例を示す。「子どもの学習」を手がかりシステムにした。もっと具体的なものでもよい。「漢字を憶える」でも「九九を憶える」でもよい。手がかりシステムを「~を~する」という表現に直し、 F_0 と番号を付ける。この場合は、「子どもが学校で学習をする」にした。「子どもが学校で学習する目的は?」と自問する。それに対して「~を~する」の形で答えを書く。図2の例では、「 F_1 : 基本的知識, 体力, 人間関係の素養を身につける」とした。このような問いを繰り返していく。最後は、「全ての人々を将来に亘って幸せにする」で締めくくる。それぞれ、 F_n と記したものを目的レベルという。 n の値が大きい程「上位の目的レベル」という。目的展開には、定まった決まりが無い。グループまたは個人で行うが、そのグループの目的意識によって違う展開が可能である。上位の目的レベルは必ず下位の目的レベルを包含していることが必要である。

$$F_1 \subset F_2 \subset \dots \subset F_f \quad (1)$$

ここで、添え字の f は最後の目的レベルであることを

示す。目的レベル間はあまり飛びがないようにすることが重要である。

目的展開を行ったら、どの目的レベルを課題解決のための目標にするかを定める。これを「設定目標レベル」という。図2では下線を引いてある。以下設定目標レベルを下線で示すことにする。課題意識の範囲内で、その目的レベルが他のものに変えられないものを選ぶ。そのために、各目的レベルが他のもので置き換えられないかを検討していく。これを「目的（機能）除去と代替案の創出」という。

設定目標レベルが決まったら、システムの設計に入る。設定目標レベルに対してシステムのアウトプット（産出物）を考える。それに対して、インプットを決める。必要に応じて、インプットには、どのような属性を持っているものがあるかを展開していく。これを「インプットの上方展開」という⁸⁾。さらに、システムを「コンポーネントに分解」して、問題解決のためのシステムを構築していく⁸⁾。

4. 授業の内容

4.1 授業の流れとガイダンス

表2に概要を示す。グループ討論5回（口頭発表1回を含む）、講義9回からなる。レポートと試験を1対1の割合で成績評価する。

初回の授業で授業の目的、各回の内容、成績評価方法等を配付資料（シラバスを詳細にしたもの）に基づき説明する。一組5~6名のグループに名列順に割り当てる。10分程度メンバーが話しあい、グループ名を決める。グループの代表が黒板にグループ名を書く。他のグループに知ってもらうためと、同じグループ名がダブらないようにするためである。その後、10分程度で「技術者は何のために仕事をするのか?」というテーマで「ミニッツペーパー」を各自書く。「何のため」と考える習慣を付けさせるためである。ワークデザインを学ぶ前に、その手法を教えずに考えることもねらいである。このように自分で課題を考えることを通じて課題意識を持ったうえで、ワークデザインの「手法」を学ぶようにする。

4.2 グループ討論とレポート

問題解決能力をつけるために、グループ討論とレポートを活用している。

間に講義を挟んでグループ討論を4回行う。グループ討論では、進行役と記録係を決める。全員に提出用と同じワークシート（A3版）を配付する。各自で考えを自由に書き、他のメンバーに示しながらグループでまとめていけるようにしている。目的展開も各自で試みてからグループ全体で相談しながらまとめるように指導する。討論中は机間巡視をする。その際、質問は

表2 授業内容。

1. はじめに：この授業の進め方。技術者とは。製造業の社会的責任と将来の影響を考えることの必要性。Minutes Paper「技術者は何のために仕事をするのか?」を書いて提出。
2. Minutes Paperを紹介、グループ討論、「ワークデザイン」の簡単な紹介。
3. 様々な産業および技術者の仕事：日本および世界の産業。技術者の種類と役割。
4. 「ワークデザイン」の解説と「目的展開」とよばれる手法の練習。
5. 仕事と報告：報告の方法、報告書の意義と書き方。ビジネス文書の書き方。
6. 生産活動と安全・衛生：労働基準法、安全衛生委員会、日常の安全衛生活動。
7. 品質保証と改善：QC活動の歴史。ISO9000シリーズ。
8. グループワーク：安全衛生および品質保証の目的を「目的展開」を用いて考える。
9. 技術者の職務：研究と開発。営業活動と技術者。
10. 鉱工業生産と環境の問題：公害およびその対策。ISO14000シリーズ。（最終レポート出題）
11. 技術者倫理：技術者として起こりうる倫理問題。正解の無い問題の対処方法。
12. グループワーク：技術者倫理の問題に関して討論。
13. グループワークの発表と意見交換。講評：各グループ毎5分程度で発表。
14. まとめ：全体のまとめおよび最終レポートの講評。（最終レポート返却）
15. テスト。

受けるがこちらの考えを押しつけたり、議論の方向性を誘導したりするような発言は控えるようにする。終了後ワークシートを提出させる。その内容のコピー（現在はワープロで打ち直している）にコメントを記した資料を次回配付し講評する。最後のグループ討論の報告は口頭発表としている。

第2回目の授業で「ミニッツペーパー」の内容とその数を記した資料を配付して紹介をする。続いて、次のテーマから一つ選び30分程度グループ討論を行う。

- ① 技術者が自分の能力、技術などを向上させるのは何のため?
- ② 技術者が社会全体をより便利で豊かにするのは何のため?
- ③ 技術者が与えられた目標を達成するのは何のため?
- ④ 消費者が必要とするより良い製品を提供するのは何のため?
- ⑤ 技術の継承をしていくのは何のため?
- ⑥ 技術者が将来の人たちの生活を考えるのは何のため?
- ⑦ 技術者が安全や環境保全について考えるのは何のため?

いずれも「目的展開」を意識して「～は何のため?」という形になっている。討論終了後ワークデザインと目

的展開について配付資料に基づき説明する。さらにレポート課題として、グループ討議と同じテーマで目的展開行う。

第2回授業出題のレポートは翌週の授業開始前に提出、翌々週（第4回授業）に評価、コメントを付して返却する。このとき、目的展開をうまくできる者もいるが、図3(a)に示すように全く目的展開になっていない者も2~3割いる。

提出されたレポートの目的展開の問題点などを全体に説明した上で、ワークデザインについてさらに詳しく説明する。以下の課題で目的展開をグループで行う。

- ① 始業前に職場で危険予知訓練を行う。
- ② 体調が悪い時に会社を休む。
- ③ 誰も気づいて居らず、悪影響がないと考えられる

- F₀: 消費者が必要とするより良い製品を提供する。
 F₁: 消費者が製品を理解しやすく、誰でも利用でき、愛着を持ってもらう。
 F₂: 消費者からの要望・注意などを満たした製品を提供する。
 F₃: 消費者から提示された要望・注意を努力して解決したときに技術者としての達成感を得る。
 F₄: 消費者の喜ぶ製品が技術者としての生きがい、生きた証となる。
 F₅: 技術者としての成功は、企業への貢献となる、企業への成長にもつながる。
 F₆: 技術者・企業の成功は社会的地位・貢献につながる。
 F₇: 製品の発達は、安全性、信頼性などのサービスも消費者に提供することにより、様々な消費者商品から間接的影響を受ける利害関係者を満足させる。
 F₈: 利害関係者の満足はさらなる製品への探究心を技術者に起こさせる。
 F₉: さらなる製品の発展はいつしか社会の発展につながる。
 F₁₀: 人々が豊かで平和な世の中ができる。
 F₁₁: 未来に亘って人々を幸せにする。

(a) 目的展開になっていない。事象の流れになっている。(第2回出題レポート [個人])

- F₀: 実験室内での飲食物持ち込みを禁止する。
 F₁: 体内に異物混入の危険が少なくなり、実験に集中できる。
 F₂: 実験効率がよくなり、時間に余裕をもてる。
 F₃: 既存の製品にあてる時間が増え、欠陥がすくなくなり、安全性を向上できる。
 F₄: より良い製品をつくる。
 F₅: 会社が利益をあげる。
 F₆: 社員の給料が上がり、消費が活性され、景気よくなる。
 F₇: こころも豊かになり、犯罪が減り、治安がよくなる。
 F₈: 人々の往来が激しくなり、異文化交流がさかんになり、相互理解を深める。
 F₉: 他国の人でも相手を思いやり、平和になる。
 F₁₀: 全ての人々が幸せになる。

(b) 内容は目的展開になっているが、「～を～する」の形になっていない。(第4回授業)

図3 目的展開が不適切な例。

ケアレスミスを上司に相談する。

- ④ 発売前日に気づいた商品の欠陥を上司に報告する。

これらの課題は「何のためにするのか」を深く考えさせるためのものである。最初、各自で目的展開を行い、それを元にグループの答えをまとめる。

目的展開の手法を習得するために次のようにしている。まずレポートを書くために1人で考える。さらに、グループ討論のときも、最初は1人で考える。それをふまえて、グループで意見を交換しながら目的展開をまとめる。これを行うと、目的展開がかなりできるようになってくる。各自がすでに良く考えた上で、意見を出し合うからである。目的展開について理解が不十分だったり、誤解していたりしていた人も、意見交換

- F₀: 専業主婦を家電メーカーの企画担当職員として採用する。
 F₁: 普段、一番家電製品を使っている主婦層に開発に参加してもらう。
 F₂: 開発者では気付かない利点、欠点を主婦に聞く。
 F₃: 消費者のニーズを知る。
 F₄: 消費者のニーズに合った商品を作る。
 F₅: 消費者のニーズにあった商品を世に送り出す。
 F₆: 企業の質を向上させる。
 F₇: 世の中のニーズに更に対応できるようにする。
 F₈: 心身ともに豊かで環境に配慮した世の中を作る。
 F₉: 全ての人々を将来に亘って幸せにする。

(a) 例1 (第8回授業)

- F₀: 勤務時間を厳格に管理し、それ以外の時間仕事をさせない。
 F₁: 仕事以外の時間にゆとりをもった生活を送る。
 F₂: 私生活が充実し、仕事以外のことに興味を持たせる。
 F₃: 仕事以外のことに興味を持つことによって、より広い視野で物事を発想できるようにする。
 F₄: 効率のよい仕事ができるため、コスト削減をする。
 F₅: よりよい設備がととのえられ、消費者に喜ばれる仕事を作る。
 F₆: 消費者が快適な生活を送る。
 F₇: 全ての人々を将来に亘って幸せにする。

(b) 例2 (第8回授業)

- F₀: 計画的に年次休暇を取らせる。
 F₁: 自分の時間を取らせる。
 F₂: 心身ともに余裕を持たせ、心機一転させる。
 F₃: 安定した仕事をできるような環境をつくる。
 F₄: よりよい製品を生み出す。
 F₅: 消費者が満足するような製品を送り出す。
 F₆: 消費者の生活を快適にする。
 F₇: 心身ともにゆとりを持ち、平和な世の中を作る。
 F₈: 全ての人々を将来に亘って幸せにする。

(c) 例3 (第8回授業)

図4 目的展開での良い例。いずれも第8回授業でのグループワークの結果。アンダーラインは設定目標レベル。

することによって修正できる。図3(b)に示すように、まだ不十分なものも多い。「～を～する」など所定の表現になっていないものもある。しかし、多くは目的展開の流れになってくる。この段階では、設定目標レベルを書き忘れるものも多い。

その後3回の講義をはさんで8回目の授業で再びグループ討論を行う。次の課題の中から手がかりシステムを一つ選ぶ。

- ① 特定作業者の健康診断を行う。
- ② 勤務時間を厳格に管理し、それ以外の時間仕事をさせない。
- ③ 計画的に年次休暇を取らせる。
- ④ 専業主婦を家電メーカーの企画担当の職員として採用する。
- ⑤ 労働災害の被災者を労働安全衛生担当者にする。

それぞれに対して、「設定目標レベル」を達成するための制度、方法、システムなどの提案を考えさせている。この段階で、図4に例示するようにほとんどのグループで目的展開ができるようになってきている。それに先立ち、6回目と7回目の授業で「品質保証」と「安全衛生」に関する講義を行っている。

さらに12回目に技術者倫理に関する討論を行う。これに先立ち、環境問題や技術者倫理の基本的な考え方を講義する。グループ討論の少なくとも2週間以上前に最終レポートを出題して、技術者倫理のことを考える準備をする。

最終レポートの課題では筆者が企業で経験した事例に対して、事故の原因、安全対策・安全管理の問題点、事故時の対処の適切性、事故の予防対策などを考える。考察の過程で、目的展開も課している。この段階でも、1割程度は目的展開として内容が不十分、2割程度は一応目的展開になっているが表現が不適切である。

講義による知識の付与とレポートによる各自の思考体験後、グループ討論を行う。事例集^[12]から「フォード社のピント」¹⁾をテーマとして討論させている。そのとき、コストをかけて欠陥車の改善を行うべきかどうかを「消費者や事故に関係する可能性がある全ての利害関係者」および「長い目で見た企業の利益」の立場に対してそれぞれ目的展開する。それをもとに当面の対策、今後の防止策、同様の事象が出た場合の予防システムを考える。13回目の授業でその結果を口頭発表する。発表時間5分、質疑応答2分である。A4版の用紙に書いた資料を、実物投影機でスクリーンに投影する。コメントは簡単なものにとどめ、詳しい講評は最終回に行う。

4.3 講義とその位置づけ

グループ討議とともに講義を行っている(表2)。3回目の授業で「さまざまな産業と技術者の仕事」を説

明する。その前にミニッツペーパーとグループ討議で「技術者は何のために仕事をするのか」を考えておく。さらに、知識を与えたあと、再びグループで考える。

考える事と知識を得ることを交互に行っているのは、応用力や創造力を付けるためには、そのような学習が有効だと考えているからである。すなわち、

- (1) とりあえず自分なりに考えてみる。
- (2) 情報や知識を得る。
- (3) その情報・知識を自分で考えたことと比較する。
- (4) 得られた知識を加えて自分なりに考える。

小学校のころから、学校の授業で何が説明されるかを予想して、それが正しいかどうか確認しながら学習してきたという経験がある人も多いだろう。そのような経験がない人もいるかもしれない。本授業で上記のやり方を導入したのは、多くの人がそのような学習ができるようになって欲しいと思ったからである。

その後「仕事と報告」(5回目)、安全衛生(第6回)、品質保証(第7回)、技術者の職務(第9回)、鉦工業生産と環境の問題(第10回)、技術者倫理(第11回)の講義を行っている。

8回目、12回目のグループワークではいきなり講義で知識を与えてから討論をする。予備知識なしに個人で考え、それを元にグループで討論して自分なりにイメージを持った後に知識を与え、再び個人で考えてから討論するということを繰り返すことが理想だと思っている。しかし、時間の制約からやむを得ずグループ討論前にいきなり予備知識を与えている。

4.4 ビジネス文書作成指導

5回目の授業「仕事と報告」では、報告書などのビジネス文書執筆の重要性と具体的な書き方を学ぶ。筆者の企業勤務経験を踏まえて、報告書執筆の重要性を強調している。報告書の機能(目的)は業務の成果の上司・同僚への伝達、後日のための記録だけではない。「想定読者」に理解してもらうように意識して書くことにより、自分自身の理解の確認や理解を深めることにつながる。このことは、自己学習能力の向上にも資するものと考えている^{[11][13]}。

講義のあと、レポート課題として「社内の親睦行事の案内」、「社内での講演会の案内」、「社外への依頼状」、「社内の報告書」、「社外への報告書」、「送り状」などを具体的に書かせている。提出後添削・コメントして、好ましい文例とともに提出日の翌週返却している。

書く事による自己学習能力の育成は、大学教育の中で非常に大切であると考え、他の専門教育^[11]や共通教育^[13]の授業でも実践している。これらの授業では、最初の時間に「レポートの書き方、注意点」については詳しい配付して説明するとともに、提出されたレポートは添削、コメントを記したものに解答例を付けて返

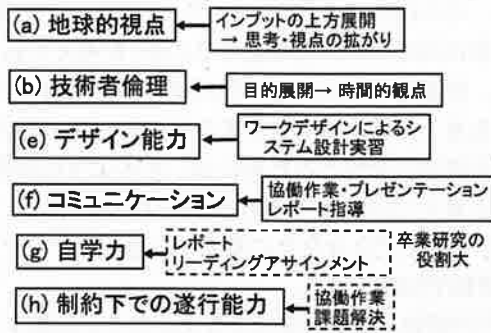


図5 JABEEの学習・教育目標達成のためのワークデザインの適用。

却している。

文書の指導のもう一つの目的は、社会人になってから報告書をスムーズに書けるようにすることである。新入社員にとって「報告書」を書くことは楽ではない。筆者自身も含めて、新入社員が最初、報告書がなかなか書けずに苦労しているのを目にしてきた。報告書をマメに書くと、時間を取られるように思われる。しかし、現在「何のため何をやっているのか」、「何が分かって、何が分からないのか」、「そのために何をやる必要があるのか」が明確になる。それによって、仕事の方向付けができる。忙しいときに書くのは大変なようだが、忙しい時ほど、方向性が見えにくくなるので必要性は高い。慣れればA4版1枚であれば10分程度で書けるようになる。これまで、報告書を執筆することにより仕事の効率が上がることを体験してきた。現在でも、ことある毎に報告書を書くように心がけている。

以上のような体験から、報告書の書き方を練習することにより、新入社員にとっての最初の敷居を低くしておくことが社会人になってからのスタートをスムーズに切るために有用であると考えている。

4.5 テスト

テストは、「技術者倫理の事例に対する考察」および「目的展開」を中心に出题している。基礎知識を問う問題は一切出题していない。知識を試すことも大切かもしれないが、細かい知識は必要な時にまた調べればよい。細かいことは覚えていなくても、必要になったとき、何か聞いたことがあるなど思うだけでも、心理的に敷居が低く学び易くなる。大学生として当然持っているはずの常識と思考力があればできる問題が中心である。したがって、レポートを提出さえしていれば、ほとんどの人が試験にも合格している。目的展開についてはグループワークの時と違って、不完全な者もいる。しかし、8割程度の学生はある程度できるようになっている。

5 本授業の意義と課題

5.1 JABEEの学習・教育目標とワークデザイン

図5にJABEEの学習教育目標(表1)達成のためにワークデザインがどのように寄与できるかを示す。学習・教育目標の(a)「地球的視点から多面的に考える」に対しては、「インプットの上方展開」により、考えている対象に対する想像力、視点を広げて行くことができる。(b)「技術者倫理」に対しては、目的展開によって、その真の目的を突き詰めて考えていくことにより、解決の手がかりが得られる。(f)「コミュニケーション能力」の育成にはグループワークおよびその結果の発表が有効になる。グループワークはワークデザインである必要はない。

本来ワークデザインはシステムを設計するための技法である。そのため、(e)「デザイン能力」を育成するためにも有効な手段である。しかし、半期2単位の「工業と技術者」の中では目的展開を中心とした考え方の習得が基本とならざるを得ない。(g)「自己学習能力」については通常の授業でレポートやリーディングアサインメントなども有効である。(h)「制約条件下での遂行能力」については主に卒業研究に依存することになるであろう。いずれにしてもワークデザインの手法を学ぶことがJABEEの学習・教育目標のいくつかの項目を達成するために有用であると考えている。

5.2 ワークデザインの習得

ワークデザインは大変魅力的な技法であるが、その教育には80~100時間必要であることが書いてある書物もある^[10]。そのため、本授業のように、レポート課題も含めて数時間の練習では習得は不可能だと思われる。そのため、授業では教育内容をワークデザインでの心臓部である目的(機能)展開の習得に絞っている。筆者がワークデザインの講習を受けたとき、現職の小中学校教員やエネルギー産業の関係者が参加していた。それらの人たちの多くはあまり習得できなかった。総計40時間あまりと本授業に比べて長い時間研修を受けたにもかかわらず、目的展開も充分にできない者も多かった。一方、学生の方が習得できているように感じた。実際、教育学研究科の大学院生の1人はワークデザインを「エネルギー環境教育の目的の明確化とそれを達成するシステムの構築」に応用し修士論文とした^[14]。

本授業準備のため、工学部学生3名を対象にほとんどそのままの授業を行った。そこでも、学生にとって目的展開を習得することはそれほど困難ではないことがわかった。以上の経験をもとに「工業と技術者」でのワークデザイン導入に踏み切った。

8回目のグループ討議まで、レポート課題を含めて3回、目的展開の練習をする。この段階で図4に示すように、グループでやれば目的展開がほぼできるようになった。最初のうちは、誤解している者もいる。目的

展開ではなく事象の流れや手順を示しているものも見られる(図3(a)).部分的に目的展開になっていないものもある.中には,さらに設定目標レベルになるような内容を手がかりシステムにしている者もいた.それが,グループで目的展開をすると改善されてくる.グループワークでは目的展開を理解していない人や誤解している人に,理解している人が注意をするからであろう.1人で考えることと,グループで考えることを交互にすることが有効である.交互にやることはワークデザインの習得のために有効であるばかりではない.1人で考えることが得意な人,グループで考えることに向いている人,両方できる人がいる.そこで,できるだけ多くの人が物事を習得できるようにするためには,個人とグループワークを交互に行うことは有効だと考えている.

ワークデザインの指導をはじめて受けたときに,なかなか習得できない人も多いといわれた.実際,筆者が研修を受け研修でも学校の教員やエネルギー産業などの社会人にはなかなか習得できないように感じた.それに対して,学生の方が習得しやすいように感じた.全ては無理にしても,7~8割の学生が目的展開をできるようになる.学生は社会人に比べて社会経験が少ないため,先入観にとらわれていないことが理由の一つだと考えている.

5.3 「目的展開」で個人や組織の将来を考える

「目的展開」はワークデザインに固有で中心となる技法である.目的展開によって「理想的な目標」を設定する.この手法は「理想的なシステム」を設計するための有効な道具であるとともに,「目的と手段を取り違えない」ための手法としても有効である^[6].個別具体的な事項(手がかりシステム)から出発してそれを「何のため」に行うのかを突き詰めていく.例えば,自分は何のために進学するのかを考えないで大学に進学すると,入学したとたんに目的を失ってしまう人がいる.このような時,目的展開によって目的を明確にしておくといふ.高校での進路指導に役立つと思うが,先に述べたように多くの教員がこの技法を身につけることは現状では難しい.エネルギー環境教育の研究会で,学校教員に参加してもらったのは,学校でそのような教育を導入することをもくろんだからである.しかし,受講者の習得状況を見て,現段階での導入は断念した.学校教育現場に普及させる前に,多くの人がワークデザインを習得できるような教育方法の開発が必要である.

最初にワークデザインの研修をうけたとき,企業勤務の人が目的展開をすると「収益を上げる」を目標としてそこでとまってしまふことが指摘された.企業は収益を上げないとその企業の社会的責任を果たすこと

もできない.そのため,絶対必要なことである.しかし,収益を上げることだけを目的とすると,その企業固有の存在価値は何かを見失ってしまう.固有の存在価値を認識していない企業が長く存在することは難しいだろう.ちょうど,志望校に合格することだけが目的化した受験生が,志望校に合格すると目標を失ってしまうのに似ている.学生に目的展開をさせても「収益を上げる」とか「利益を上げる」という目的レベルを書く場合が多い.しかし,それから先,収益を利用して「安定した生産」や「将来への投資」を行い,それを元手にして「本業を通じた社会への貢献」を考えようという流れの目的展開をする.したがって,「収益を上げたあとどのような事をして,社会に還元するか」を考えればまったく問題ない.むしろ,積極的にそう考えるべきかもしれない.学生が「収益を上げる」ということの先に行けるのは,次節で述べるように,最終の目的レベルを「全ての人々を将来に亘って幸せにする」に設定させていることも一つの原因だろう.

5.4 技術者倫理とワークデザイン

最終の目的レベルを「全ての人々を将来に亘って幸せにする」または同等の内容に設定することには,次のような効果があるものと考えている.

- (1) 自分たちだけではなくより広い意味での,利害関係者の利益を考える習慣をつける.
- (2) 多くの人のことに気を配ることが大切であることに気づかせる.

これらは技術者倫理を考える上でも大切なことである.目的展開をすることを通じて,自然に最大多数の幸福という意識を身につける.これは,倫理学の三理論「徳倫理学」,「義務倫理学」,「功利主義」のうち,功利主義に相当する^[15].世の中にはいろいろなタイプの人がある.倫理的に決断をすることが要求される場面で,どのように決断するか非常に大切であるが,全ての人々がそのような能力を伸ばすことができるかどうか疑問である.目的展開を習得することによって,かなり多くの人が他人からの押しつけではなく,自然に自分で納得する形で功利主義の倫理感が身につくものと期待している.判断に迷ったときに,目的展開を行い「何のために人は仕事をしているのか?何のために企業が存在しているのか?」と考えることにより,方向性が見つかるのではないかと考えている.

5.5 「ワークデザイン教育」開発・発展のために

以上述べたように,ワークデザインの中心的な技法である目的展開を授業で取り入れることは「目的と手段を取り違えず」に「倫理的」に仕事をしていく能力を磨く上で有用であると考えている.「ああした方がよい」,「こうした方がよい」と他人から言われたことは,

理屈では分かっていても実行しにくい。一方、自分で考え、気づいたことは実行しやすい。そこで、「目的展開的な発想」によって「本当は何のためにやっているのか」納得したことに対しては実行できる可能性が高い。そのため、目的展開的な発想を社会に広めることは有益であると考えている。

習得には数 10～100 時間近くの教育が必要とされているワークデザインを限られた時間の大学の授業の中で習得することには限界がある。それでも「何のため」と考えることが大切だということに気づくだけでも有益と考え「工業と技術者」の中に導入した。

平成 21 年度に福井大学工学部は「学士力涵養の礎となる初年次教育の充実」で文部科学省の平成 21 年度「大学教育推進プログラム」(GP) に採択された。この中で、問題設定解決型の授業を設けることが謳われている。そのための科目の一つとして理工学学科では 2 年次前期必修科目「創造システムデザイン」(2 単位)を開講し、筆者が担当する予定である。開講は平成 22 年度入学生が 2 年生になる平成 23 年度からである。開講準備のため、平成 22 年度のみ選択科目として試行する。授業設計そのものにワークデザインの手法を用いている。初年度のシラバスは福井大学のホームページに公開される予定である。以下の点に留意して授業設計をした。

- (1) 最初にグループ毎に課題を決める。それによって 4 ヶ月余りの授業期間を通じて一つの課題を考え続ける。
 - (2) 具体的な課題解決をイメージしながら技法を習得する。
 - (3) あらかじめ自分なりに考えてからワークデザインなどの技法を学ぶ。
 - (4) 課題に対しては自分なりにある程度考え、おおよそのビジョンを持った後に、文献調査を行う。
 - (5) 文献調査結果を自分なりの考えと照らし合わせて報告する。
 - (6) 課題としては長期的、全世界的な視点に立って考える必要のあるものを多数用意し、その中から選ばせる。
 - (7) これまで学習過程で「ものの考え方」や「学び方」についてどのように考え、どのように身につけて来たかについて調査をする。
- (6) に示す課題設定については、単に製品開発などにとどまらず、社会システムを考えるような課題を考えている。さまざまな制約条件を考慮し、できるだけ多くの人たちへの影響を考え、人間の心理的なことにも配慮することを要求するような課題にしたいと考えている。その理由は二つある。

- (a) 「製品開発」をテーマにしても、学生は十分な経験が少ない。そこで、専門技術に対する経験

や知識を要求するテーマは避けたい。

- (b) 学生は社会的・職業的経験や知識、先入観が少ない。そのため、将来の社会全体をデザインするような斬新なアイデアがでてくる可能性もある。

現在 40 近くの課題案を考えている。一例をあげると

『未来の交通システム』

屋間の工場やオフィスの駐車場では、通勤用の自動車が使われずにおかれている。大きな駅のタクシー乗り場では、多くのタクシーが客待ちをしている。このような状態は、いろいろな意味で非常に無駄のように思われる。最近では、カーシェアリングなどの試みも始まっている。しかし充分とは言えない。公共交通機関の利用は、都会では便利であるが地方では待ち時間が長いなど必ずしも便利とは言えない。このような、問題を解決して、世の中にある資源を有効に利用しつつ、便利で、低料金で行きたいところに、できるだけ待ち時間なくいけるようなシステムを考えよ。但し、事業者の利益は確保するとともに、人々の雇用を充分確保できるようなシステムであること。さらに、資源枯渇問題や二酸化炭素排出などの環境問題にも配慮すること。』

以上のような授業実践をしながら、「創造性の育成方法」について経験を積んでいきたい。

(7) の「もの考え方、学び方」の調査は個人的には非常に重要であると考えており、いろいろと思いがあがるがその目的については、調査結果が出た段階で調査結果の報告の中で述べることにしたい。

5.6 「評価」の必要性

近年あらゆる世界で「評価」の必要性が叫ばれている。「評価」というと他者からされる評価だけが評価と感じているような議論が見受けられる。しかし、それだけではない。人間は生きて行く上のあらゆる場面で「評価」をしている。例えば、買物をするときにどこのメーカーの商品を買うかを決めることも、対象とする商品の評価をしていることになる。この少し広い意味での「評価能力」が社会で生きていくために重要である。子どもは親や教師からあしなさい、こうしなさいと言われながら善し悪しの判断基準を学んでいく。何をしたら良いのか、悪いのかを判断するのも一つの「評価」である。人のものを盗んではいけませんとか、嘘をついてはいけませんというのは一つの基準である。子どもは幼いころ大人からしかられたり、同級生などの仲間や家族と衝突したりしながら自分なりに善悪の「評価基準」を構築していく。これが、自己の評価能力を付けていく第一歩である。この能力にはもちろん個人差がある。生まれつき評価あるいは判断が可能な

い人もいる。そのような人には特別な支援が必要である。また、分かっている評価基準を逸脱する人がいる。その程度が過ぎると社会秩序が乱れる。そのため最低限の歯止めが法律である。法律で明文化されていないが、誰かが不幸になったり、不利益を被ったりすることにより人間関係や社会に不都合が起こらないような判断基準を考えるために必要な倫理や道徳である。これに対しては自分の中での「評価」能力が要求される。

授業には「成績評価」が伴う。成績評価の本来の目的は「達成度評価」と「達成度に応じた適切な指導」をするための目安を得ることである。JABEEでは、自己学習能力の育成が求められている。「自己学習」でも当然「達成度評価」が必要である。筆者はこれまで「学んだことを他人が納得できるように自分の言葉で説明できること」、「どんな拙くてもいいから学んだことを用いて別の事柄について考えられること」を自分なりの基準としてきた。それを学生に習得させる手段として、「想定読者の立場を考えて、自分の言葉で説明を書かせる教育」をしてきた^{[1][13]}。想定読者を考える効果はその他にもいろいろあるが、その考察についてはすでに報告^[16]しているのでそれらにゆずり、ここでは「評価」という観点に注目した。

自分自身による評価は自己学習における達成度評価だけでなく、自分自身の授業の効果に対する評価の上でも重要である。学生のアンケートや外部評価などの授業参観もちろん手段の一つとして重要である。でもそれだけでは不十分である。工学部の制度として授業の前半・後半合わせて2回の授業評価アンケートをしている。「工業と技術者」に対して、平成20年度に行ったアンケートに対する報告書に要約しているので引用する。

「アンケートの結果、全般的に満足度が高かった。ただし、1回目のアンケートでは、私語を注意するのがうるさすぎるとの指摘がわずかだが見られた。2回目のアンケートでは、そのような指摘はなかった。『全般的に他の専門科目で学べないこと』と『社会人になる上で役に立つことを行っている』という評価が書かれていた。1回目のアンケートでは『グループディスカッションやそれを発表することは意味がない』と指摘した者がいたが、2回目のアンケートでは書かれなかった。2回目のアンケートでは、『レポートの問題の意味が分かりにくい』『グループディスカッションの発表を行うならば、打ち合わせの時間を設けてほしい』との意見があった。後半の数回は、かなり内容を詰め込んでいる感がある。特に後半の授業に余裕を持たせるように、時間配分など工夫していきたい。特に、平成22年度から試験を除いて15回の授業時間が確保されるので、ゆとりを持って授業できるようにしてい

たい。」

このような学生のアンケートによる授業評価が授業改善のための参考になるのは確かである。しかし、学生が書いたアンケートはある一面を評価しているに過ぎない。授業担当者として伝えたいことを学生がその時点で理解しているかどうかはもちろん大切である。それに対しては、テストを適切に行うことも有効である。それ以上に授業の自己評価が大切である。それができないと、毎回の授業をやっていけない。

授業の自己評価の指標として、授業時の学生の目の輝きや表情、うなずきかたや雰囲気を読み取ることも大切である。だれでも、よく感じるのだと思うが、板書するとき、誤字や式の間違いがあると学生たちの雰囲気でわかるというのもその例の一つである。これは、学生との一種のコミュニケーションでもある。

もう一つは、テストやレポートをきちんと返却することである。添削し、コメントを書いて返却するとともに、解答例や全般的なコメントは印刷して配付する。指摘した点が次のレポートで改善されているかどうかを見ることは自分自身が言ったことが伝わっているかどうかの評価にもなるし、学生と一種のコミュニケーションをはかっていることにもなる。これを長年続けることによって、授業を少しずつ改善していく。個人的には、授業の評価手段としてこの方法が一番効果が大きいと感じている。

もっと大切なのは、授業を通じてほんの少しでもいいから学生が将来生きて行く上での指標を与えられるかどうかである。その時はわからなくても、社会経験、人生経験を積むにしたがって、少しずつあるいはあるとき突然意味が分かってくるようなヒントを与えることも必要である。これに対する、自己評価をどうしたらよいかはわからない、学生の将来のことを思う気持ちをもつこと、いろいろな体験を振り返ること、書物や人の話から多くのことを学び自分自身を磨くなど、できることをできる範囲でするしかないだろう。

5.7 授業時間増に対する対応

平成22年度からこれまでの試験を入れて15回の授業から16回の授業を行う事になっている。これに伴い、「技術者倫理」に関する講義を現在の1回から2回に増やす予定である。現在は、駆け足で技術者倫理を概説している。そのため、学生の理解は十分とは言えないだろう。そこで、今までの内容を2回に分け、ビデオ視聴なども含めた事例研究も取り入れていきたい。

授業時間増には関係ないが、安全衛生の話の中で「メンタルヘルス」に関する内容を取り入れたいと考えている。社会人として仕事をする上でも、将来管理職になる上でも重要だと考えるからである。

平成22年度入学生からは「創造システムデザイン」

を受講してから「工業と技術者」を受講するようになる。これに伴って平成24年度から「工業と技術者」も見直す必要がある。その中で、また総合的に「社会人として生きて行く力」の育成を目差していきたい。

5.8 社会人となって必要な能力とその育成

授業の中で、できるだけ企業での体験を話すようにしている。もちろん私の経験は限られている。多くの業種について知っているわけではない。化学系企業としては比較的大きい会社の研究所と中小規模の素材製造業での経験があるに過ぎない。職種も研究員、工場の技術スタッフ（製品検査、製品評価、クレーム処理など）、技術管理、営業技術など限られた仕事しかしていない。偏った経験にせよ、学生にとって企業での実際の経験を話すことは何らかの参考になるであろう。

最近の学生の就職活動を見ていると企業の採用方針変わってきているを感じる。数年前は、就職氷河期と言われた時も含めて、ある程度大学の名前で就職できた。それが、今年は学生自身が何を売り物にできるかを考えているか、可能性を持っているかを真剣に見るようになってきたように感じる。

企業は従業員に際だって高い能力を要求しているわけではない。学校の試験での「得点力」が高いという意味で成績が良いと言うことを要求しているわけでもない。しかし、大学卒業生としてこのくらいの判断力、能力が欲しいという暗黙の基準があるように感じる。それが、「学士力」ということであろう。その際、大学の名前は関係無いと言うことではない。世間で名前を通った大学を出た人ほどハードルが高くなる。だから、大学を選ぶとき、無理に背伸びすることが良いかどうか分からなくなる。これまでは、どこの大学を出たかが問題にされるどちらかという「資格社会」であったのが、どこの（学部、学科も含めて）大学、どこの大学院を出ているのだからこの程度の力を持ってほしいという期待値が判断基準になってくるように思う。このような社会が真の「学歴社会」であると考えている。

本当にそのような世の中になるかどうかは正直なところ分からない。しかし、そのようなことを前提にして学生を教育することは無駄ではないだろう。自分の何を売り物にするのか、それを考えるためにも「目的展開」を中心としたワークデザインは有効な方法である。現状の「工業と技術者」の中では時間が限られている。そのため、そこまで教育することは難しい。しかしながらこれから開講を予定している「創造システムデザイン」の中でワークデザインの手法を習得してから、「工業と技術者」の中でそのようなことを考えさせることは可能であろう。

これからの教育で大切なことは、自分が何のために

生きているのかを考えるとともに、さまざまな立場や場面を考えることの重要性を認識させることであろう。人の立場を考えるといっても、生まれつき気配りのできる人も、人の立場や気持ちを理解することが苦手あるいは困難な人もいるだろう。それに対しては、三つの方法が有効だと考えている。

- (1) 「想定読者」を考えて、その立場を考えて文章を書くこと。
- (2) 目的展開などのワークデザインの技法を習得すること。
- (3) 「工業と技術者」でふれなかったインプットの上方展開とよばれる方法を用いる。

ワークデザインで行う「システム設計」は、生産物としての「アウトプット」とそれを加工する前のインプットを考えることである。学校教育では、さまざまな能力や素養を身につけることが目標となる。一方、教育を受ける人たちにはさまざまな人がいる。それを系統的に分類するように展開していく。このような手法を「インプットの上方展開」とよぶ。これを「創造システムデザイン」の中で練習する。このような訓練は、人の立場を考え、思いやりという気持ちを引き出す上で役に立つのではないかと期待している。「人のことを思いやりましょう」とか「人の立場を考えましょう」と言葉で言うだけでは、分からない人もいる。頭で分かってもなかなか実行できない。でも、現実に商品開発をしていく、社会の中で生きていく、技術者倫理を考えていく、営業や商売をうまくやっていく上で非常に重要なことである。インプットの上方展開をする効果がどの程度あるかは実施してみないとわからない。しかし、このような訓練は非常に重要かつ有用なものであるような気がする。

「工業と技術者」の中では「管理職の役割と素養」について全く触れなかった。これについても、少しでもよいから触れておく必要がある。管理職は本来、人を活かすのが仕事のはずである。能力が10の人は12に、5の人は8の能力を発揮させる。しかし、現実の社会では、その逆の人も多い。そのような能力育成についても、上記の三つの訓練は有用であろう。今後、授業改善のPDCAサイクルを回し経験を積みながら、管理職としての能力育成方法も考えて行きたい。

6. おわりに

福井大学工学部物理工学科3年生を対象とした「工業と技術者」での実践を報告した。技術者倫理を含む問題では、正解の無い問題を考える。答えを得るのではなく決断することが必要である。そのための手法の一つとして「ワークデザイン」と呼ばれる創造技法を導入することを試みた。ワークデザインは習得が難し

いと言われているが、グループワーク、個人の演習を交互に繰り返すことにより学生は社会人よりも習得しやすいことがわかった。これを5年程続けてきたが、現在行っている「工業と技術者」のように欲張った内容の授業の中では、ワークデザインを習得して、それを仕事や人生に応用するには不十分である。今後開講予定の「創造システムデザイン」の授業実践を通して、学生の「社会人として生きて行く力の育成」を図るとともに、筆者自身がいろいろな意味で成長して行きたい。

ワークデザインの効果について、さまざまな観点から考察した。ワークデザインの訓練を通じて「目的と手段を違えない」「倫理的な判断ができる」「さまざまな立場を思いやる態度を引き出す」能力・姿勢を育んでいけるものと期待している。

注釈

1) ピントはフォード社が日欧の小型車に対抗するため、通常開発期間の6割弱の25ヶ月間で開発し1970年に発売したものである。エンストしていたピントが約50 km/hで走っていた車に追突され、燃料タンクが破損・炎上し運転手が死亡した。社内では発売前に欠陥を把握していたが、死亡時の賠償額まで考慮したコスト計算を根拠に放置していた。事故後その事実が発覚し、裁判で多額の賠償金の支払いの判決を受けた。

参考文献

- [1] 葛生 伸：応用物理教育 29-1, 9 (2005).
- [2] 「日本技術者教育認定基準 2010 年度適用」日本技術者教育認定機構 (2010).
- [3] 福井大学工学部物理工学科編：「履修の手引 2009 年度版」 p. 95 (2009).
- [4] 伊佐公男, 中田隆二, 橋場 隆, 塚本令子, 高山知晶, 田中秀史, 後藤麻紀子, 岡倉加代子, 高橋真樹子, 葛生 伸： 応用物理教育 27-1, 41 (2003).
- [5] 伊佐公男, 中田隆二, 手塚広一郎, 岡倉加代子, 高橋真樹子, 浅妻正子, 西村千穂, 田中秀史, 高山智晶, 後藤麻紀子, 竹澤宏保, 葛生 伸, 塚本令子, 多田敏明, 橋場隆： 日本教科教育学会誌 26-3, 87 (2003).
- [6] 葛生 伸：「未来創造思考～学校教育でワークデザインを取り入れるために」福井大学エネルギー教育研究会 (2004) (<http://polymer.apphy.fukui-u.ac.jp/~kuzuu/WD/WD%20Doc/WDtext091204.pdf>).
- [7] 吉谷龍一：「システム設計」日経文庫 (1969).
- [8] 五百井清右衛門, 黒須誠治, 平野雅章：「システム思考とシステム技術」白桃書房 (1997).
- [9] 日比野省三, 日比野創：「ブレイクスルー思考のすすめ」丸善ライブラリー (2004).
- [10] 高橋 誠：「創造力事典」日科技連, p.399, (2002).
- [11] 鷺田小彌太：「分かる使える思考法事典」すばる舎, p. 66 (2003).
- [12] 日本技術士協会訳編：「科学技術者の倫理 — その考え方と事例 —」丸善 (1998).
- [13] 葛生 伸：応用物理教育, 29-2, 3 (2005).
- [14] 西村千穂：『「エネルギー・環境教育」の目的の明確化に基づく教育システムの構築方法」福井大学大学院教育学研究科修士論文 (2005).
- [15] 藤本 温, 川下智幸, 下野次男, 南部幸久, 福田孝之：「技術者倫理の世界」森北出版 (2002).
- [16] 葛生 伸, 伊佐公男, 中田隆二, 石井恭子, 中上純代： 応用物理教育 33 -2, 51 (2009).

