

北見工業大学
 地域共同研究センター
 研究成果報告書
 第8号

MEMOIRS OF THE COOPERATIVE RESEARCH CENTER
 KITAMI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

No.8
 2001



```

double pu = 0.0, pv = 0.0;
int cnt = 0;
for (int l=0; l <= vLev; l++) {
  for (int k=vLev-l; k >= 0; k--) {
    pu += u[cnt]*pow(i, k)*pow(j, l-cnt);
    cnt++;
  }
}
if(pu < dat[now].StartX() || dat[now].StartX() < pu)
cnt = 0;
for (int l=0; l <= vLev; l++) {
  for (int k=vLev-l; k >= 0; k--) {
    pv += v[cnt]*pow(i, k)*pow(j, l-cnt);
    cnt++;
  }
}
if(pv < dat[now].StartY() || dat[now].StartY() < pv)
cnt = 0;

```



```

double lattice[4];
for (int l=0; l <= 1; l++) {
  for (int k=0; k <= 1; k++) {
    try {
      lattice[l*2+k] = dat[now].Get(i+l, j+k);
    }
    catch (TwoDArray::RangeError) {
      lattice[l*2+k] = 0.0;
    }
  }
}

```

表紙写真の説明: 航空写真画像の張り合わせをプログラムを用いて自動的に行った研究成果。角度の調整、画像の色調調整を行うことでシームレスな画像を合成できる。(本文23ページ参照)

目 次

客員教授論文

- キャパシタ蓄電システムによる新エネルギー創成の提案
岡村迪夫((株)岡村研究所) . . . 1

共同研究

区分B

- 氷海域海洋コンクリート構造物の耐久性に関する研究 (第4報)
鮎田耕一・王欣 . . . 7
- ゼオライト混合コンクリートの品質評価に関する研究
鮎田耕一・長谷川俊治・猪狩平三郎・永山明 . . . 13
- 北見市産業構造の調査研究
金倉忠之 . . . 19
- 航空写真接合アルゴリズムの開発
後藤洋平・鈴木茂人・菅原仁 . . . 23
- 天然珪藻土を原料としたVOC吸着・分解能を有するセラミック材料の開発と
健康建材への応用
小林正義・吉田繁夫・堀内淳一・菅野亨 . . . 29
- 移動体通信を利用した簡易型遠隔学習支援システムの研究
藤原祥隆・岡田信一郎・渡部拓己・黒丸鉄男 . . . 35
- 付録：平成12年度共同研究課題一覧 . . . 39

※備考

- 区分A：民間機関等から研究者と研究経費を受け入れるとともに、大学も研究経費の一部を負担し、このため別途国から共同研究経費の配分を受けた研究。
- 区分B：民間機関等から研究者と研究経費を受け入れるが、大学は研究経費を負担しないか、負担しても別途国から共同研究経費の配分を受けなかった研究。
- 区分C：民間機関等から共同研究者のみを受け入れる研究。

キャパシタ蓄電システムによる新エネルギー創成の提案

A Propose of New Energy Sources by Capacitor Power Storage System

客員教授 岡村 勉 (榊岡村研究所)

Michio OKAMURA (Okamura Laboratory, Inc.)

Keywords: Energy Storage, Capacitor, Power Station, Secondary Battery, Electronics

1. まえがき

二次電池ではなくキャパシタに電気を蓄えるECS(Energy Capacitor System)を1992年に発案¹⁾した。当初は時流から離れた空想とも見られたが、北見工業大学および民間企業を含む研究者の支持を得て研究が拡大し、参加者も増え、その後、国の補助金による実証試験が行われ、大小の民間企業による事業化も進行しつつある。

ECSの用途は二大分野にわかれる。第一は自動車工業で、キャパシタを用いたECSによるハイブリッド商用車および乗用車の研究開発が進み、試作も行われ、一部は発売が予告されるに至った。第二の分野である電力貯蔵では、系統から離れた立地条件での太陽光や風力発電の蓄電用が研究され、また電力系統での負荷率改善のため負荷平準化への応用に関する実証研究も行われ、いずれも好成績を挙げた。

教育の分野では北見工業大学において、太陽光によるECSの充放電の研究と検証とが1997年から継続的に行われ、他では得られない成果を挙げるとともに、難解なECSの技術に通暁した指導者や学生を育成した。その間の研究資料や成果は他で逐次発表³⁾されつつあるので重複を避け、本稿ではこの技術の普及と社会への貢献方法の研究と提案とを述べる。

【表1】 2010年度の電力供給目標(電力量)²⁾ (単位: 億 kWh)

区分	1996年度		2010年度	
	電力量	構成比 (%)	電力量	構成比 (%)
原子力	3,021	34.6	4,800	45
石炭	1,237	14.2	1,360	13
LNG	2,037	23.3	2,130	20
水力	838	9.6	1,190	11
一般	713	8.2	980	9
揚水	126	1.4	210	2
地熱	36	0.4	120	1
石油等	1,547	17.7	870	8
新エネルギー	13	0.1	90	1
合計	8,729	100	10,560	100

(注) 1. LNGには天然ガス、燃料電池及びメタノールを含む。 2. 石油等にはLPG、その他ガス及び歴青質混合物を含む。
3. 新エネルギーとは廃棄物、太陽光及び風力をいう。 4. 四捨五入により合計が一致しない場合がある。

【表2】 2010年度末の設備容量目標²⁾

(単位：万kW)

区分	1996年度末		2010年度末	
	設備容量	構成比 (%)	設備容量	構成比 (%)
原子力	4,255	20.5	7,000～6,600	28～26(注1)
石炭	2,028	9.8	3,600	14
LNG	4,914	23.6	6,450	25
水力	4,297	20.7	4,800	19
一般	1,978	9.5	2,120	8
揚水	2,318	11.2	2,680	10
地熱	52	0.2	150	1
石油等	5,243	25.1	3,590～3,990	14～16
合計	20,788	100	25,590	100

(注) 1. 原子力7,000万kWは最近の実績と同程度の設備利用率83%を維持すると想定した場合、6,600万kWになる。(この場合、構成比は26%)

2. LNGには天然ガス、燃料電池及びメタノールを含む。 3. 石油等にはLPG、その他ガス及び歴青質混合物を含む。

4. 四捨五入により合計が一致しない場合がある。

2. 新エネルギーへの希望と現状

世界のエネルギー供給と地球環境の課題に今後どう対処するか、現在の科学技術は未だに明確な解答を与えていない。省エネを徹底し洞穴でタイマツの生活に戻れというのは無理で、世界のエネルギー消費は現状に抑えるのさえ難しい。世界レベルの対策は京都議定書の実行に米国が離脱しかけ、日本も太陽光や風力など自然エネルギーは2010年度で総発電量のわずか1%が目標になっている。表1で新エネルギーと他の発電手段との比較を引用した。表の1996年度は電力量(Wh)の実績値、2010年度は計画の目標値だが、その精度を問う必要がないほど新エネルギーの分担は微々たるものに過ぎない。表2に既存および計画されている設備容量つまり電力(W)での目標値を引用した。こゝには新エネルギーは項目にさえ載っていないが、94年12月に閣議決定された「新エネルギー導入大綱」によると、図1のように太陽光発電を2000年に40万kW、そして2010年に500万kWへの拡大が計画されている。

文献²⁾によれば、こうした計画は日本ばかりでなく、地球環境の問題が近年になって世界各国を動かし、太陽光発電の促進をもたらした。米国ではクリントン大統領が提唱した100万戸 solar roof initiative 行動計画が1998年に発表され、ドイツでは商用電源と系統連系した1～5kWの太陽光発電所を連邦および州の補助金で数千戸の屋根に設置する計画が進んでいる。

3. 新エネルギーに求めるもの

何故これほどまでして世界中が新エネルギーを求めるか。その理由と条件を要約すると、

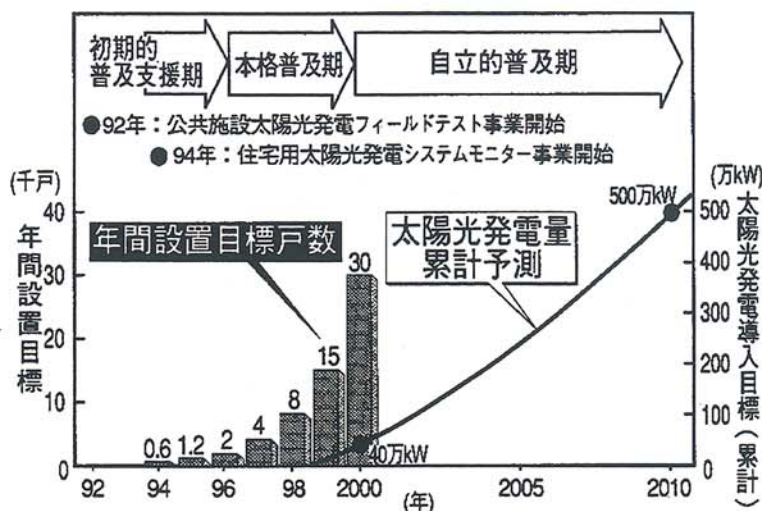
- ①化石燃料の枯渇を防ごう
- ②地球温暖化を防ごう
- ③経済の発展や生活を犠牲にしたくない
- ④費用は余りかけたくない

だが、10年かかって全発電量の1%というのでは、いつになったら新エネルギーに頼れるか見通しが立たない。そこには新エネルギー自体が包含するいくつかの問題点がある。

第一は可能な発電量である。風力も太陽光も、採算可能な風の吹く地点や日当たりの良い、他の問題を引き起こさない地点がいくらかでもあるわけではなく「立地」が課題となる。第二は発電量の安定性である。たとえば最も電力が必要な尖頭負荷日の午後1～3時の間に、これら自然エネルギーは最大出力が得られるとは限らない。新エネルギーの主力と目される風力も太

陽光も、いざというとき当てにできないから、その分の予備発電能力を別に用意して、発電システムの安定性や予備電力を確保する必要がある。上述の二つの制約条件は、新エネルギーが総発電量の中で、無視できるほど小さな割合を占めている間はさほど問題ではない。しかし、新エネルギーの発電量が大きくなると致命的な制約となろう。

【図1】新エネルギー（太陽光発電）導入目標²⁾



4. 蓄電装置と新エネルギー

太陽光や風力、燃料電池までが新エネルギーの一つとして補助金が出ているのに、蓄電設備に対して普及策が講じられていない理由は、太陽光や風力と違って「エネルギーを生産しない」と見られるからであろう。あるいは、特にキャパシタによる蓄電は、ECSによるエネルギー密度の増大が認識されておらず、コスト高で少しくらい補助しても実用レベルになりそうもないと検討対象にさえ採り上げられていないのが実情かも知れない。

しかし、キャパシタ蓄電が新エネルギーと同等またはそれ以上に地球環境の改善に役立ち、太陽電池より安価になるという研究が具体化しつつある。その詳細を以下に述べよう。

太陽電池 1kWp の年間平均発電量は実績値で 1~1.8 kWh という。この値は年間の天候や地域によって異なるが、機器の損失や効率の低下を考慮し以下の試算では簡単に 1 kWh を用いる。太陽電池 1 kWp が 1kWh/day の発電量だとすると、これに相当する電力量を蓄電装置で供給するには、毎日夜間電力で充電するなら 1kWh あればよい。つまり、

$$1 \text{ kWp の太陽電池} \approx 1 \text{ kWh のキャパシタ蓄電装置} \dots\dots\dots (1)$$

ただし電気の量は双方同じでも、蓄電と太陽光発電では条件が異なる。太陽光発電の電力は、曇りや雨の日もあるから、日中の尖頭負荷時に最大出力が得られるとは限らない。他方、キャパシタ蓄電装置の電力は前夜充電しておけば尖頭負荷時に必ず利用できるが、自力で発電するのではないので夜間充電する電力量とそのコストがかかる。

そこで電力量あたりの価値 (¥/Wh) を計算すると、太陽電池で発電した電力の電力量あたりの価値を P_s 、尖頭負荷時など高価な時間に利用できる電力は P_d 、深夜など低廉な時間の電力を P_n とすれば、キャパシタ蓄電の放電電力の価値 $P_d - P_n$ となる。ここから

$$P_d - P_n \geq P_s \quad (\text{単位はいずれも : ¥/Wh}) \dots\dots(2)$$

が成り立つなら、蓄電による電気エネルギーの価値は太陽光発電によるエネルギーに対して同等、またはそれ以上の価値があると見なせる。

上の(2)式に深夜電力料金など現行の電力料金を当てはめるのは容易だが、それでは料金制度に影響され問題を矮小化してしまう。エネルギーの需給全体から見て、電力設備の負荷率が低下すればするほど尖頭負荷時は高価に、低負荷時は余剰電力となるから(2)式の左辺が大きくな

り、确实性の低い右辺 P_s は供給量が増すほど価値が低下するのが当然といえよう。

これらを勘案すると、(2)式の成立に疑いはない。したがって、蓄電後放電されるエネルギーの価値は、充電コストを差し引いても、自然エネルギーで発電される電力の価値に劣らない。

5. 蓄電電力の環境負荷

蓄電が自然エネルギーに比べられないとするもう一つの論点がある。「深夜電力で充電する」といっても、深夜電力も化石燃料を燃して発電しているのではないか。それを無公害の自然エネルギーと同列に扱えるか。

自然エネルギーが無公害かどうかは別に論じるとして、太陽光や風は必要ときに発電できるとは限らない。水力や非化石エネルギーの原子力あるいは核融合は昼夜を問わず定常的な発電が求められる。ランダムあるいは定常的な発電電力を非定常な使い方をする人間の需要に合わせるには、十分に発電して余分は捨てるという方法でも採らない限り、効率の良い蓄電が必須である。つまり、脱石油、CO₂削減を進めれば進めるほど、蓄電装置の必要性あるいは利用効果は増大していくのである。

自然エネルギーが無公害かどうかは別に論じるとして、太陽光や風は必要ときに発電できるとは限らない。水力や非化石エネルギーの原子力あるいは核融合は昼夜を問わず定常的な発電が求められる。ランダムあるいは定常的な発電電力を非定常な使い方をする人間の需要に合わせるには、十分に発電して余分は捨てるという方法でも採らない限り、効率の良い蓄電が必須である。つまり、脱石油、CO₂削減を進めれば進めるほど、蓄電装置の必要性あるいは利用効果は増大していくのである。

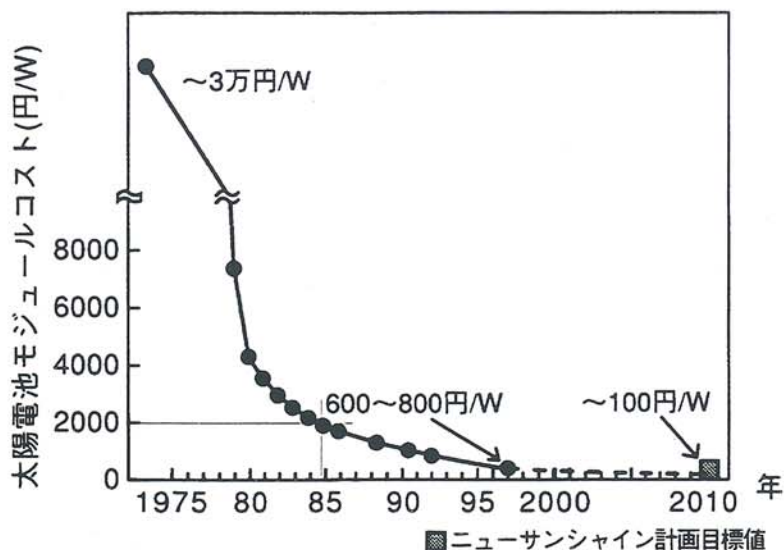
6. キャパシタ蓄電装置はなぜ高価か

EC Sのこれまでの実績や見積もりで、キャパシタが安いと言われたことは、恐らく一度もない。なぜそれほどキャパシタが高価かという点、その理由は明瞭で「生産量が少ない」からである。生産量が少なかった新型電池も、太陽電池もそれほど高くないのに、なぜキャパシタは高いか。これも明瞭で、原材料や工場から従来とは違う新規産業を育てる必要があるのに、それを怠っているからである。そう断定する根拠は確かか、そこを解決すればキャパシタの低価格化は可能か、その詳細を次に検討しよう。

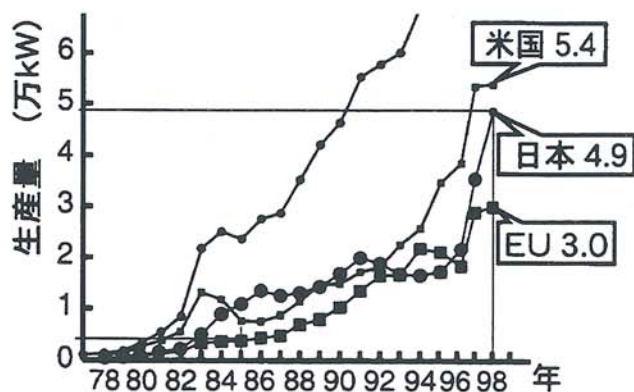
6. 1 太陽光発電の場合

現在では実際に市場で600~800円/W_pで購入できる太陽電池も図2に引用したように、3万円/W_pの時代があり、ここまで来るには20年余りかかっている。その上、太陽電池には普及のための巨額な補助金が注入されて来た。その条件下で、

【図2】太陽電池のコストと予測²⁾

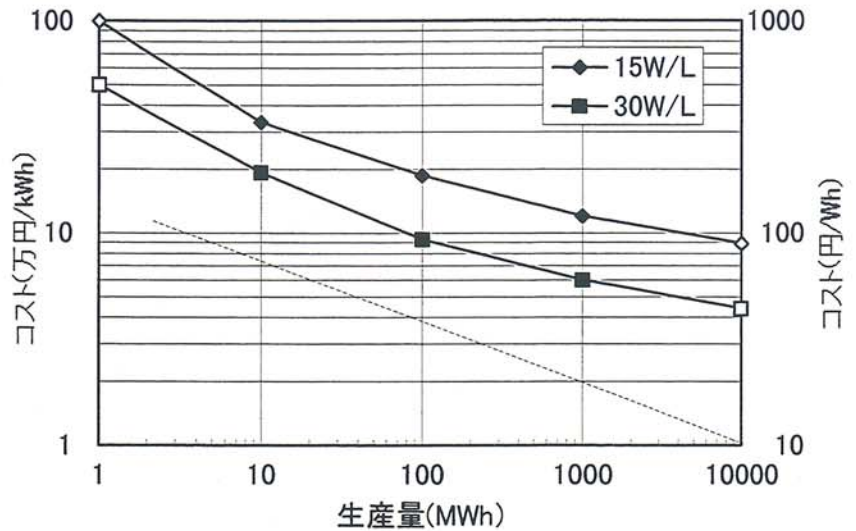


【図3】太陽電池生産量の推移²⁾



たとえば 1985 年の 2000 円/Wp から 15 年かかって 2000 年現在の約 600～800 円/Wp まで下がっている。同年代の生産量の推移を図 3 で見ると、1985 年の 0.4 万 kWp から 98 年の 5 万 kWp まで約 10 倍、2000 年の約 10 万 kWp までで 20 倍の増加である。この間の生産量とコストの関係を算出すると、ほぼマキシシーシルバーストン則の「生産量 10 倍で価格 1/2」に沿っていると見做せる。

【図 4】ECS 用キャパシタの生産量と価格予測



6. 2 揚水発電所の場合

蓄電装置の研究開発に際して、揚水発電所は常に偉大な目標であった。尖頭負荷を担ったこれまでの多くの実績と 20 万円/kW という建設コストは、単価の高い電池をいくら開発しても、届きそうもない標的とさえ見えた。しかし、詳しく研究してみると、別の条件があることが分かってきた。あまり古いものを含めると計算が妥当でなくなるので、最近建設中あるいは計画中の揚水発電所について、その規模と発電機の容量を調べてみた。

それらは 8 地点 12000MW、一個所あたり 1500MW、単機容量は新しいものでは 400～500MW となっている。これにより、我々キャパシタ蓄電装置の研究者は、コスト評価に際して大きな誤りを犯していたかもしれないことに気づいた。それは、いつの間にか 500MW の装置と 18Wh のセルの価格を比較していた可能性が大きいからである。

500MW の発電機が 2～4 時間働くとすれば、1000～2000MWh を発電する。発電所 1 個所で 1500MW なら、コスト計算も少なくとも 3000MWh のキャパシタ生産を前提に行わなくては不公平ではないか。

7. キャパシタ価格の試算

量産した場合のキャパシタの価格試算⁴⁾は既に行われていた。その範囲が 10～1000MWh なので、図 4 には 1 桁左と右に試算値を付け加えた。生産量 1～10 MWh で急勾配に価格が低下しているのは、実験室的な生産から工場生産規模の拡大によるもので、価格の絶対値は低減を続けるが、その低減の比率は規模が大きくなるほど減少する。下に添えた破線は生産量 10 倍につき価格が 1/2 となる勾配で、生産量 100MWh 以上ではこれよりさらに低い低減率で算定している。

7. 1 太陽電池との比較

キャパシタの価格を太陽電池と比較しよう。太陽電池の 2000 年の年間生産量は約 10 万 kWp で、この値は先の(1)式によれば、約 100MWh のキャパシタ蓄電装置に相当する。図 4 から生産量 100MWh における ECS 用電気二重層キャパシタの価格を求めると 100～200 円/Wh を

得る。この値は2000年における太陽電池の価格600～800円/Wpに比べて明らかに安い。太陽電池の将来の価格として、図2では2000～2010年にほぼ1桁低下して100円/Wpを予測している。しかし、図1によると同期間の生産量の伸びは10倍程度なので、材料が全面的にア

【表3】 実用化または開発中の電力貯蔵技術の実績値⁴⁾

電力貯蔵技術	効率 AC-AC	システム 規模	備考
キャパシタ	84%	1kW*4h	週間効率, DC-DC 94%
ナトリウム硫黄	76%	2MW*8h	週間効率, 待機電力含む
レドックスフロー	72%	450kW*2h	週間効率, 補機電力含む
鉛電池	77.7%	30kW*4h	週間効率, DC-DC 86%
超伝導 フライホイール	52.6%	0.3kWh	充電2190秒, 放電1100秒, 待機時間なし
揚水発電	約70%	実用規模	日間効率(≒週間効率)

モルファスに切り換わるなど、余程のことがない限り10倍の生産で1/10の価格という目標の達成は困難であろう。初期のNEDOの太陽電池の価格の見通しは、これまでも何回も改訂されている。これに対してキャパシタの生産が2010年に500万kWp相当、つまり5000MWhになれば50～100円/Wh、つまり5～10万円/kWhの価格はかなり確実に実現可能と見通すことができる。キャパシタ蓄電装置は価格ばかりでなく、日照に関係ないから設置場所の点でも制約が極めて少なく、需要地のごく近くに設置することが可能である。

7. 2 揚水発電所と比較

これまで揚水発電所のコストである20万円/kWと比べると、キャパシタは1万円/Whほどもする現在ではとても競争にならない価格のように見える。筆者自身を含め、多くのキャパシタ関係者でさえそのように思っているかも知れない。しかし、それは誤りであった。

揚水発電所の発電機を3.3で述べたように1基あたり500MW、発電機3基とすると発電所は1500MWほどの規模だから、最低の2時間率を考えてもコスト計算は3000MWhで行うべきであろう。これを図4に適用すると10～5万円/kWhとなり、充分競合できる価格レンジとなる。また、最初のプラント1台で成熟した産業と同価格になる必要はなく、発電所側には立地などの大きな制約があることを考慮すると、充分に競合できるコストと判断できよう。

8. むすび

ここまで述べたように、効果的な蓄電は新エネルギーの一角を担うことができる。その蓄電にキャパシタを提案した理由は、大規模と分散設置のどちらも可能なこと、安全性、そして大量な蓄電システムを導入したときに重要な、表3に引用した充放電効率と二次電池より格段に優れた寿命、低公害性などの点でECSによる電力貯蔵システムがもっとも有利と考えたからである。

こうした科学的事実と根拠を明瞭にした情報を世間に提供し、国家や地球規模の環境・エネルギー政策に反映されるよう理解を広めたいと考えている。

参考文献

- 1) 岡村迪夫：電気二重層キャパシタと蓄電システム，改訂2版，日刊工業新聞社（2001-2）
- 2) 鈴木胖，山地憲治：エネルギー負荷平準化，エネルギー・資源学会（2000-11）
- 3) 新山信一郎，Om Romny，中村宏一，山城 迪，三井克司，山岸政章，岡村迪夫：新型電力貯蔵装置 ECS を用いた PV-ECS システムの開発，T.IEE Japan, Vol.120-B, No.2, p264-270, 2000.
- 4) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：負荷平準化新手法実証調査 最終報告書（2000-3）

氷海域海洋コンクリート構造物の耐久性に関する研究(第4報)

—海水の作用を受けたコンクリートの飽水土—

A Study on Durability of Marine Concrete in Cold Regions (Fourth Report)
—Degree of Saturation of Concrete Affected by Sea Water—

鮎田 耕一 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

王 欣 (北見工業大学大学院物質工学専攻)

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)

Xin WANG (Kitami Institute of Technology)

Key words: sea water, freezing-thawing, scaling, pore structure, degree of saturation, micro structure

1. 序論

寒冷地の海洋コンクリート構造物ではスケーリングの発生が激しいことが知られている。著者らは、スケーリングの発生原因を解明するため、コンクリート表層部に着目し検討してきた^{1) 2)}。その結果、海水の作用により凍結水量が増加し、凍結融解作用を受けると凍結水量がさらに増加し、劣化をもたらすことを明らかにした。しかし、海水または凍結融解の繰返し作用によってコンクリートの凍結水量が増加するプロセスや、耐凍害性を支配する基本的な要素である細孔構造の多孔化に伴う飽水度の変化などに関してはまだ明確にされていない。

そこで本研究では、海水中における凍結融解の繰返し作用がスケーリングの発生に与える影響を明らかにすることを目的として、細孔構造と質量の変化及び微細構造の観察から飽水度と凍害劣化の関係について検討した。

2. 実験方法

2.1 供試体

供試体は W/C=50% (W=508kg/m³) の $\phi 1 \times 2$ cm と $\phi 0.5 \times 1$ cm の円柱モルタルを用いた。このような供試体を用いたのは供試体寸法が小さいほどコンクリート構造物の露出面に近い性状を表すからであり、同様の手法で行った筆者らの結合水量に関する実験³⁾から、本研究に用いている微小供試体はコンクリート部材露出面からおおよそ 5mm 程度以内の部分の性状を表すことが明らかになっている。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は標準砂を使用し、フロー目標値は 170 ± 5 cm とした。供試体は型詰め後約 24 時間、室温約 20°C、湿度約 90%の室内で養生し、型枠を取り外した後、材齢 28 日まで約 20°Cの海水あるいは淡水に浸してから、それぞれの浸漬水中における凍結融解試験を行い、細孔構造と質量を測定し、微細構造を観察した。

(1)凍結融解試験 精密低温恒温水槽 (215×135×145mm) を用い、プログラム制御により供試体温度を図-1 に示すように、最高温度+10℃、最低温度-20℃とし、1日6サイクル与えた。供試体は1条件につき3個とした。

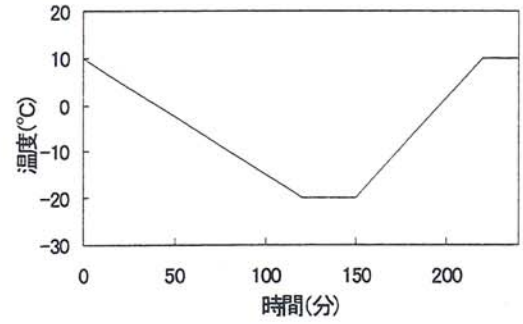


図-1 凍結融解試験の温度プログラム

(2)細孔構造 凍結融解試験前後の供試体を2.5~5mmの大きさに粉碎し、アセトン中で洗浄後D-Dry (以後D-乾燥)により水和を停止させ、水銀圧入式ポロシメータにより半径3.8~5.6×10⁴nmの範囲の細孔分布と総細孔容積を測定した。

(3)微細構造 凍結融解試験前後の供試体(φ0.5×1cm)を使用し、アセトン中で洗浄後D-乾燥により水和を停止させ、金箔を表面蒸着してから走査型電子顕微鏡(SEM)により加速電圧20kVで観察を行った。

(4)質量 供試体の凍結融解開始前(材齢28日)の表乾質量(w₀)、凍結融解2サイクルごとの表乾質量(w₁)、D-乾燥後の質量(w₂)、及びスケーリング片のD-乾燥後の質量(w₃)を計量し、式(1)からスケーリング発生率(H_n)、式(2)から飽水度(s_n)を求めた。

$$H_n = \frac{w_3}{w_0} \times 100 \quad (1)$$

ここに、H_n : スケーリング発生率 (%)

$$s_n = \frac{V_w}{V_t} \times 100 \quad (2)$$

ここに、s_n : 飽水度 (%)

V_t : 供試体の総細孔容積 (mm³) = V × W₁

V_w : 細孔中の水分の容積 (mm³) = (w₁ - w₂) / ρ

ρ : 水の密度 (≒ 1.0 × 10⁻³ g / mm³)

V : 1 g あたりの供試体の総細孔容積 (mm³/g)

3. 実験結果及び考察

3.1 細孔構造

図-2, 図-3 に材齢28日まで海水/淡水に浸漬した供試体(φ1×2cmとφ0.5×1cm)の細孔構造と総細孔容積を示す。

図-4 に凍結融解サイクルに伴う海水浸漬供試体(φ1×2cm)の細孔構造の変化, 図-5 に同じく海水/淡水浸漬供試体(φ1×2cm)の総細孔容積の変化を示す。また, 図-6 に凍結融解作用後の海水/淡水浸漬供試体(φ0.5×1cm)の細孔構造, 図-7 に海水/淡水供試体(φ0.5×1cm)の凍結融解サイクルに伴う総細孔容積の変化を示す。

これらの結果から次のことがいえる。

- (1) 図-2, 図-3 から材齢 28 日まで海水に浸漬すると, 淡水の場合に比べて耐凍害性に影響を及ぼす半径数 $10^2 \sim 10^3 \text{nm}$ の細孔が多くなり, 総細孔容積が増加する. 総細孔容積は多い順から, $\phi 0.5 \times 1 \text{cm}$ 海水 $>$ $\phi 0.5 \times 1 \text{cm}$ 淡水 $>$ $\phi 1 \times 2 \text{cm}$ 海水 $>$ $\phi 1 \times 2 \text{cm}$ 淡水である. このことからコンクリート露出面に近いほど多孔化しやすく, 特に海水の作用を受けるとそれが顕著になるといえよう.
- (2) 図-4 から海水中では凍結融解サイクルの増加に伴い, まず半径数 10^2nm 以上の細孔が増加し, さらにサイクルが進むと半径 10^3nm 以上の細孔も多くなり, 海水中の凍結融解作用により細孔構造が徐々に粗大化している. 一方, 半径 10nm 前後のゲル空隙サイズの細孔も多くなっている.
- (3) 海水中で凍結融解作用を受けると, 半径 10nm 前後と数 $10^2 \sim 10^3 \text{nm}$ の細孔が多くなるものの, 図-5 に示すように凍結融解サイクルの増加に伴って総細孔容積は必ずしも増加していない.

この理由として次のことが考えられる.

ある最低温度での凍結融解作用により粗大径の細孔中の水分は凍結するものの体積膨張により水分が未凍結の細孔へ排出されるため破壊的な水圧は発生しない. 一方, 小さい径の細孔中の水分は凍結点が高いため凍結していない. しかし, 中程度の径の細孔中の水分は, それより大きい径の細孔がすでに凍結しているため未凍結の小さい細孔までの移動距離が長くなる. このため中程度の径の細孔は破壊されやすく⁴⁾, 大きい径の細孔になるが, 元の径の細孔は増加しない. このため, 凍結融解サイクルに伴い細孔径が徐々に大きいほうに分布するにもかかわらず, 総細孔容積は必ずしも増加しない.

- (4) しかし, 図-6 に示すように, $0.5 \times 1 \text{cm}$ の海水浸漬供試体では, 凍結融解サイクルの増

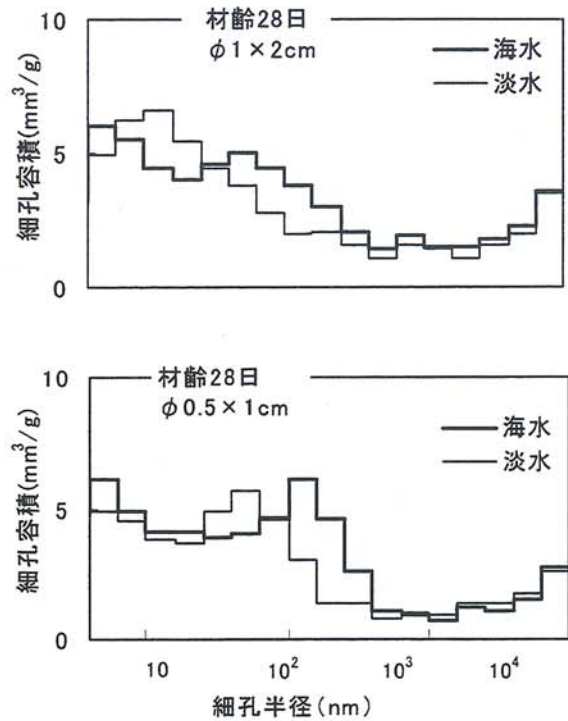


図-2 材齢 28 日の海水/淡水浸漬供試体の細孔構造

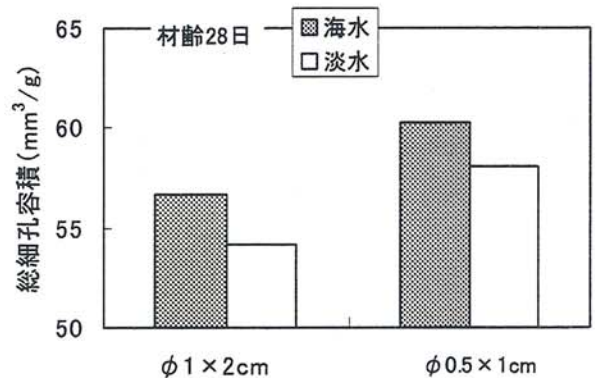


図-3 材齢 28 日の海水/淡水浸漬供試体の総細孔容積

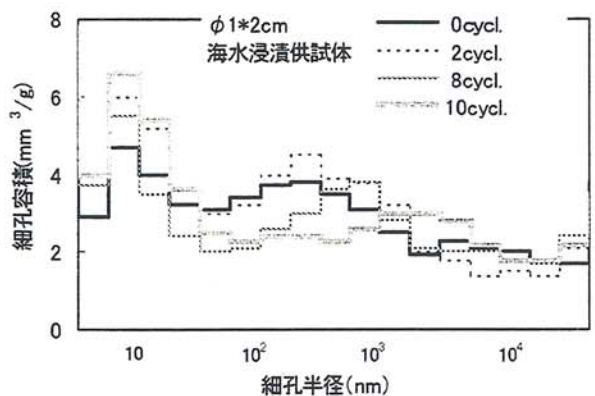


図-4 凍結融解サイクルに伴う海水浸漬供試体の細孔構造の変化

加に伴い半径 10^3nm 以上の細孔の増加が顕著であり、図-7 に示す凍結融解サイクルの増加に伴い総細孔容積も明確に増加している。

このように供試体の寸法によって細孔構造や総細孔容積の変化は異なっており、凍結融解サイクルに伴い小さい寸法の供試体のほうが多孔化している。このことから、凍結融解作用を受けるコンクリート表層部は極めて劣化しやすい状態にあるといえよう。

以上の結果から、海水と凍結融解の複合作用を受けると、コンクリート表層部の細孔構造は粗大化し、スケーリングが発生しやすい状態になっていることが明らかである。

3.2 微細構造

写真-1 に材齢 28 日まで海水/淡水に浸漬した供試体 ($\phi 0.5 \times 1\text{cm}$) 及びそれぞれの浸漬水中で凍結融解を 6 サイクル与えた後の供試体の微細構造を示す。淡水浸漬供試体の微細構造は緻密であるのに対して、海水浸漬供試体のそれは比較的弛緩している。海水中で凍結融解を 6 サイクル与えた後の供試体の場合には、微細ひび割れが発生している。

海水の作用により多孔化したコンクリート表層部は、凍結融解の繰返し作用により破壊され、微細ひび割れが発生し、これがスケーリングの発生原因になっていると考えられる。

3.3 飽水度とスケーリング

図-8 に材齢 28 日まで海水/淡水に浸漬した供試体 ($\phi 1 \times 2\text{cm}$ と $\phi 0.5 \times 1\text{cm}$) の飽水度を示す。図-9 に凍結融解サイクルに伴う飽水度の変化を示す。この結果から次のことがいえる。

- (1) 海水浸漬供試体は淡水浸漬供試体と比べ、飽水度が高い。これは、海水中の Cl^- イオンとセメントペースト中の OH^- イオンが交換し、海水が内部に多く浸透した⁵⁾ ためと思われる。28 日間海水に浸漬した $\phi 0.5 \times 1\text{cm}$ の供試体の飽水度は 95% に達しており、海洋コンクリート構造物の表層部は飽水度が

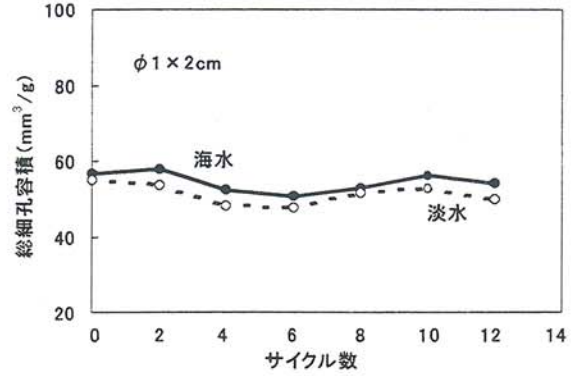


図-5 凍結融解サイクルに伴う海水/淡水浸漬供試体の総細孔容積の変化

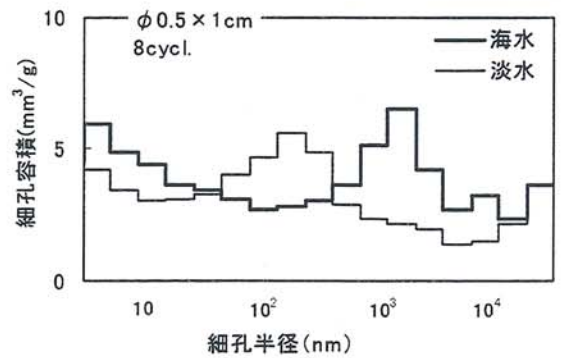
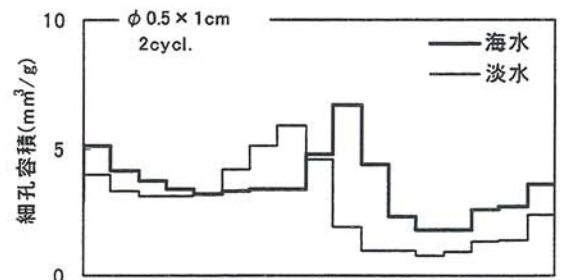


図-6 凍結融解作用後の海水/淡水浸漬供試体の細孔構造

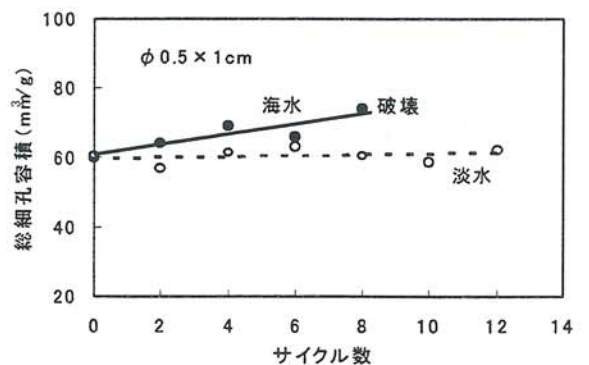


図-7 凍結融解サイクルに伴う海水/淡水浸漬供試体の総細孔容積の変化

高く凍結融解作用により破壊されやすい状態にあるといえよう。

- (2) 海水浸漬供試体は淡水浸漬供試体と比べ、凍結融解サイクルの増加に伴う飽水度の増加が大きい。

供試体が 12 サイクルまでの凍結融解の繰返しを受けるのに要するのは 2 日間なので、飽水度の増加の原因は凍結融解作用によるものと考えられる。したがって、海水中では凍結融解サイクルの増加に伴い、高い凍結圧と浸透圧を受けるとともに、大きな残留ひずみ²⁾と微細ひび割れの発生により、海水が多く浸入し飽水度が増加したと考えられる。

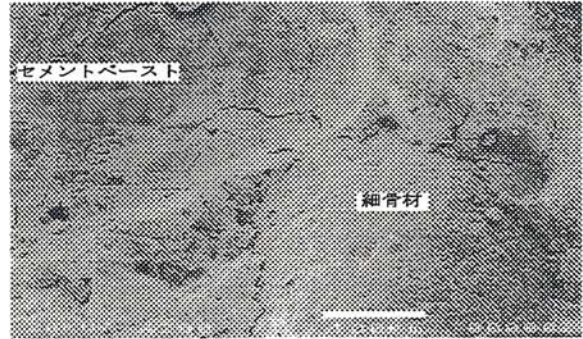
これに対して淡水浸漬供試体の飽水度は凍結融解サイクルに伴ってほとんど変化していない。これは、比較的健全な組織であることと、淡水は海水より内部に侵入しにくいためであろう。

- (3) 海水浸漬供試体では、凍結融解を 2 サイクル受けたときの飽水度が 0 サイクルのときより低下している。これは、凍結融解作用を受け多孔化したものの短時間のため海水が十分に浸入しなかったものと考えられる。凍結融解サイクルが増加するに伴い飽水度が急激に増加し、破壊に至っている。

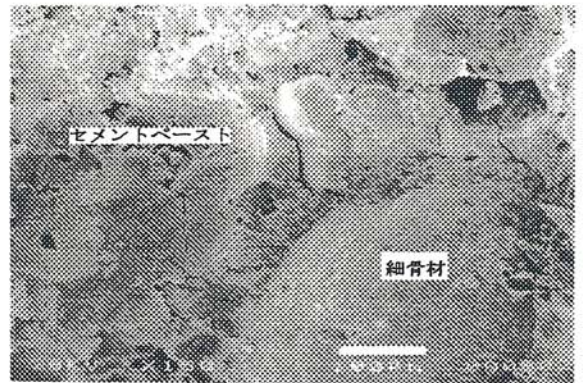
- (4) 海水浸漬供試体の飽水度が凍結融解 4 サイクルから 100%を超えているのは、測定された細孔のほか微細ひび割れにも海水が浸入したためと考えられる。このことから微細ひび割れの発生はスケーリング発生の大きな原因になっていると考えられる。図-10 に飽水度とスケーリング発生率の関係を示す。飽水度が 100%以上になると、すなわち、微細ひび割れが発生するとともにスケーリング発生率が急増し、供試体が破壊に至っている。凍結融解作用による微細ひび割れの発生によってスケーリングが始まると考えられる。



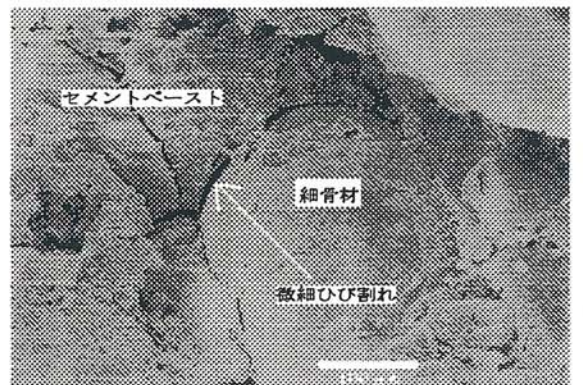
淡水浸漬供試体 (材齢 28 日)



海水浸漬供試体 (材齢 28 日)



淡水中凍結融解 6cycl. 後の供試体



海水中凍結融解 6cycl. 後の供試体

写真-1 凍結融解試験前後の海水/淡水浸漬供試体の微細構造

4. 結論

海洋環境下で凍結融解の繰返し作用を受けるコンクリートのスケーリングの発生メカニズムを明らかにするために、微小モルタル供試体 ($\phi 1 \times 2\text{cm}$, $\phi 0.5 \times 1\text{cm}$) を用いて細孔構造と含水状態の変化を検討するとともに微細構造を観察した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 海水の作用を受けると淡水の場合に比べ、半径数 $10^2 \sim 10^3\text{nm}$ の細孔が多くなり、総細孔容積が多くなる。これによって海水が浸入し飽水度が高くなり、凍害を受けやすい状態になる。
- (2) さらに凍結融解作用を受けると、サイクルの増加に伴い半径 10nm 前後の細孔と $10^2 \sim 10^3\text{nm}$ の細孔が徐々に増加し、セメントペースト組織が弛緩するとともに微細ひび割れが発生する。これによって海水が多く浸入し飽水度が急増しスケーリングを発生させる。

参考文献

- 1) 王欣, 鮎田耕一: 海水の作用を受けるコンクリートの凍結水量と細孔構造, セメント・コンクリート論文集, No. 52, pp. 684-691, 1998
- 2) 王欣, 鮎田耕一, 太田利隆: 海水の作用を受けるコンクリートの凍結水量と凍結変形挙動, セメント・コンクリート論文集, No. 54, pp. 404-409, 2000
- 3) 鮎田耕一, 林正道: 乾燥に伴うコンクリート露出面の強度性状に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第 338 号, pp. 187-195, 1983
- 4) 鎌田英治: セメント硬化体の微細構造とコンクリートの凍害, コンクリート工学 Vol. 19, No. 11, pp. 36-42, 1981
- 5) 尾野幹也ほか: セメント硬化体に与える海水の化学的侵食のメカニズム, セメント技術年報 32, pp. 100-103, 1978

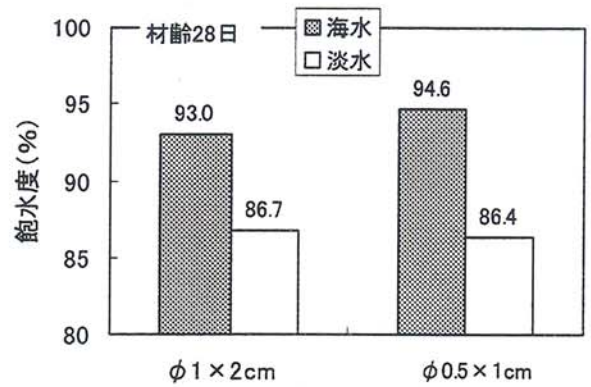


図-8 材齢 28 日の海水/淡水浸漬供試体の飽水度

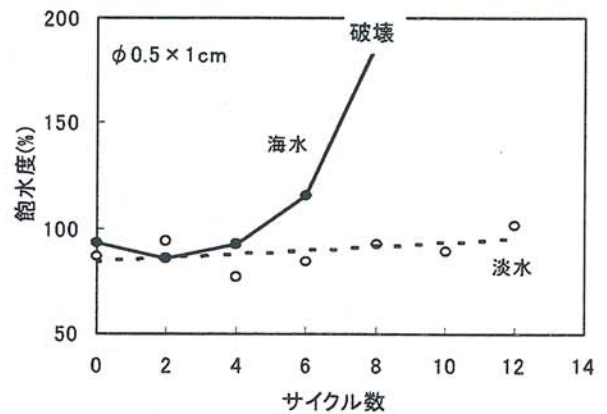
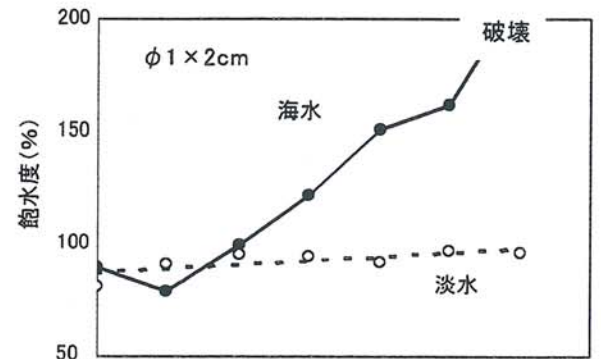


図-9 凍結融解サイクルに伴う飽水度の変化

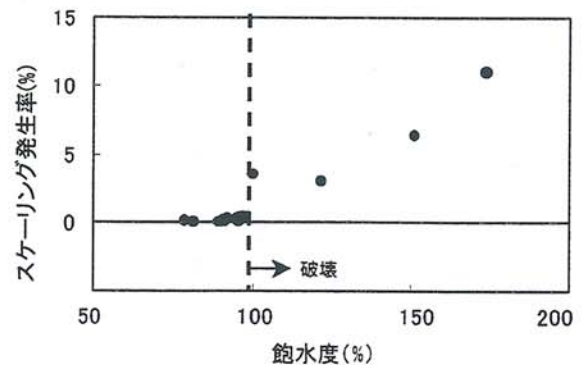


図-10 飽水度とスケーリング発生率の関係

ゼオライト混合コンクリートの 品質評価に関する研究

Study on the Properties of Concrete Containing Zeolite

鮎田 耕一 (北見工業大学工学部土木開発工学科)
長谷川 俊治 ((株)共成レンテム)
猪狩 平三郎 (北見工業大学工学部土木開発工学科)
永山 明 (北見工業大学大学院土木開発工学専攻)

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)
Toshiharu HASEGAWA (Kyosei Rentemu)
Heizaburo IGARI (Kitami Institute of Technology)
Akira NAGAYAMA (Kitami Institute of Technology)

Key words : natural zeolite, freezing and thawing action, compressive strength

1. はじめに

わが国では18道県に天然ゼオライト岩の産地があり埋蔵量も豊富である¹⁾。また、自然界には40種類以上にも上る様々なゼオライトが発見されており、人工ゼオライトまでも含めると、多くの種類が知られている。これらのゼオライトを分類すると、①ホウフッ石群、②ホウソーダ石群、③リョウフッ石群、④ソーダフッ石群、⑤ジュウジフッ石群、⑥モルデンフッ石群となる²⁾。

ゼオライトをコンクリート用混和材として使用した場合に、ゼオライトの特性である吸着、イオン交換性によるアルカリ骨材反応の抑制効果や強度増進効果などがあると報告されている³⁾⁴⁾。

しかし、天然ゼオライトは、天然骨材と比較して強度が低い、空隙率が高く吸水率が大い、密度が小さいなどの欠点があるためにコンクリート用骨材としては実用化には至っていない⁵⁾。

そこで著者らは、細骨材の一部を天然ゼオライトと置換したコンクリートの耐凍害性と圧縮強度について検討した結果、置換率が5%程度までであると圧縮強度が高くなることと、置換率が高くなると凍結融解作用による質量減少率が大きく、スケーリングに対する抵抗性が低くなることを明らかにしている⁶⁾。

本研究では、ゼオライトの特性を生かしてコンクリートの品質向上を図ることを目的として、粒度を調整した天然ゼオライトをそれぞれ細骨材の一部と置換したコンクリートの圧縮強度と耐凍害性について検討した。

2. 実験内容

2.1 使用材料及び配合

表1に使用材料を示す。表2に示すようにゼオライトは粒度調整をしていないもの(粗粒

表1 使用材料

セメント (C)	普通ポルトランドセメント 密度：3.16g/cm ³ 比表面積：3360cm ² /g
細骨材 (S)	札内川産幕別町依田 川砂 表乾密度：2.61g/cm ³ 、吸水率：1.64%、粗粒率：2.65
粗骨材 (G)	札内川産幕別町依田 川砂利 表乾密度：2.63g/cm ³ 、吸水率：1.61%、粗粒率：6.93
ゼオライト (Z)	天然ゼオライト 密度：2.43g/cm ³ 、粗粒率：3.97
AE 剤	天然樹脂酸塩
流動化剤	高縮合トリアジン系化合物

表2 使用したゼオライトの粒度

ふるいの呼び 寸法 (mm)	各ふるいにとまる 量の累計 (%)	ふるいを通る量 (%)	各ふるいにとまる 量の累計 (%)	ふるいを通る量 (%)	各ふるいにとまる 量の累計 (%)	ふるいを通る量 (%)
10	0	100	0	100	0	100
5	0	100	0	100	0	100
2.5	34	66	0	100	0	100
1.2	70	30	56	44	0	100
0.6	95	5	93	7	85	15
0.3	99	1	98	2	95	5
0.15	99	1	99	1	97	3
受皿	100	0	100	0	100	0
粗粒率	3.97		3.46		2.77	
供試体名	5%、10%		2.5mm		1.2mm	

表3 配合

供試体 名*1	置換率 (%)*2	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					AE 剤 (C×%)	流動化剤 (C×%)
				W	C	S	G	Z		
普通	0	55	40	146	265	755	1143	0	0.029	0
5%	5					720		35	0.050	2.6
10%	10					684		71	0.060	4.0
2.5mm*3	5					720		35	0.050	2.8
1.2mm*4	5					720		35	0.050	2.9

*1：以後図中には、この供試体名を使用 *2：細骨材の一部を置換

*3：粗粒率 3.46(ふるいの呼び寸法 2.5mm を通過)のものを 5%置換

*4：粗粒率 2.77(ふるいの呼び寸法 1.2mm を通過)のものを 5%置換

率:3.97)と、ふるいの呼び寸法 2.5mm と 1.2mm を通過するもの(それぞれの粗粒率:3.46、2.77)を使用した。

表3に配合を示す。ゼオライトは単位細骨材量に対して、粒度調整を行っていないものは5、10%置換(以後、5%、10%置換したコンクリート)し、粗粒率 3.46 及び 2.77 のものはそれぞれ 5%置換(以後、2.5mm 以下、1.2mm 以下)している。AE 剤、流動化剤の使用量は、フレッシュコンクリートの空気量が 4.5±0.5%、スランプが 8.0±2.0cm になるように定めた。

本研究で用いたゼオライトは北海道東部で産出される天然ゼオライトで、表4にゼオライトの成分を示す。ケイ酸、酸化アルミニウムを主成分とし、これに、カルシウム、カリ、酸化鉄、ナトリウム、マグネシウムをそれぞれ 1~3%程度含有するゼオライトである。

図1はゼオライトの粉末X線回折結果である。モルデナイトの存在を示すピークが見られるこ

表4 ゼオライト成分

塩基交換容量(CEC)	水分	含有成分 (%)						
		ケイ酸	酸化カルシウム	カルシウム	カリ	酸化鉄	ナトリウム	マグネシウム
(130meq/100g)以上	7.0%	63.3	12.9	3.3	2.8	1.7	0.9	0.7

とから、このゼオライトはモルデナイト系ゼオライトを主成分としたもの(モルデンフッ石群)といえる。この特徴としては、①シリカに富むため陽イオンが少ない、②一般的に塩基交換容量(CEC)はあまり大きくない、③水分子が比較的多く存在する、などである⁷⁾。また、6°近傍に粘土鉱物(スメクタイト)が検出されたことから、粘土分が多いという特徴がある。

2.2 練混ぜ及び打込み

コンクリートの練混ぜには、容量 50 リットルの強制練りミキサを用いた。練混ぜ方法は、ゼオライトを使用していない場合(以後、普通コンクリート)には、細骨材と粗骨材を空練りし、セメント、練混ぜ水、AE 剤を添加し 150 秒間練混ぜの手順で行い、ゼオライトを置換したコンクリートでは、細骨材と粗骨材を空練りし、セメント、ゼオライト、練混ぜ水と AE 剤を添加し 120 秒間練混ぜ後、ミキサを一時停止し流動化剤を添加し 30 秒間練混ぜの手順で行った。ミキサから排出後、円柱供試体(φ10×20 cm)では型枠に 2 層に分け打ち込み、各層を棒状バイブレーターを用いて締め固め、木づちで型枠の側面を軽く叩き仕上げた。角柱供試体(10×10×40 cm)では 1 層で打ち込み、円柱供試体と同様に仕上げた。

2.3 養生

供試体は、型枠のまま恒温恒湿室(室温 20℃、相対湿度 90%)に約 24 時間置いた後に脱型し、所定の試験材齢まで標準養生(20℃水中)を行った。

2.4 実験項目

(1)フレッシュコンクリート

①空気量

JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力方法)」に準拠して、練上がり直後の空気量を測定した。

②スランプ

JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」に準拠して、練上がり直後(0 分)、5、10、15、30、45、60 分後のスランプを測定した。

(2)硬化コンクリート

①耐凍害性

角柱供試体を用い、試験開始材齢 14 日まで 20℃水中養生した後、土木学会規準「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠し、水中における急速凍結融解試験を行い 300 サイクル終了後の質量減少率を求めた。また、ASTM C 666「Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing」に準じて凍結融解 300 サイクル終了後の耐久性指数(DF)を求めた。

②圧縮強度

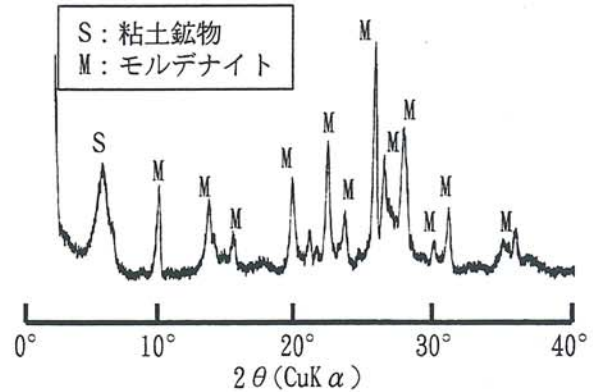


図1 粉末X線回折パターン

供試体の作製は、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に準拠した。

圧縮強度は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し、円柱供試体を用い、試験材齢まで 20℃水中養生を行い、材齢 14, 28 日に試験した。

表 5 実験結果

供試体名	空気量 (%)	スランプ (cm)	圧縮強度 (N/mm ²)		耐凍害性	
			材齢 7 日	材齢 28 日	耐久性指数	質量減少率 (%)
普通	4.7	8.0	24.4	28.4	88	1.90
5%	4.7	8.0	32.0	34.5	85	3.06
10%	4.8	8.0	30.0	33.6	28	3.20
2.5mm	4.6	8.5	32.2	36.6	88	1.81
1.2mm	4.5	8.5	33.7	35.7	77	1.97

3. 実験結果及び考察

表 5 に実験結果を示す。

3.1 スランプロス

図 2 に普通コンクリート(図中:普通)、粒度調整をしていない天然ゼオライトを 5%、10% 置換したコンクリート(図中:5%、10%)と、2.5mm、1.2mm 以下のゼオライトをそれぞれ 5% 置換したコンクリート(図中:2.5mm、1.2mm)のスランプの経時変化を示す。普通コンクリートの測定開始 60 分後におけるスランプロスが 3.5 cm であるのに対し、5% 置換(2.5mm、1.2mm を含む)したものは測定開始から 15 分、10% 置換したものは 10 分でスランプロスが約 4.0 cm となった。また、同じ置換率でも粒度の違いにより比表面積が異なるため、多少の差が見られた。これは、ゼオライトの構造が多孔質であるため、吸水作用が大きく影響していると考えられる。

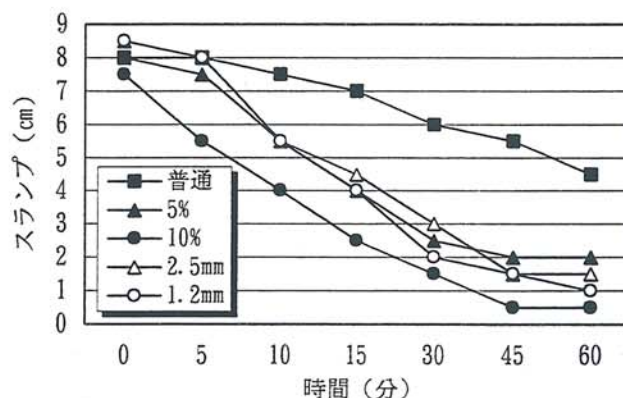


図2 コンクリート種類とスランプの経時変化

これらのことから、天然ゼオライトを細骨材の一部として用いると、置換率や粒度に関わらずスランプロスが大きくなる。

3.2 圧縮強度

図 3 に材齢 14 日、28 日の圧縮強度に及ぼすゼオライトの置換率と粒度の影響を示す。粒度調整をしていないゼオライトを 5%、10% 置換したコンクリートの圧縮強度は、普通コンクリートと比べて高い値を示した。特に 5% 置換したコンクリートの材齢 14 日、28 日の圧縮強度は、普通コンクリートのそれぞれ 1.31 倍、1.22 倍であった。これは、ゼオライトに含まれる SiO₂ がセメントの水和反応によって生じる

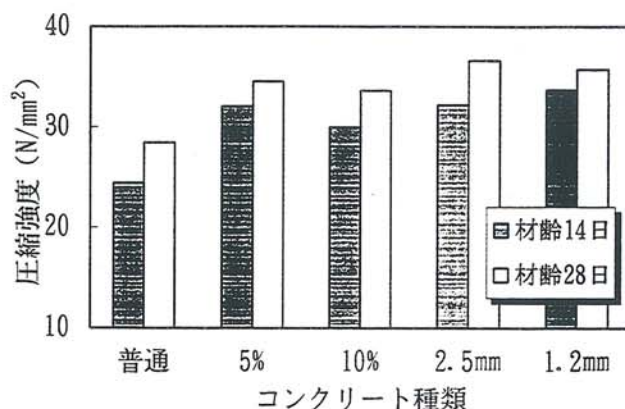


図3 材齢14日、28日の圧縮強度

Ca(OH)₂と反応しケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)を生成し、コンクリート強度の向上に寄与したためと考えられる⁴⁾。しかし、10%置換してもそれ以上の強度増進が見られず、むしろ減少した。これは、ゼオライトは一般にコンクリート骨材に比較して強度が低いことと、本研究で用いている天然ゼオライトは粘土鉱物を多く含み軟質であるため、置換率が増すと圧縮強度の発現が停滞すると考えられる。

2.5mm、1.2mm以下のゼオライトをそれぞれ5%置換したコンクリートの圧縮強度は、粒度調整していないゼオライトを5%置換したものよりさらに高い強度を示した。供試体名2.5mmと1.2mmではあまり差は見られないが、いずれも材齢14日、28日の圧縮強度は、普通コンクリートの1.3倍程度である。これは、ゼオライトの粒径が小さくなることにより比表面積が大きくなり、セメントの水和反応によって生じたCa(OH)₂と反応しやすくなり、より多くのC-S-H相が形成されたためと考えられる。

3.3 耐凍害性

図4にコンクリート種類と質量減少率の関係を示す。粒度調整をしていないゼオライトを用いたコンクリート(図中:5%、10%)の質量減少率は、ともに2%を超えているのに対し、2.5mm、1.2mm以下のゼオライトを用いた場合には、普通コンクリートと同等の質量減少率となった。これは、ゼオライトの平均粒径が小さくなったことにより、多くのC-S-H相が形成され硬化体の組織がち密となりコンクリート強度が向上し、スケーリングに対する抵抗性が増したためと考えられる。

図5に普通コンクリートと粒度調整をしていないゼオライトを5%、10%置換したコンクリートの凍結融解回数と相対動弾性係数の関係を、図6に粒度の異なるゼオライトをそれぞれ5%置換したコンクリートの凍結融解回数と相対動弾性係数の関係を示す。

図5から、普通コンクリートとゼオライトを5%置換したコンクリートの凍結融解回数300回における相対動弾性係数は80%以上であるのに対し、ゼオライトを10%置換したコンクリートは凍結融解回数180回で60%以下となった。

図6から、粒度が異なってもあまり大きな差は見られず似た傾向を示しているが、2.5mm以下のゼオライトを5%置換したコンクリート(図中:2.5mm)は、粒度調整をしていないゼオライトを使用したコンクリート(図中:5%)よりやや高い相対動弾性係数を示した。

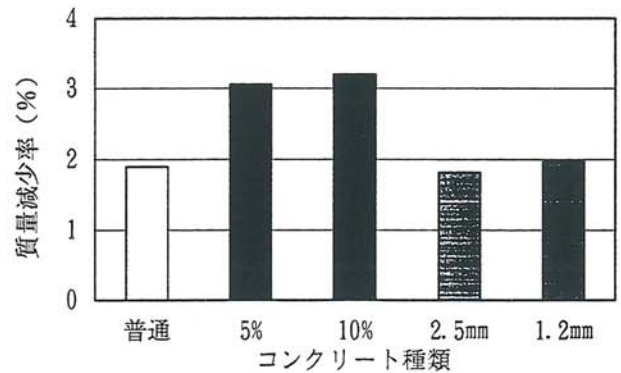


図4 コンクリート種類と質量減少率

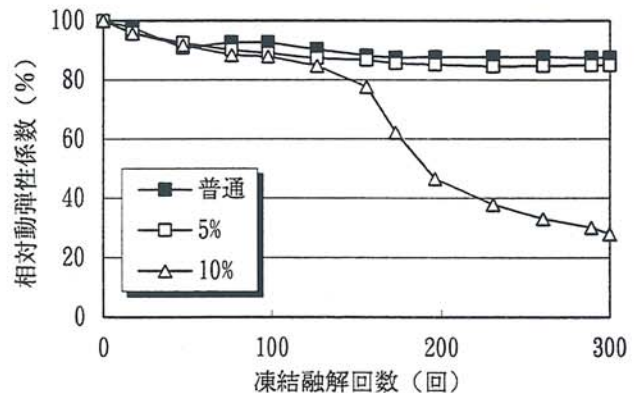


図5 置換率と相対動弾性係数

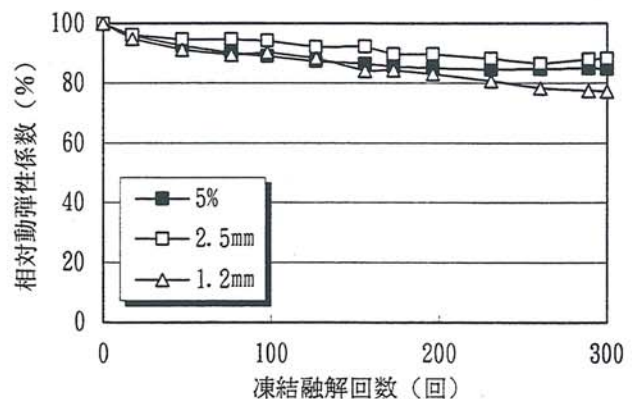


図6 粒度と相対動弾性係数

本研究で用いている天然ゼオライトは、粘土鉱物を多く含み軟質であるため、水に触れると崩れ比表面積が増す特徴がある。しかし、その中で崩れずに粒状で残存するゼオライトがあり、これが凍結融解作用により膨張しコンクリート表層部から劣化するものと考えられる。このことから、ゼオライトの置換率が高い場合には膨張量が多くなり、耐凍害性が低下したと考えられる。

4. 結論

粒度の異なる天然ゼオライトを細骨材の一部と置換し、コンクリートの圧縮強度、耐凍害性に及ぼす影響について検討した結果、本研究の範囲で以下のことが明らかとなった。

- (1)天然ゼオライトを用いたコンクリートは、粒度に関わらずスランプロスが大きくなった。
- (2)粒度調整を行っていない天然ゼオライトを 5、10%置換したコンクリートの材齢 28 日の圧縮強度は、普通コンクリートの 1.2 倍となった。
- (3)粒度調整を行っていない天然ゼオライトを 5%置換したコンクリートの耐久性指数は普通コンクリートと同程度であったが、質量減少率は高くなった。10%置換したコンクリートの耐凍害性は低かった。
- (4)粒度を 2.5mm、1.2mm 以下に調整した天然ゼオライトを 5%置換したコンクリートは、材齢 28 日の圧縮強度が増進し普通コンクリートの 1.3 倍程度となった。
- (5)粒度を 2.5mm、1.2mm 以下に調整した天然ゼオライトを 5%置換したコンクリートの耐凍害性は普通コンクリートと同程度であり、粒度調整を行っていない場合に比べて質量減少率が低くスケーリング抵抗性が向上した。

天然ゼオライトの X 線回折による分析に際し、北見工業大学土木開発工学科の前田寛之助教授にご協力を得ました。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 1)王 宗玉 他：天然ゼオライトを用いたコンクリートの強度特性に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No. 44，pp. 210～215，(1990)。
- 2)逸見 彰男，坂上 越朗：人工ゼオライトが地球を救う，The Japan Times，(1999)。
- 3)王 宗玉 他：天然ゼオライトのアルカリ骨材反応抑制効果に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No. 44，pp. 470～475，(1990)。
- 4)馮 乃謙 他：コンクリートの強度増進材としてのゼオライトの有効性に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，No. 388，pp. 9～17，(1988)。
- 5)高橋 徹 他：天然ゼオライトによるコンクリートのアルカリ骨材反応抑制技術，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 16，No. 1，pp. 1099～1104，(1994)。
- 6)永山 明，鮎田 耕一，猪狩 平三郎：天然ゼオライトを細骨材として用いたコンクリートの耐凍害性と圧縮強度，寒地技術論文・報告集，Vol. 16，pp. 251～254，(2000)。
- 7)逸見 彰男，坂上 越朗：灰から生まれる宝物のはなし，健友館，(1998)。

北見市産業構造の調査研究

Studies on Industrial Structure of Kitami City

金倉 忠之 (北見工業大学共通講座)

Tadayuki Kanakura (Kitami Institute of Technology)

Key words: Heighten the value added, Environment, Convenience, Information technology, Technological seeds, Inter-industry relations

1. はじめに

この調査は、北見市における産業構造の変化と現状を統計的に検証し、北見市における産業の実態を把握するために、各産業の現状、課題、新たな動きを検討することを通じて、地域のもっている資源、技術、人材などのポテンシャル、地域産業と他産業との関わり、産業の新分野ひいては産業クラスターの芽を探ったものである。

そのために、第一に、北見市の業種別特性として、北見市の産業別事業所数と就業者数の傾向的变化を統計資料から検討し、農林業については耕種農業、畜産農業、林業、製造業については食品工業、木工業、機械金属工業、そして卸・小売業とサービス業のそれぞれの業種特性と課題を統計資料やヒアリングなどから検討している。第二に、産業の盛衰を直接的に反映する労働市場の動向を、一般求人と学生の業種別就職状況から捉え、成長業種を抽出している。第三に、新産業の芽の形成につながる地域ニーズと事業化シーズについては、市民と学生の生活環境に関するニーズと、北見工業大学と北海道立オホーツク圏地域食品加工技術センターの事業化シーズを取り上げている。学生と工大教官については、アンケート調査を行った。

2. 産業構造特性の検討

ここでは、第一の北見市の業種別特性についてみてみよう。いま、北見という地域が相対的にどの業種のウエイトが高いかをみるために、北見市を北海道、全国の業種別構成比と対比してみる。全国と北海道との比較による北見市の従業者数の業種別構成比の高さから、いくつかのパターンに類型化できる。

第一は、北海道を大きく上回っている全国以上に高い電気機械器具、第二は、全国を上回る北海道をすら凌いでいる木材・木製品、家具・装備品、窯業・土石製品、第三は、北海道には及ばないものの全国に対しては高い食料品、出版・印刷、第四は、全国や北海道に比べ比率の低い衣服・その他の繊維製品、パルプ・紙・紙加工品、鉄鋼、金属製品、第五は、全国に比べ北海道とともに低い一般機械、輸送用機械という5つのパターンである。これを式で表せば、次のようになる。

[第一のパターン] 北見>全国>北海道 →電気機械器具

[第二のパターン] 北見>北海道>全国 →木材・木製品、家具・装備品、

窯業・土石製品

[第三のパターン] 北海道>北見>全国

→食料品、出版・印刷

[第四のパターン] 北見<北海道≒全国

→衣服・その他の繊維製品、パルプ・紙・紙加工品、鉄鋼、金属製品

[第五のパターン] 北見≒北海道<全国

→一般機械、輸送用機械

ここからいえることは、第一のパターンの業種については、北海道では弱い分野でありながら、全国を引き離すほど、突出した北見独自の産業の強みの一つともなりうるものであるけれども、これは、地域に根ざして集積してきたわけではなく、特定の大企業によるものであるところから、地域経済の過度の依存を含め、むしろ弱さに転換する可能性がないわけではない。重要なことは、その優位な業種の立地を、技術伝播などの面で、地域の産業がなんらかの形でレベルの向上につなげていくことである。

第二のパターンの業種については、北海道特有の業種と比べてよく、そのなかで北見はより特化しているという特色をもっている。製造品出荷額等の業種別構成比でみても、窯業・土石の比率が北海道より低く、全国とほぼ並んでいること、木材・木製品と家具・装備品では、全国より高いものの、北海道とほぼ並んでいることなど、従業者数に比べ製造品出荷額等の比率が低く、北見市におけるこれらの業種では、生産性の面で改善の余地が大きいものとみられる。窯業・土石はこの地域では建設業関連であり、木材・木製品と家具・装備品は資源立地産業であることから、産業としての強弱を併せもつ業種といえる。いかに、技術の高度化あるいは新分野への展開などにより、弱さを強さに転換していくかが課題である。

第三のパターンの業種については、北海道との関係では、よりいっそう層を厚くし北海道の水準まで高めるか、あるいは、道内での分業をすすめることで、全国に対しいっそう優位にたつことが考えられる。それが必要なのは、食料品製造業は北見市にとっては、事業所数、従業者数、製造品出荷額等のいずれでみても重要な柱となっているからである。出版・印刷については、製造品出荷額等の構成比では北海道はもちろん全国にも及ばない比率であり、これも生産性の問題に対処する必要がある。

第四のパターンの業種については、北見市にとくに欠けている、あるいは、弱い業種と比べてよく、これは、製造品出荷額等の構成比についてもあてはまる。これらの業種は全国的にも今後の成長をそれほど期待できない分野でもあり、他のパターンとの産業連関の必要性のなかで対策を考慮すべきように思われる。

第五のパターンの業種については、北見市にかぎらず、北海道にとってもっとも弱い業種である。製造品出荷額等の構成比では、北見市の弱さが北海道以上に強く現れている。北海道全体としても、加工組立型産業は付加価値率が高く、関連産業の集積も期待される業種であるところから、その集積を図る対策が必要とされるが、北見市においても、地域特性をもつ産業の振興と関連させた、食料品加工機械や農業用機械のような加工組立産業を育成する必要性はとくに大きいものと考えられる。

以上からみれば、産業活性化のために、電気機械器具製造業の地元産業との関連づけ、木材・木製品や家具・装備品製造業での新分野への展開等による弱点の克服、柱の一つである食料品製造業の強化、弱点である加工組立産業の育成などが考えられる。

とくに、食品工業については、北見にかぎらず、オホーツク地域における食品工業は、地場の豊富で良質な農・水産資源をもつ優位な第一次産業を背景に発展してきた。北見市の農作物

としては、たまねぎ、ばれいしょ、てんさいが全道的にも特産地として高い位置にある。しかし、一次的に加工された農水産物がそのまま道外へ移出される場合が多く、原材料に対する高付加価値商品化への取組が充分になされてきたとはいえない状況にある。このため、道立食品加工技術センターでは、たまねぎなどを原料とした新しい地域特産食品の開発をすすめてられている。

3. 地域産業の可能性

地域内ですでに実績のある事例にもとづいて検討した、既存産業の活性化・新分野への展開のための、地域産業戦略を方向づけるうえでの要因は次のとおりである。

①資源の有効利用あるいは高付加価値化は、未利用な資源が放置されている地域、あるいは、加工度が低いまま素材が移出されている地域にとっては、なお必要な課題であり、それは、各産業の連関を強め、関連産業の生産を誘発することにもつながる。

②廃棄物のリサイクルや太陽エネルギー利用をはじめ、環境への対応は、これからの新たな事業機会としても大きな可能性をもっているとともに、既存産業の新たな分野への展開の契機ともなりうる。

③除雪問題など市民の地域ニーズのように、生活上のニーズを掘り起こし、生活の利便性を高めていくことは、既存産業の新たな分野への展開につながることにとどまらず、産業・企業の社会的な役割でもある。その際、住民の生活上の隘路を打開するために、地元企業だからこそできる小回りの利く分野に注目する必要性は大きい。

④各産業が今日の情報化社会に対応していくためには、既存産業のIT化は避けられないものとなっている。既存企業にとっては、IT化は合理化・省力化にとどまらず、むしろ、新サービスの展開や事業領域の拡大等という積極的な側面においてこそ効果を発揮することができ、既存産業の停滞を乗り越える手段として活用すべきである。そのために、IT産業を活用することにより、IT産業自体も、多様な分野に適用できるような開発能力をもつようになる。

⑤異業種交流は、異なる業種の交流を通じて、新製品開発や新たな事業機会を育むばかりではなく、とくに起業家にとっては、資本、技術、マーケティング、経営情報などの経営能力の不足のために、イノベーション志向の経営を継続させるうえで、外部の異業種の人や企業とのネットワークを利用することが不可欠となっている。

⑥独立開業に対して、多くの学生は、チャレンジ精神、優秀な人が起業する、個人の力を試す、経済の幅の広がり、大企業による下請けへの負担の増大など、積極的な評価をしている学生が少なくない。独立開業に伴うリスクの負担、資金の手当て、行政の支援などの面での改善によって、そうした障壁が低くなれば、独立開業の魅力もいっそう高まるものとみられる。

ここでは、資源の有効利用・高付加価値化、環境対応、生活の利便性、IT化の動向、異業種間交流、起業家育成を挙げたが、このような地域産業戦略要因を重ね合わせることによって、新たな産業展開の可能性が開けてくるように思われる。これらの要因はこの地域における実績から探ったものであるが、それらに共通する重要な要因は、シーズの技術と産業連関という要因である。

第一に、シーズの技術については、たとえば、資源の有効利用・高付加価値化と関連させれば、地域にある資源を発掘あるいは有効活用し、高加工度化を図るためには、新たな技術開発が不可欠なことであり、また、環境対応、生活の利便性に対しても、技術開発によって新たな

展開が可能となる。研究者の事業化シーズを実用化するうえで、産学が共同して、フィードバックを繰り返しながら新製品を生みだしていく潜在的な土壌の存在は、この地域特有のものといえる。そのシーズの技術こそ、この地域のもつ優位な資源になりうるものである。大学や試験研究機関のシーズの技術が、この地域の産業クラスターのもっとも可能性の高い核なのかもしれない。

第二に、産業連関で重要なことは、素材と加工を関連づけ、関連産業との連関を図ることであり、これは、たとえば、農業と食品加工製造業、林業と木工業（家具、建具、木製品）・建築業というように、素材を加工する既存産業の新分野への展開を迫ることにもなる。また、担い手がなければ、第三セクターのグリーンズ北見のように、新たな加工産業の設立を考慮する必要もあるかもしれない。

加工過程は、たとえば、たまねぎの加工の場合、食品メーカー向けのソテーにとどまらず、スープ、餡・ジャム、菓子へと広げていくように多様で複雑になるほど、多くの関連産業と連関していく。それは、農林水産物を生産する川上や、二次加工、三次加工という川下への生産を誘発する可能性を高めることになる。

地域内で生産されたものを、地域内で加工し、そして、地域内での流通、消費につなげていくように域内循環を高めることは、それまで地域外へ流出していた購買力を域内に取り戻すことでもある。このような連関効果を高めることは、地域産業戦略の基本といえる。こうした視点からみれば、小型除雪機のように、地域特性に対応した試作品の商品化が期待されるだけではなく、たとえば、機械金属のなかで唯一産業といえる農業用機械についても、この地域に適合する、すき間産業だけではない農機具を生産できるようになれば、域外からの購入に替わる移入代替が期待できるかもしれない。

こうした可能性は、各産業・業種のなかで探せば、数多く見いだされるものと思われる。

北見市においては、各産業で各種の新分野への開拓が試みられているものの、まだ、大きな潮流としては育っていない。「厚みに欠けている現状」を克服するには、やはり、より広い分野で、かつ、多様なレベルでの試みがより多く蓄積される必要があるものとみられる。

4. おわりに

産業クラスターは、生産要素、需要、企業間競争、関連支援産業の存在という4つの条件が相互に作用しながら、発展し、さらに競争力を高めるものとされているが、これらの条件を、この地域に引き寄せていえば、①天然資源、人的資源・技術・インフラなど、それぞれの資源の利用に応じて、短期、中期、長期の戦略をたてる必要性があること、②地域における生活の利便性や環境対応など質の高い需要にきめ細かく対応できること、③素材と加工を関連づけ、関連産業との連関を図っていくことや大学・試験研究機関を積極的に活用することであり、④については、地元の企業に対し、ねばりが無い、自立心がない、意欲がないという各層からの意見があり、公共事業で潤ってきた地域の経済が今後きびしさに直面するなかで変化していくものと思われる。

これらの条件を追求しつつ、地域が得意とする優位性がある、地元や研究現場に数多くあるはずの、まずは小規模な産業クラスターの芽となる産業分野を、技術シーズや地域ニーズなどのなかから見い出していかなければならない。

航空写直接合アルゴリズムの開発

Development of an Aerial Photograph Junction Algorithm

後藤 洋平 (北見工業大学工学部情報システム工学科)
鈴木 茂人 (北見工業大学工学部情報システム工学科)
菅原 仁 (システムサプライ)

Yohei GOTOH(Kitami Institute of Technology)
Shigehito SUZUKI(Kitami Institute of Technology)
Hitoshi SUGAWARA(System Supply)

Key words:aerial photograph, geometric transformation, geometric distortion, topographical map

1 はじめに

本研究の目的は、航空機によって大地を撮影した各地の1枚1枚のモノクロ航空写真を接合連結して、その地域全体を表す1枚の航空地形画像を作成するためのアルゴリズムを開発することである。このアルゴリズムを用いてオホーツク圏各地の航空写真を接合して、地域全体を1枚の画像として表し、それから様々なデータを取り出し、地域全体の生活、産業経済や地域の紹介など、各種の利用に役立たせたい。

2章は、航空写真と航空写真間の接合について述べている。この接合では、航空写真の幾何学的歪みを補正する必要があることがわかった。3章では、歪みを取り除くための改善した方法について述べる。これは、航空写真と地形図を照合して接合を行う方法である。地形図には歪みが存在しないので、幾何学的ずれの小さい接合が期待される。しかし、この接合作業は負担を要するので、軽減するためのコンピュータ支援接合アルゴリズムを4章で提案する。

2 航空写真と航空写真間の接合

航空写真は、進行方向に60%、コース間で30%の重複があるように撮影される⁽¹⁾。この重複を利用して接合を行う。その処理手順は、次の通りである。

- (1) 2枚の航空写真のうち、1枚を基準画像、残りを被接合画像とする。画像の重複した領域を照合して、対応する座標点を数組抽出する。
- (2) 抽出した座標対から、基準画像の座標系 (x, y) を被接合画像の座標系 (u, v) に変換する式を決定する。この変換は回転と拡大・縮小と平行移動を想定して、次の線形変換式⁽²⁾とした。

$$\begin{cases} u = a_1x + a_2y + a_3 \\ v = b_1x + b_2y + b_3 \end{cases} \quad (1)$$

ここで $a_i, b_i (i=1,2,3)$ は変換係数を表す。

(3) この変換式を用いて (x, y) 座標を (u, v) 座標に変換し、この点の濃度を最近傍の4点の濃度値から線形補間によって求め、接合画像を得る。

(4) 重複部分を取り除き、1枚の接合画像を作成する。

図1は、上段の2枚の画像の接合から中段左側の破線で枠取られた領域の画像—接合されるべき画像—を得て、下段右側の接合画像を得るプロセスを示す。接合画像は、基準画像と同じ座標系で表している。接合されるべき画像は、基準画像と被接合画像から手順(2)と(3)によって求める。この様子を中段と下段左側に示すが、中段左側の破線の矩形は、右側の被接合画像では傾いて対応している。このため、式(1)で座標変換を行う必要がある。

変換係数は、次の最小2乗方程式を解くことによって求められる。

$$\begin{cases} \min \sum_{k=1}^N [u_k - (a_1x_k + a_2y_k + a_3)]^2 \\ \min \sum_{k=1}^N [v_k - (b_1x_k + b_2y_k + b_3)]^2 \end{cases} \quad (2)$$

ここで k は抽出した座標対の組を表す。この標本数は、精度の高い変換を行うためには、変換係数の約3倍必要である⁽³⁾。今回は変換係数 a_i, b_i がそれぞれ3個であるので、 $N=10$ の座標対を抽出した。座標対は、選択の容易な場所から、空間的に偏りがないように抽出した。道路の交差点や川は良い目印となったが、建物や山中は目印とするのが困難であった。

接合は、画像サイズ 2820×3036 の航空写真に対して行った。図2にその結果の

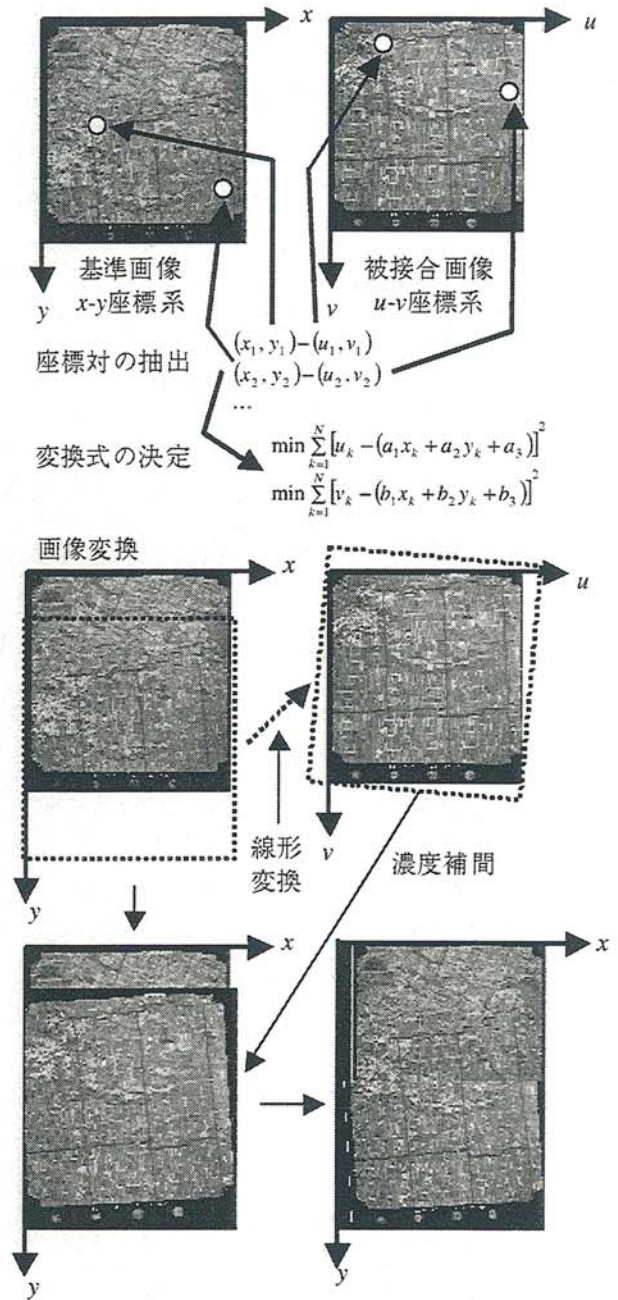


図1 航空写真と航空写真間の接合手順

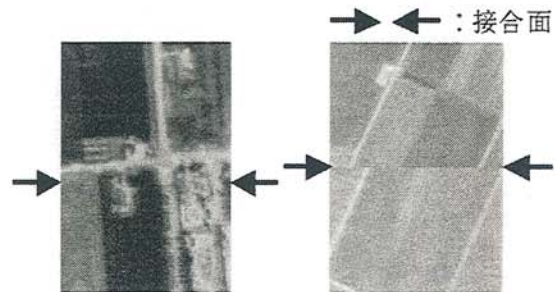


図2 航空写真と航空写真間の接合結果
左：良い例；右：悪い例

例を示す。この接合面のずれは、平均で8画素、最大で26画素であり、図2右では顕著な道路のずれが見られる。この原因は、航空写真の幾何学的歪みによると考えられる。この要因としては(1)撮影時の航空機の傾きによる歪み、(2)地形の高低差による歪み、(3)レンズの収差による歪みの3つが挙げられる。この中で(1)と(2)が主要であると考えられる。(1)による歪みは、航空機の傾きによって撮影距離が不均一になることによる。(2)は航空写真が中心投影⁽⁴⁾による撮影のためである。この2つはいずれも、カメラからレンズまでの距離に差が生じ、距離の近いものは大きく、遠いものは小さく写るという影響がある。(3)は、レンズの歪曲収差によるもので、レンズの種類に依存する。これらの幾何学的歪みのために、線形変換では道路が大きくずれた状態で接合された。本研究では2次以上の非線形変換も試みたが、一方の画像の歪みが増幅されて、ずれを減少させることができなかった。

このように、航空写真と航空写真間の接合では、高い精度を得ることが困難であった。この問題を克服するため、航空写真と地形図を照合して、地形図に航空写真を貼り合わせる方法を考案した。

3 地形図を利用した航空写真の接合

基本的には航空写真間の接合方法と同じであるが、相違点は座標対の選択を航空写真と地形図の照合によって行っていることと3次の座標変換を使用していることである。その式は次の通りである。

$$\begin{aligned} u &= \sum_i \sum_j a_{ij} x^i y^j \\ v &= \sum_i \sum_j b_{ij} x^i y^j \end{aligned} \quad (3)$$

ここで*i*と*j*は $0 \leq i+j \leq 3$ を満たす整数である。図3に接合手順を示す。

基準画像を地形図にしたのは、次の3つの理由からである。(1)座標対は、航空写真間の接合では重複部分からしか選択できなかったが、地形図を用いると航空写真の全領域から抽出可能となる。(2)航空写真と異なり、地形図には空間的歪みがないため、2次以上の座標変換式が使用でき、幾何学的ずれを減少させることが可能となる。(3)航空写真と航空写真では、隣接した写真間でしか接合ができなかった。しかし地形図を用いた接合では、このような制約は存在せず、任意の場所の航空写真が接合対象となり得る。

しかし、次に述べるように解決すべき問題点も存在する。(1)地形図を使用した接合では、ほぼ均等に座標対を航空写真から抽出する作業は困難である。(2)対応する座標点を見つける作業が容易でないこと。地形図と航空写真は表示内容が異種のものであるので、2つの間に対応点を見つけるのは容易な作業ではない。(3)抽出すべき座標対の増加。式(1)の線形方程式では a_i, b_i それぞれ3個の係数を決定するのに9組の座標対で十分であった。しかし、式(3)の非線形方程式では、2次の場合は6個の係数決定に対して18組、3次の場合は10個の係数決定に対して30組が必要になる。さらに歪みを正確に補正するには、より多くの座標対を抽出する必要がある。これら3つの問題は、すべて座標対抽出に関わるものなので、接合を行う作業者の大きな負担になる。しかし接合精度を向上させるためには、この作業を避けることはできない。このため、作業者の負担を軽減するためのコンピュータ支

援による座標点抽出システムを考案した。

4 コンピュータ支援による座標対の選択

3章で述べたことと重複するが、作業者とコンピュータがそれぞれ抱えている問題をまとめる。

- 作業側の問題
 - (1) 座標対を均等に選択するのが難しい
 - (2) 対応箇所が見つげづらい
 - (3) 座標対の抽出数が多い
- コンピュータ側の問題
 - (1) 対応箇所を見つけない

作業側の問題(1)は、航空写真を適当な領域に分割して、各領域から座標1個を選択することによって解決される。問題(2)は、航空写真に対して特徴抽出処理を行うことによって解決される。今回は、1次微分処理を行い、最も鋭いエッジを示す座標点を選択している。

作業側の問題(3)とコンピュータ側の問題(1)は、次の作業手順によって解決される。

- (1) 作業者は最初に9組の座標対を抽出する。
- (2) 選択された座標対が18組になるまで以下の2つの手順を繰り返す。これが終了すると(3)に進む。
 - (2.1) 線形座標変換式を決定する。
 - (2.2) この式から選択した航空座標点 (u, v) に対する地形図座標点 (x, y) を計算する。
- (3) 選択された座標対が必要個数(本研究では30個)になるまで以下の2つの手順を繰り返す。
 - (3.1) 非線形座標変換式を決定する。
 - (3.2) この式から選択した航空座

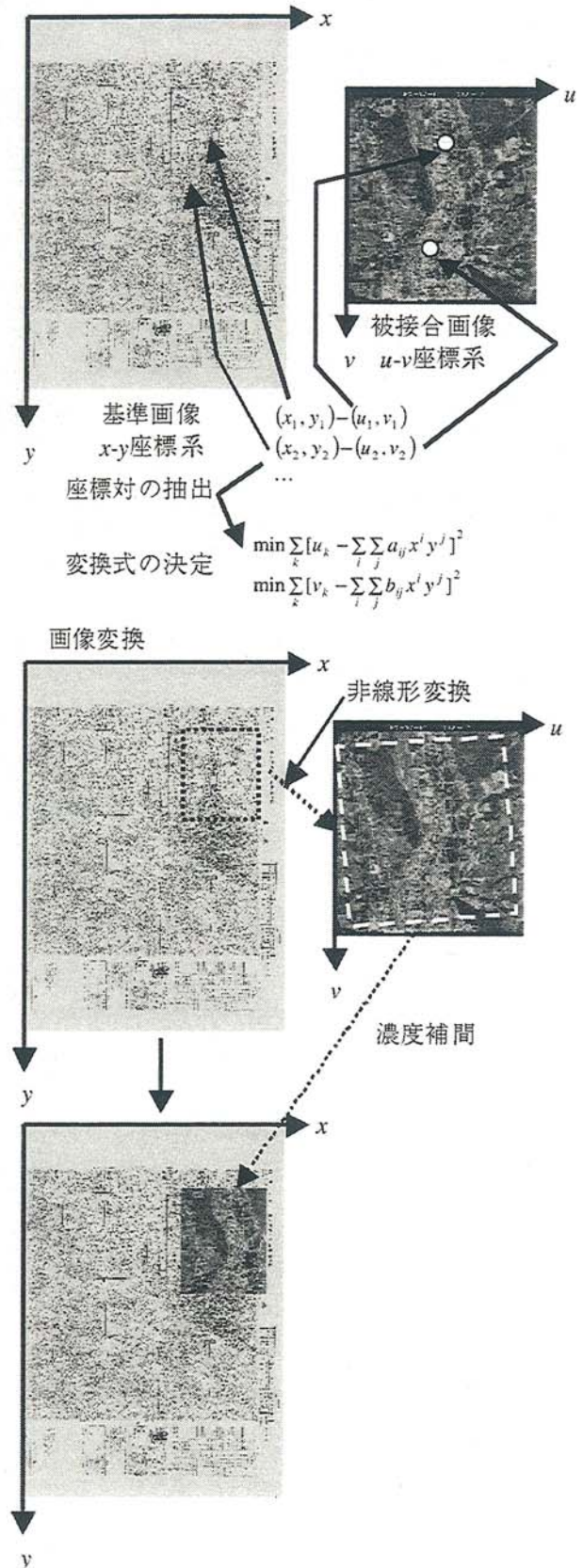


図3 航空写真と地形図の接合手順

標点 (u, v) に対する地形図座標点 (x, y) を計算する。

作業者は、基本的に(1)で9組の座標対を入力するだけである。(2)と(3)では (u, v) の入力からコンピュータが対応する (x, y) を計算するので、抽出作業負担が軽くなる。 (x, y) は (u, v) から計算で求められるので、コンピュータは (u, v) に対応する (x, y) を見つけ出す必要はない。さらに(1)と(2)の座標対数を減らすことができる。これは、コンピュータが算出した座標対を作業者が微調整することによって精度を高め、入力組数を減らせるからである。この微調整によって今回は(1)の組数を6組、(2)を12組へと減らすことができた。

以上の解決策を取り入れた座標対選択方法は、次の通りである。

- (1) 被接合航空写真画像を領域分割する。
- (2) 全ての領域に関して以下を繰り返す。
 - (2.1) 被接合画像の各領域から特徴の大きい座標 (u, v) を1個選択する。
 - (2.2) 座標対数にしたがって、次の[1]から[3]のいずれかの処理を行う。

[1] 1組目から6組目(図4上段参照)

- (a) 基準地形図画像から対応する座標 (x, y) を作業者が選択する。

[2] 7組目から12組目(図4中段参照)

- (a) 既に選択された座標対から線形変換式を決定する。
- (b) この式から現在選択している座標 (u, v) を変換して座標 (x, y) を求める。
- (c) 作業者が微調整する。

[3] 13組目以後(図4下段参照)

- (a) 既に選択された座標対から非線形変換式を決定する。
- (b) この式から現在選択している座標 (u, v) を変換して座標 (x, y) を求める。
- (c) 作業者が微調整する。

ここでの変換式は、式(1)と(3)において (x, y) と (u, v) を入れ換えたものに等しい。

変換式の決定に使用する座標対は作業者が選択したものが基準になるので、その精度が変換式の精度に影響を及ぼす。したがって場所がずれていた場合、作業者が微調整をすることで精度を高めた。以上の方法によって作業者の負担を大きく減らすことができた。

この接合方法による実験を行った。基準画

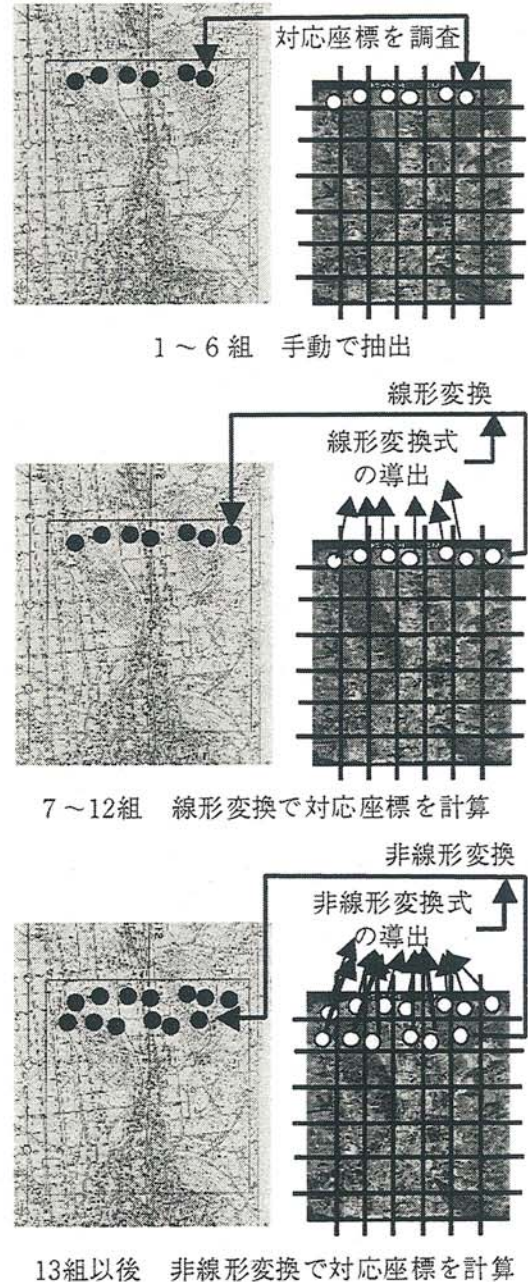


図4 座標対の選択方法

像の地形図は、航空写真の縮尺に合わせて 23/7 倍に拡大した。この画像サイズは、8161×11552 である。これにサイズ 2556×2880 の航空写真 3 枚を照合させて接合を行った結果を図 5 上に示す。また、図 5 下に接合面の拡大図を示す。この接合面のずれは、平均で 2 画素、最大で 8 画素であり、航空写真と航空写真間の接合に比べて、著しくずれを減少させ、満足な結果が得られた。しかし、本方法の実用化には課題が残されている。それは、地形図の表示に大きなメモリ容量を必要とすることである。使用した 8 ビットグレースケール地形図では、 $8161 \times 11552 = 94275872 \approx 90\text{M}$ バイトという大きなメモリ容量となる。これは実用化の障害となるため、地形図表示に対する対策が必要になる。

5 おわりに

本研究では、各地の複数の航空写真から、その地方全体を表す 1 枚の航空写真を再構成するための航空写真接合アルゴリズムを開発した。最初に、航空写真と航空写真間の重複を利用した接合方法を考案した。航空写真に存在する幾何学的歪みのため、接合面にずれが生じて十分満足な結果が得られなかった。これを改善するため、次に幾何学的歪みのない地形図を利用した航空写真接合方法を考えた。この方法は作業者の負担が大きくなる問題があったが、これを軽減させる手法も合わせて考案して、接合面のずれを著しく小さくでき、満足な結果が得られた。しかし、地形図の表示に 90Mバイトという大きなメモリ容量が必要になって実用化の難点であったが、これに対する解決策を一部見いだしている。このほかにも適切な座標変換式の選択等の検討課題が残されている。今後の研究において、これらの問題を解決し、接合面のずれがほとんど見られない高精度の接合アルゴリズムを開発したい。

参考文献

- (1) 星仰：地形情報処理学，森北出版，pp.75-85，(1991)
- (2) 田村秀行：コンピュータ画像処理入門，総研出版，pp.113-116，(1985)
- (3) 田村秀行：コンピュータ画像処理：応用実践編(第2巻)，総研出版，pp.169-171，(1991)
- (4) 福本武明，他：測量学，朝倉書店，pp.115-116，(1993)

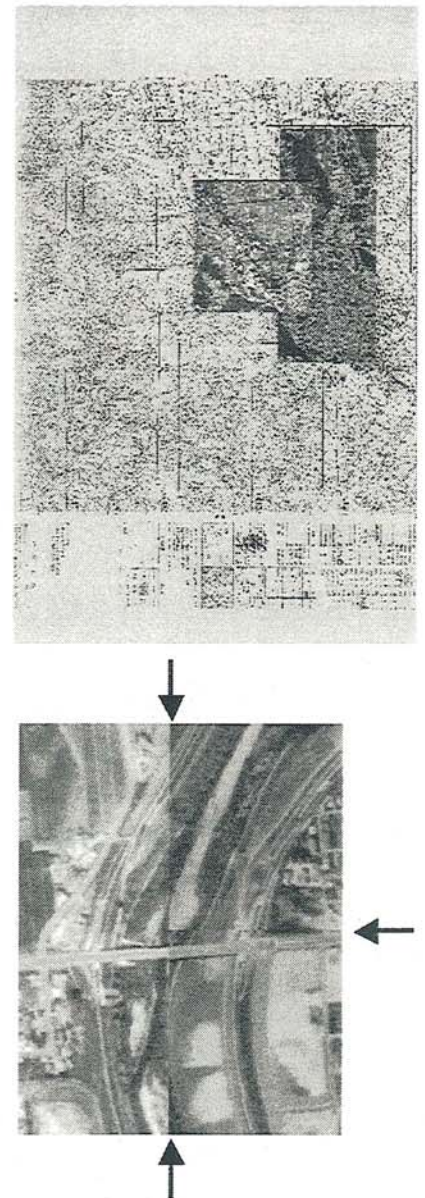


図5 地形図と航空写真の接合結果
矢印→は接合面を示す

天然珪藻土を原料としたVOC吸着・分解能を有する セラミック材料の開発と健康建材への応用

Development of a Diatomite-based Ceramic Material
with Ability of Adsorption and Decomposition of the VOCs(Volatile Organic Compounds)
and its Application for a Multi-functional Wall-board.

小林正義 (北見工業大学 化学システム工学科)
吉田繁夫 (ナショナル住宅産業株式会社 先行技術開発研究所)
堀内淳一 (北見工業大学 化学システム工学科)
菅野 亨 (北見工業大学 化学システム工学科)

Masayoshi KOBAYASHI (Kitami Institute of Technology)
Shigeo YOSHIDA (National Housing Industry Co. Ltd.)
Jun-ichi HORIUCHI (Kitami Institute of Technology)
Tohru KANNO (Kitami Institute of Technology)

Key words: diatomite-based material, titanium dioxide, multi-functional wall-board

1. 緒言

シックハウス症候群に代表されるように、住宅内での VOC 等の化学物質による健康被害が顕在化する中、健康建材へのニーズはますます高まっている。当研究グループでは、天然素材である稚内産珪質頁岩(珪藻土)をベースにした健康建材の開発に取り組んでいる。稚内産珪質頁岩は、湿度が高い時には吸湿し低い時には放湿する優れた調湿機能を示す呼吸性建材として、市場に流通している^{1,2)}。またこれまでの我々の研究により、本珪質頁岩は市販の臭除去剤とほぼ同等の脱臭能を示すことが明らかとなっている³⁾。そこで本報告においては更なる高機能化を目的とし、持続的な脱臭・化学物質吸着・分解能を付与するために代表的な光触媒である酸化チタン(TiO₂)を珪質頁岩に導入し、調製した複合材料の化学的・物理的構造、光触媒機能、調湿機能を調べた。

2. 実験方法

(1) サンプル調製 : 酸化チタンの出発物質としてチタンテトライソプロポキシド [TTIP:Ti{OCH(CH₃)₂}₄]を用いた。2種類の溶媒 A あるいは溶媒 B 中に分散させた TTIP の加水分解・重合により得たゾル溶液に、珪質頁岩を加え1昼夜攪拌混合

し乾燥した。このときのチタン/珪質頁岩重量比は 10wt%であった。得られた粉体を空气中で 500℃あるいは 800℃で 2 時間焼成した。以後各サンプルを A(800)、A(500)、B(800)、B(500)と記す。(2) サンプルの物理化学的構造の評価：サンプル中に含まれる化学種は X 線回折分析法 (XRD) (使用機種 Rigaku RAD 3R)により調べた。また窒素ガス吸着法により、比表面積及び細孔容積・細孔分布を測定した。(使用機種 Shimadzu ASAP2010)(3) 光触媒機能及び調湿機能の評価：光触媒機能はブラックライト照射下におけるサンプル表面上のメチルブルーの分解挙動を、650nm の波長の吸光度変化を測定することにより調べた。(使用機種 ULVAC PCC-1) また調湿機能は、サンプルが存在する密閉空間において温度変化を与えたときの相対湿度変化から得られた B 値より比較した。温湿度データは、ティアンドティ社の TR-72S によって取り込み、パソコン上で解析して得た。

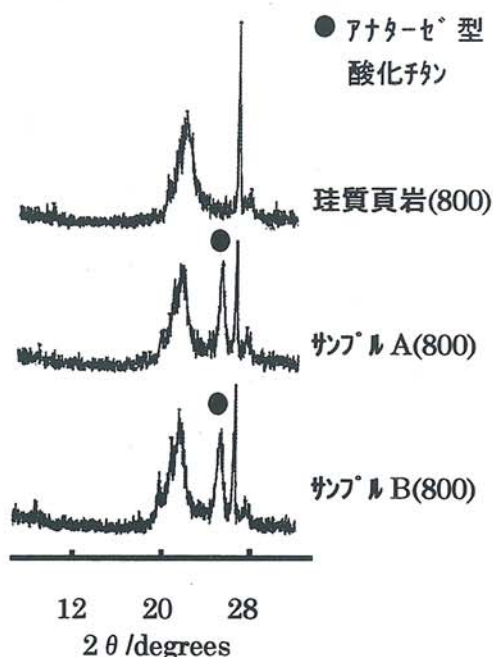


図 1. 800℃焼成サンプルの X 線回折パターン

3. 結果及び考察

3-1. サンプルの物理化学的構造

サンプルの図 1 に 800℃焼成後の各サンプルの X 線回折パターンを示す。サンプル A、B とともに、珪質頁岩のピークに加えて $2\theta = 25$ 度付近に●で示すアナターゼ型酸化チタンのピークが観測された。また図 2 の 500℃焼成サンプルにおいても同様のピークが見られた。アナターゼ型酸化チタンは高い光触媒活性を持つ酸化チタンであることが報告されており⁴⁾、本調製法によりアナターゼ型酸化チタン-珪質頁岩複合材料が形成されたことがわかった。次に、各サンプルの比表面積及び細孔容積・細孔半径を測定した結果を表 1 に示す。

サンプル A では珪質頁岩のみと比較して比表面積、全細孔容積とも 3 分の 1 程度に減少したのに対し、サンプル B では珪質頁岩との差はほとんど認められなかった。この事は、TTIP を分散させる溶媒の違いによりゾル溶液中の -O-Ti-O-鎖の生成が

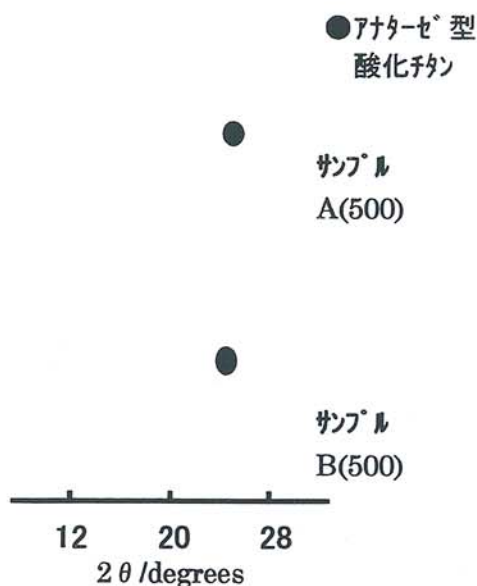


図 2. 500℃焼成サンプルの X 線回折パターン

粒子・形態が異なり、サンプルA調製時の500°C、800°C焼成の際に生成した酸化チタン粒子同士あるいは珪質頁岩-酸化チタン粒子間の溶融が起こったことに起因すると思われる。

3-2. 光触媒機能の評価

次に、各サンプルの光触媒活性を比較した結果が図3である。この図の縦軸は吸光度変化 Δ ABS、横軸は経過時間であり、 Δ ABS値が小さくなるほどサンプルの光触媒分解が進行したことを示している。A(500)、A(800)では、500°C、800°C焼成した酸化チタンを含まない珪質頁岩との Δ ABSの差が見られなかった。一方Bでは500°C、800°Cとも明らかな Δ ABSの減少が観測され、サンプルBにおいて光触媒機能が発現したことがわかった。このようなサンプルA、Bにおける光触媒機能の違いの一因として、サンプルA、Bの比表面積の違いを挙げることができる。すなわち、低い比表面積及び細孔容積は、サンプルAにおいては光触媒機能を発現させるための十分に微細な酸化チタン粒子が得られなかったことを示唆している。

3-3. 調湿機能の評価

次に、このように表面積及び全細孔容積が著しく減少したサンプルAにおいて、B値法により調湿機能を測定した結果について述べる。図4は、密閉容器中において、周期的な温度Tの変化を与えた時の相

表1. 各サンプルの(a)比表面積及び(b)全細孔容積

(a)		
	500°C焼成 サンプル (m ² /g)	800°C焼成 サンプル (m ² /g)
珪質頁岩	150	149
サンプルA	57	51
サンプルB	137	142

(b)		
	500°C焼成サンプル 細孔容積(cm ³ /g)/ 平均細孔半径(Å)	800°C焼成サンプル 細孔容積(cm ³ /g)/ 平均細孔半径(Å)
珪質頁岩	0.31 / 34	0.32 / 34
サンプルA	0.12 / 35	0.12 / 35
サンプルB	0.31 / 42	0.32 / 38

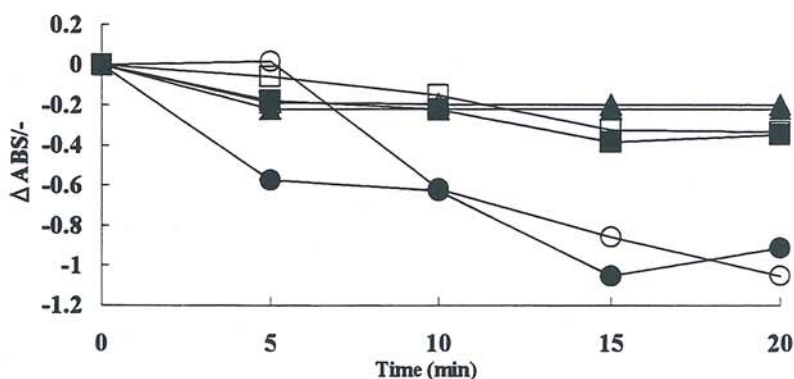


図3. 各サンプルの光触媒機能の評価

△珪質頁岩(500); ▲珪質頁岩(800); □サンプルA(500);
■サンプルA(800); ○サンプルB(500); ●サンプルB(800);

対湿度 H の変化を示したものである。●は珪質頁岩を入れた場合、○はブランク試験結果である。ブランク試験では湿度変動が約 15%であったのに対し、珪質頁岩存在下では 5%程度と少なく、珪質頁岩の優れた調湿機能が示された。

サンプル A(500)、A(800)についても同様な実験を行い、 $\log H$ を T に対してプロットして得られた直線の傾き B より、各サンプルの調湿機能を比較した結果を表 2 に示す。ここで B 値の絶対値が小さいほど湿度変動が少ない、すなわち調湿機能が高いことを意味する。珪質頁岩と比較して B 値の低下が観測され、細孔容積の減少が調湿機能の低下をも引き起こした事がわかった。現在、サンプル

B の調湿機能評価を行うとともに、新たな酸化チタン-天然鉱物複合材料の調製法を検討し、調湿および脱臭・VOC吸着分解機能を合わせ持つ材料開発に取り組んでいる。

4. 結 言

以上、健康建材への応用を目指し、光触媒機能を持つ酸化チタン-珪質頁岩複合材料を合成することができた。今後はホルムアルデヒド、トルエン、キシレン等の吸着・分解挙動を実際に測定し、健康建材としての有用性を確認する必要がある。また珪質頁岩（珪藻土）だけでなく、ゼオライト、モンモリロナイト、アロピオン等の天然鉱物を用いて、細孔分布等の物理的性質、酸・塩基等の化学的性質を制御した様々な機能性を持つ多孔性材料を設計することが、当研究グループの目的である。

参考文献

- (1) 菅野 亨、第 39 回寒地資源高度利用研究会要旨集、pp.129-135(2000).
- (2) S. Tomura *et al.*, *Clay Science*, **10**, 195-203(1997).
- (3) 小野寺香織、平成 10 年度化学システム工学科卒業論文、(1999).

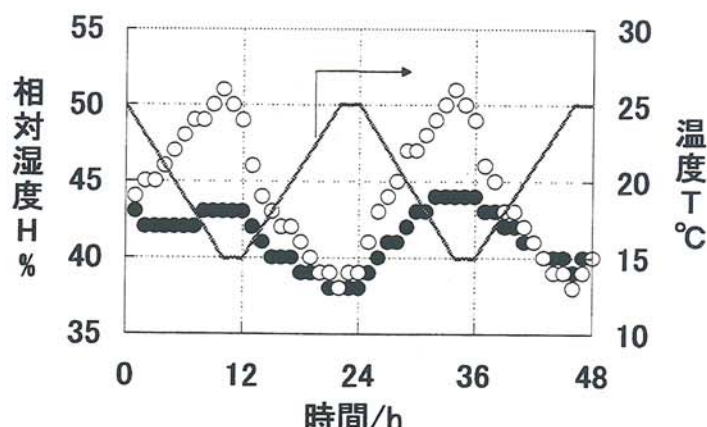


図 4. 調湿試験結果

●珪質頁岩(800)； ○ブランク； —温度
 サンプル重量 2g； 密閉容器容量 2050ml；
 昇降温速度 1°C/時； 初期湿度 60%

表 4. B 値法⁵⁾による調湿機能の評価

サンプル	B 値 / (°C) ⁻¹
珪質頁岩(500)	-0.0038
珪質頁岩(800)	-0.0052
サンプル A(500)	-0.0064
サンプル A(800)	-0.0054

- (4) 竹内浩士、村澤貞夫、指宿堯嗣、光触媒の世界、工業調査会 (1998) .
- (5) S.Suzuki *et al.*, *J. Ceram. Soc. Jpn*, 108(2), 202-205(2000).

移動体通信を利用した簡易型遠隔学習支援システムの研究

A Study of Simple Distance Learning System using Mobile Communications

藤原祥隆 (北見工業大学工学部情報システム工学科)
岡田信一郎 (北見工業大学工学部情報システム工学科)
渡部拓己 (リコーシステム開発(北見))
黒丸鉄男 (リコーシステム開発(北見))

Yoshitaka FUJIWARA (Kitami Institute of Technology)
Shin-ichirou OKADA (Kitami Institute of Technology)
Takumi WATANABE (Ricoh System Development Kitami)
Tetsuo KUROMARU (Ricoh System Development Kitami)

Key words: distance learning, mobile communications, knowledge base

1 緒言

近年、インターネットの普及にともない、ネットワークを用いた遠隔教育支援の研究が盛んに行われている。北見工業大学情報システム工学科においても、従来より遠隔教育支援向けの知識ベース仮想実行環境制御方式VEEC⁽¹⁾と、VEECをさらにJavaを用いて個人適応化に対応させたJVEEC⁽²⁾⁽³⁾の研究・開発が行われてきた。本来JVEECは伝送遅延の大きな衛星通信を介した知識ベース遠隔アクセスの応答性能改善を目的として考案されたシステムであるが、原理上衛星通信以外の通信路においても応答性能改善の可能性はある。本研究はJVEECを基礎とし、近年普及が著しい移動体通信(携帯電話, PHS)を用いたより安価かつ簡便な遠隔学習支援システムを構築することが目的である。今回は、PHSを用いた移動体通信実験環境を構築し、この環境でJVEECを動作させた際の応答性を評価することができたため、その結果を報告する。

2 JVEEC概要

まず、JVEECにおける知識ベースすなわち遠隔学習用教材の構造について説明する。JVEECでは学習用教材はアクティブノード群とコンテキストグラフの組合せにより実装される。アクティブノードとは、Java言語における実行ファイルであるクラスファイルを中心とし、クラスファイルが使用するテキスト、画像などを一つのまとまりとした部分知識ベースである。個々のアクティブノードの扱う情報は対象とする教材のごく一部(例えば問題1問など)であり、複数のアクティブノード集合が全体として教材(知識ベース)として振舞う。ただし、JVEECではアクティブノード間の実行順序を制御する情報はアクティブノードには含まれない。この情報はコンテキストグラフとして記述される。JVEECでは、このコンテキストグラフを利用者に合わせて動的に書き換えることにより、個々の利用者の状況に合わせた動作(個人適応化)を可能としている。アクティブノード群とコンテキストグラフの概念図を図1に示す。

次に、アクティブノード群とコンテキストグラフによって構成された知識ベースを動作させる方法について説明する。JVEECのシステム概念図を図2に示す。アクティブノードはサーバ計算機に蓄積されており、クライアント計算機からの転送要求に従い、サーバによってアクティブノードの送信される。そして、クライアント計算機に転送されたアクティブノードはクライアント計算機上で実行される。クライアント計算機にはコントローラが存在し、これがコンテキストグラフの記述に基づきアクティブノードの転送要

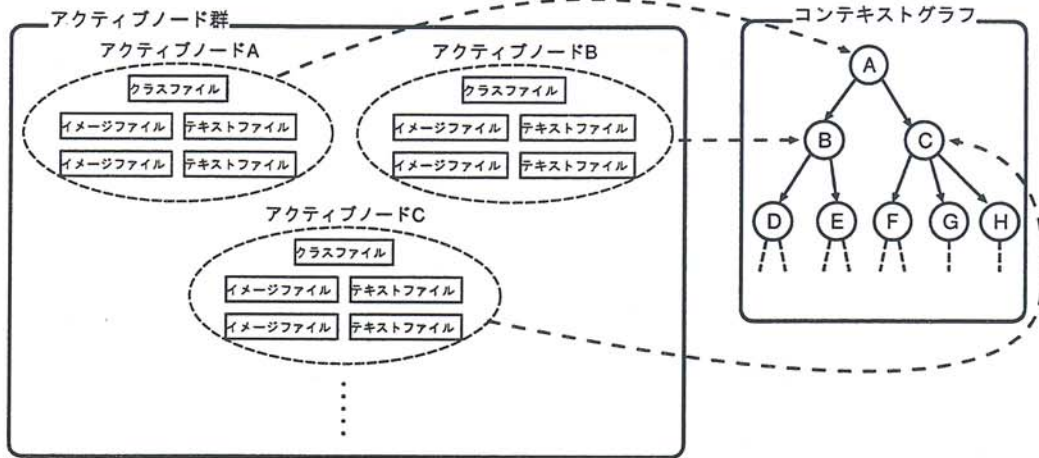


図 1: 知識ベースの構造

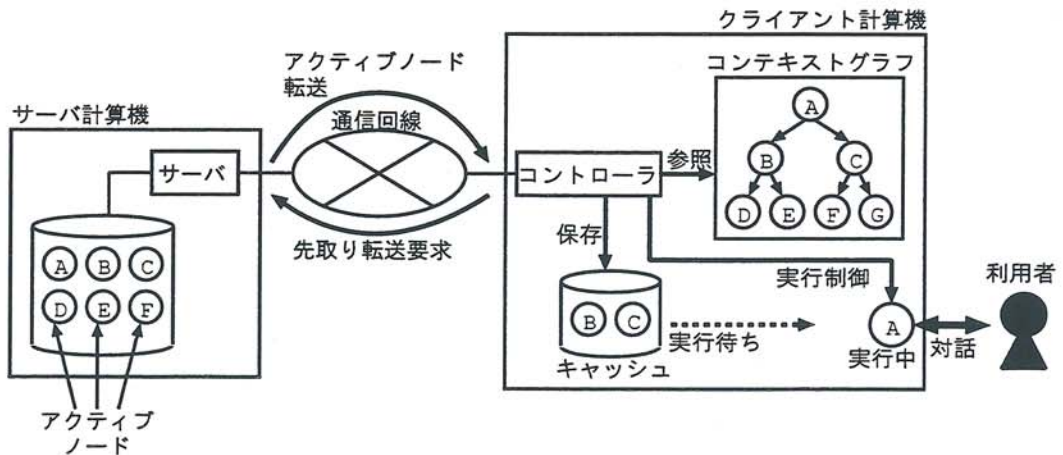


図 2: JVEEC のシステム構成

求や実行制御を行う。コントローラにより実行されたアクティブノード（図2ではアクティブノード A）が利用者に対する教育サービス提供のための対話処理に移る一方で、コントローラはその次に実行されるアクティブノードをコンテキストグラフから予測し（図2では B、C）、サーバに対し先取り転送要求を送る。先取り転送要求を受けたサーバは該当するアクティブノードをクライアント計算機に送信、コントローラはこれを実行待機状態としてキャッシュへ保存する。実行中のアクティブノードが利用者との対話処理を終えると、コントローラはそのアクティブノードの終了状態から次に実行されるべきアクティブノードを決定し、実行状態へ遷移させる。このように、アクティブノードはクライアント計算機上で次々と実行されることにより、全体として1つの知識ベースとして振舞う。

アクティブノードの実行中に、次に実行されるアクティブノードの転送を並行して行うことにより、データ転送による利用者の待ち時間が大幅に低減される。

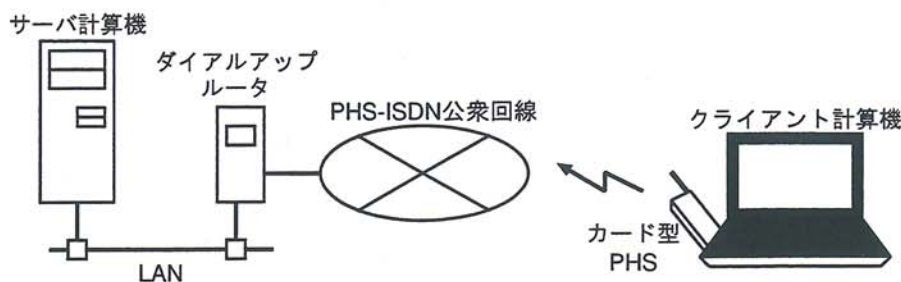


図 3: PHS を使用した移動体通信実験システム

3 通信環境の構築と性能評価

本研究を遂行するにあたり、PHS(Personal Handyphone System)を使用した移動体データ通信環境を構築した。PHSを用いた理由は、現在一般に普及している移動体通信機器の中でも比較的安価かつ高速なデータ通信が行えるためである。

実験システムの構成図を図3に示す。クライアント計算機はノートPCとし、これにカード型のPHS端末を接続した。サーバ接続側にはISDN回線を設置し、ダイヤルアップルータを用いて、PHS端末からLAN上のサーバ計算機へ接続できるようにシステムを構成した。PHS端末とダイヤルアップルータは双方ともPIAFS 64Kに対応した機種を使用しており、64kbps(実効58.4kbps)の速度で通信することが可能である。

この通信環境を用い、JVEECのPHS環境における性能評価を行った。評価尺度はある一定の思考時間(アクティブノード実行時間)で利用者からの入力を行った際の応答時間である。

知識ベースには第1種情報処理技術者試験問題を用いた。この知識ベースは学習者が第1種情報処理技術者試験の午前の出題範囲から大分野を選択、次にそれぞれの分野の中から小分野を選択し、小分野の問題を数問解いた後にまた大分野選択に戻るといった構造を持っている。1つの分野選択画面、あるいは1問の問題がそれぞれ1つのアクティブノードとなっている。また、アクティブノードの総数は41、アクティブノードあたりの平均サイズは18.3Kbyteであった。

実験における各アクティブノードと利用者の対話は、一定のアクティブノード実行時間をおいた後に、アクティブノードから提示された選択肢を無作為に選択することとした。また、アクティブノード実行時間が10秒と20秒の2つの場合について同様の測定を行った。測定された応答時間の分布を図4に示す。グラフは測定により得られた応答時間を短いものから並べ、それぞれ全体の50, 60, 70, 80, 90, 100%に位置する応答時間で区切った累積分布である。まず、このグラフからアクティブノード実行時間10秒で先取りしたのは、全応答の80%が0秒付近であり、先取りのないものに比べ、大幅に応答性が改善されていることが解る。さらに、アクティブノード実行時間が20秒のものは、90%以上の応答が0秒付近であり、アクティブノード実行時間が大きくなれば、先取りの効果がさらに高くなることも確認された。

4 結言

本報告では、衛星通信用遠隔教育支援システムJVEECをPHSを用いた移動体通信に適用し、性能評価を行った結果を報告した。実際の移動体通信を用いた実験により、衛星通信の場合と同様応答時間が短縮される効果があることが確認された。

現在のJVEECは知識ベース実行時にコントローラなどJVEEC専用のソフトウェアを予めインストールしておく必要がある。今後は、クライアント計算機側に前もって特別な措置を施さなくとも、容易に利用可能な簡便なシステムへ改良を行う予定である。

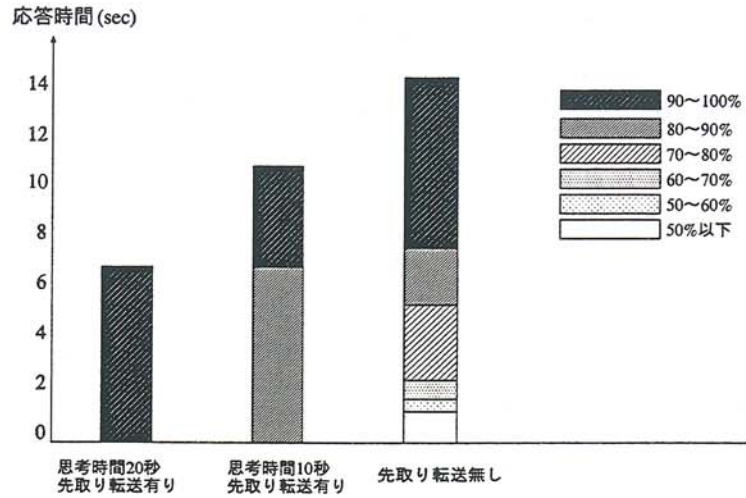


図 4: 応答時間分布

参考文献

- (1) Yoshitaka FUJIWARA, Shin-ichiro OKADA, Hiroyuki TAKADOI, Toshiharu MATSUNISHI, Hiroshi OHKAMA: Performance Evaluation of VEEC: The Virtual Execution Environment Control for a Remote Knowledge Base Access, IEICE Trans. Commun., vol.E80-B, no.1, pp.81-86, (1997)
- (2) 武田一真, 藤原祥隆, 岡田信一郎: 非対称ネットワークを用いた知識ベースの遠隔アクセス方式のシミュレーション評価, 電子情報学会研究報告, vol.99, no.564, pp.1-7, (2000)
- (3) 高倉伸樹, 藤原祥隆, 岡田信一郎, 松澤文太郎: 仮想実行環境制御方式の性能評価, 情報処理学会研究報告, vol.2000, no.117, pp.69-75, (2000)

付録：平成12年度共同研究課題一覧

区分	研究課題	研究代表者	民間機関等
A	天然珪藻土を原料としたVOC吸着・分野能を有するセラミック材料の開発と健康建材への応用	小林正義 教授 化学システム工学科	ナショナル住宅産業(株)
B	I S Oの舗装工事への適用システム構築に関する研究	桜井 宏助教授 土木開発工学科	北海舗道(株)
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	北見市企業局
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	紋 別 市
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	留 辺 薬 町
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	美 幌 町
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	津 別 町
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	斜 里 町
B	輸出市場における路面実態の把握	川村 彰 助教授 土木開発工学科	いすゞ自動車(株) 北海道試験場
B	E N g 実車耐久特性値測定手法の確立	常本秀幸 教授 機械システム工学科	いすゞ自動車(株) 北海道試験場
B	移動体通信を利用した簡易型遠隔学習支援システム	藤原祥隆 教授 情報システム工学科	リコーシステム 開発(株)
B	氷海域海洋コンクリート構造物の耐久性に関する研究	鮎田耕一 教授 土木開発工学科	島田建設(株)
B	寒冷地における下水汚泥の有効利用に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	北見市企業局
B	寒冷地における水道水の高効率処理に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	北見市企業局

B	寒冷地における下水汚泥の有効利用に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	美幌町
B	寒冷地における下水汚泥の有効利用に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	津別町
B	寒冷地における下水汚泥の有効利用に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	留辺蘂町
B	下水汚泥の土壌中の肥効成分の定量に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	斜里町
B	寒冷地下水汚泥のコンポスト化による資源化に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	北見市企業局
B	橋梁の点検方法の改善と健全度評価の研究	大島俊之 教授 土木開発工学科	中神土木設計事務所
B	橋梁の健全度診断と最適補修設計に関する研究	大島俊之 教授 土木開発工学科	(株)ナオック
B	低温下における構造物の耐震性能向上に関する研究	大島俊之 教授 土木開発工学科	島田建設(株)
B	木酢液中の有害物質除去に関する研究	山岸 喬 教授 留学生教育相談室	佐藤林業(株)
B	北見市環境調査研究	伊藤純一助教授 化学システム工学科	北見市
B	網走湖の水質調査研究	佐渡公明 教授 土木開発工学科	(株)北開水工 コンサルタント
B	常呂川水系水質調査研究	伊藤純一助教授 化学システム工学科	常呂川水系環境 保全対策協議会
B	着氷防止機能皮膜の開発とその応用	二俣正美 教授 機械システム工学科	北辰土建(株)
B	I Zカルサイン溶射皮膜の作製とその利用	二俣正美 教授 機械システム工学科	(社)北見工業技術 センター
B	液相溶射用プラズマジェットトーチの改良	二俣正美 教授 機械システム工学科	(株)倉本鉄工所

B	バルーン化白土を利用した新機能材料の開発	二俣正美 教授 機械システム工学科	美瑛白土工業(株)
B	ポリエチレン製袋の耐寒性実証試験研究	宇都正幸 助教授 地域共同研究センター	ホクレン包材(株)
B	移動体通信に適したデータ転送路の自動設定技術の研究	藤原祥隆 教授 情報システム工学科	北都システム(株)
B	バイオガス回収システムの研究	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	(株)栗本鐵工所
B	石炭バイオブリケットのガス化特性に関する基礎研究	山田哲夫 助教授 化学システム工学科	(社)国際善隣協会
B	送電線への着氷雪現象に関する基礎研究	菅原宣義 助教授 電気電子工学科	(株)工学気象研究所
B	北見市産業構造の調査研究	金倉忠之 教授 共通講座	北見市
B	下水汚泥及び放流水から発生する臭気成分の定量に関する研究	高橋行雄 助教授 化学システム工学科	北見市
C	氷掘削装置開発に関する基礎的研究	高橋修平 教授 土木開発工学科	(株)地球工学研究所
B	橋梁の動的解析の精度向上に関する研究	大島俊之 教授 土木開発工学科	(株)シビテック
B	複合ラーメン橋の耐震性向上に関する研究	大島俊之 教授 土木開発工学科	(株)釧路製作所
B	超機能性バイオポリフェノールの開発とその産業的利用に関する研究	山岸 喬 教授 留学生教育相談室	(財)佐賀県地域産業支援センター
B	3次元沈砂池の土砂堆積に関する模型実験	佐藤幸雄 教授 土木開発工学科	(株)フロンティア技研
B	任意形状の沈砂池の流況シュミレーション	佐藤幸雄 教授 土木開発工学科	(株)フロンティア技研
B	送電線腐食の診断法に関する基礎研究	菅原宣義 助教授 電気電子工学科	北海道電力(株) 旭川支店

B	寒冷地における土木構造物の凍害対策に関する研究	鈴木輝之 教授 土木開発工学科	北見建設業協会
B	地中レーダーによる地盤凍結面探査手法に関する研究	鈴木輝之 教授 土木開発工学科	(株)ジオシステムズ
B	ゼオライト混合コンクリートの品質評価に関する研究	鮎田耕一 教授 土木開発工学科	(株)共成レンテム
B	冬季土工法に関する現場実証研究	鈴木輝之 教授 土木開発工学科	永田建設(株)
B	航空写真接合アルゴリズムの開発	鈴木茂人 教授 情報システム工学科	(株)システム サプライ
B	凍結防止剤を用いた冬期土工法の開発	鈴木輝之 教授 土木開発工学科	北海道日本油脂(株)
B	建設業への省力化 I S O 導入システムの開発	桜井 宏 助教授 土木開発工学科	(株)つうけん
B	最終処分場埋立開始前地下水調査	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	北 見 市
B	寒冷地の海洋コンクリート構造物の高品質施工のための解析、技術移転、対策の研究	桜井 宏 助教授 土木開発工学科	(株)西村組
B	破砕ガラスの土木技術への再利用の研究	川村 彰 助教授 土木開発工学科	北見土木技術協会

(総研究課題数：54件)

北見工業大学 地域共同研究センター

研究成果報告書 第8号

発行日 平成13年7月1日

編集 大島 俊之 (地域共同研究センター長(併)・土木開発工学科教授)
青木 清 (地域共同研究センター兼任教官・機能材料工学科教授)
金倉 忠之 (地域共同研究センター兼任教官・共通講座教授)
小林 正義 (地域共同研究センター兼任教官・化学システム工学科教授)
坂本 弘志 (地域共同研究センター兼任教官・機械システム工学科教授)
鈴木 輝之 (地域共同研究センター兼任教官・土木開発工学科教授)
藤原 祥隆 (地域共同研究センター兼任教官・情報システム工学科教授)
増田 弦 (地域共同研究センター兼任教官・機能材料工学科教授)
山城 迪 (地域共同研究センター兼任教官・電気電子工学科教授)
斎藤 俊彦 (地域共同研究センター専任教授)
宇都 正幸 (地域共同研究センター専任助教授)

発行者 北見工業大学地域共同研究センター
〒090-0013 北海道北見市柏陽町603番地-2
TEL 0157-26-4161
FAX 0157-26-4171
E-mail center@crc.kitami-it.ac.jp
URL <http://crcenter.crc.kitami-it.ac.jp/>

印刷 (株) 北海印刷
