

**北見工業大学  
地域共同研究センター  
研究成果報告書**

**第2号**

MEMOIRS OF THE COOPERATIVE RESEARCH CENTER  
KITAMI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

NO.2  
1995



**北見工業大学地域共同研究センター**

**表紙写真**：北見工業大学地域共同研究センター

(平成6年10月31日竣工)

実験室5部屋、クリーンルーム、低温室を備え、大型ソーラシミュレータ、質量分析計が稼働中。今年度、さらに低温域材料・構造実験システムおよび衛星画像受信解析装置の導入が予定されており、共同研究の推進に大きく貢献するものと期待されている。

# 工業用純Ti摩擦圧接継手境界部の 硬さ特性と超音波伝搬特性

Characteristics of Hardness and Acoustic Wave Velocity at  
Interface Region of Pure Titanium/Titanium Friction Welds

客員教授 工博 岩館 忠雄 (株式会社 日本製鋼所)

Dr.Engg. Tadao IWADATE (The Japan Steel Works, Ltd.)

Key words: friction weld, titanium, hardness, ultrasonic,  
interface, scanning acoustic microscope

## 1. 本研究の背景及び目的

異種材料接合継手(異材継手)は、各種産業機器の部材において数多く用いられており、現代工業において必要不可欠なものとなっている。この異材継手接合部近傍に生じる応力・塑性ひずみは継手の機械的特性を左右する重要な因子の一つである<sup>1,2)</sup>。この応力・ひずみの分布は、通常、X線応力測定法、あるいはひずみゲージ法を用いてもこれらの測定は困難となっている。一方、残留応力・ひずみ測定をも含めた継手特性評価法として、一般に機械的(破壊)検査法と非破壊検査法の大きく2つがある。非破壊的検査法の中で広く活用されている方法として超音波検査法があり、この方法の中で近年脚光を浴びている方法が超音波顕微鏡(Acoustic Microscope:AM)である。中でも、10 $\mu$ m以上の高分解能で表面下の観察を可能にする方式の機械走査型超音波顕微鏡(Scanning-AM:SAM)が注目されている<sup>3,4)</sup>。このSAMは弾性率の分析モードを備えており、また、受信信号電圧曲線(V(z)曲線)法を用いることにより、試料表層を伝播する弾性表面波の伝播速度(以下、音速という)が測定できる。なお、材料の内部観察、欠陥の検出や塑性変形領域の測定、加工変質層の厚さ測定等が、SAMを用いて行われている。

ところで、音波は伝播する媒質の硬さ及び密度等の物性値及び応力分布状態によって音速が変化する特性を有しているため、超音波の表面弾性波を観測することにより接合境界部における応力・ひずみの状態を推定できる可能性を有するものの、これに関する報告は少ない<sup>5)</sup>。

本研究では、実用金属中最高に近い耐食性並びに機械的特性を有するものの、異種金属材料との熔融溶接が事実上不可能であるチタニウム(以下、Tiと記す)系材料を取り上げる。そして、摩擦圧接法により同種材あるいは異種材料継手を作製し、SAMを用い、継手の特性評価と継手に生じた残留応力・ひずみの推定が可能か否かを明らかにすることを最終目的としている。

本報告ではその第一歩として、工業用純Ti同士を摩擦圧接して得た継手の硬さ及びSAMにより音速を測定し、両者の関係、さらには残留応力・ひずみ推定の可能性を検討する。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材料及び接合方法

本研究で使用した材料は、外径16mmの市販のJIS TB35Hの工業用純Tiの丸棒である。は旋盤を用いて材料の接合部を外形12mmに加工し、接合端面は加工後#240のエメリー紙で研磨を行った。材料中に存在する製造時の応力・ひずみ、並びに材料加工中に生じる応力・ひずみの影響を取り除くために、接合に先立ち全ての材料に873K-1.8ks(600℃-0.5H)の熱処理を施した。その後、接合には北見工業大学における現在までの研究で得られた圧接条件を用いた。圧接条件は以下の通りである；回転数： $25\text{s}^{-1}$ ；摩擦圧力：250MPa；摩擦時間：2s；アプセット圧力：300MPa；アプセット時間：6s。圧接したまま（以下、AW材という）、並びに一部の継手には873K-3.6ks(600℃-1H)の熱処理(PWHT材)を行った後、境界部の硬さ及び音速分布を測定した。なお、すべての熱処理は真空熱処理炉を用いて行った。

### 2.2 硬さ測定方法

接合後、継手は軸方向に2分割し、その断面上において境界を挟む左右6mmの範囲の微小ピッカース硬さ測定を行った。硬さ測定位置は、半径方向の位置において、軸心部、1/2R部及び外周部の3箇所である。

### 2.3 超音波音速測定方法

音速測定には、日立建機(株)製超音波顕微鏡HSAM200を使用した。周波数は200MHzである。音速測定を行った試料及び測定位置は、3.2で述べた硬さ分布測定位置と同一である。なお、本研究の場合、試料の表面における分解能は約 $5.3\mu\text{m}$ 、及び深さ方向のそれは約 $11\mu\text{m}$ である。

### 2.4 SAMによる画像の例

接合したまま及びPWHTを施した継手圧接面近傍のSAMによる画像の例をそれぞれFig.1(a)及び(b)に示す。AW材では、腐食を行っても肉眼及び光学顕微鏡では認められなかった境界が現れているが、一方、PWHTを施した継手においては、境界が認められない。これらの結果は、超音波顕微鏡によって接合面境界部の応力・ひずみ分布を表わされることを示唆している。

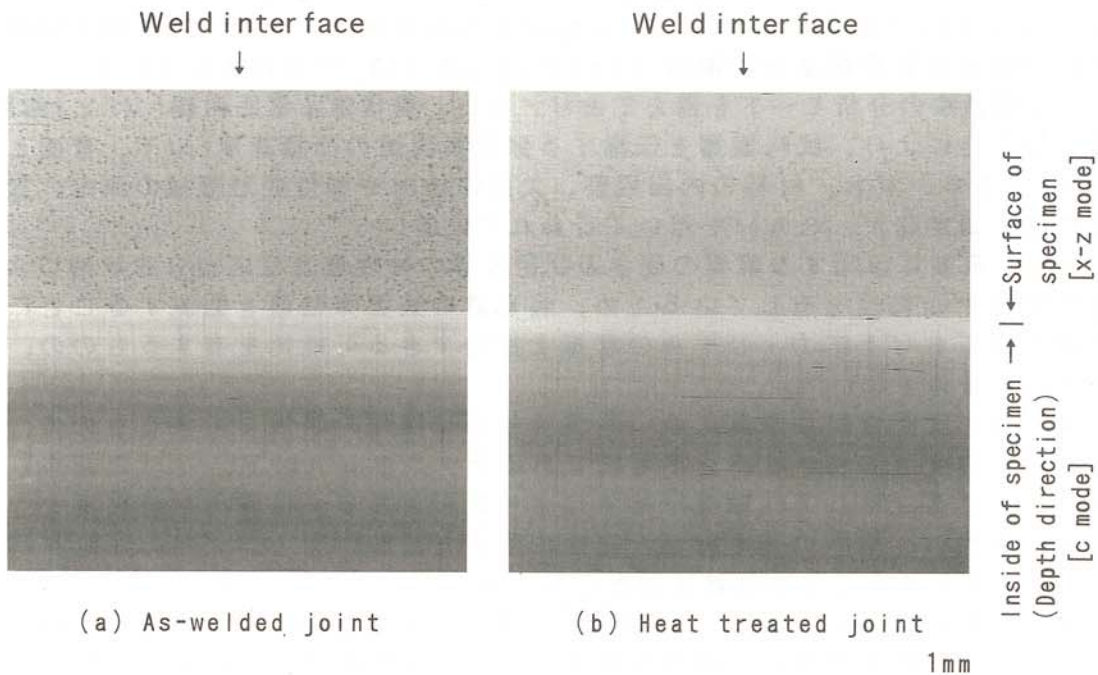


Fig. 1 Scanning acoustic micrographs at interface regions.

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 硬さ分布

##### (a) 接合したままの継手の硬さ分布

軸心部、(1/2)R部及び外周部の硬さ分布をそれぞれFig. 2~4に示す。なお、母材の硬さは、多少のばらつきはあるものの、位置の違いに関わらずHV約150~170であった。

軸心部(Fig. 2)において、圧接面より±2~3mmの範囲における硬さは母材の硬さよりも上昇し、HV175~220の範囲で硬さが推移している。とくに圧接面近傍においてはHV220と硬化している。この圧接面近傍における硬化の原因は、圧接時に生じた残留応力に起因するものと考えられる。なお、測定値全体に渡って硬さにばらつきが大きいのは、これは $\alpha$ -Tiが異方性の大きい稠密六方構造(hcp)を有しているためと考えられる。(1/2)R部においては(Fig. 3)、測定結果にばらつきがあるものの軸心部とほぼ同様の結果が得られている。すなわち、圧接面をはさんで±2~3mmの範囲でHV180~205と硬さの上昇が認められ、それより離れた領域でHV170~175と軟化した後、再びHV195程度まで上昇している。外周部では(Fig. 4)、圧接面をはさんで±2~3mmの範囲でHV175~205と硬さの上昇が認められ、さらに若干の硬さの低下が認められ後、再び上昇し、軸心部及び(1/2)R部とほぼ同様の結果が得られている。

以上の結果、半径方向の位置の相違による硬さの変化傾向に大きな差異は認められなかった。

##### (b) 熱処理を行った継手の硬さ分布

Fig. 5に873K-3.6ksの熱処理を施した継手の(1/2)R部における硬さ分布の一例を示す。硬さは約HV155~175の範囲で変化しており、圧接部近傍の硬化部はほぼ消滅している。これは、PWHTにより圧接部近傍に生じた残留応力が除去されたためと考えられる。

#### 3.2 音速分布

##### (a) 接合したままの継手の音速分布

軸心部、(1/2)R部及び外周部の音速分布をそれぞれFig. 6~8に示す。軸心部(Fig. 6)では、圧接面から±2mmの範囲で音速は約2780~2880m/sで推移しており、圧接面近傍では最も低い約2780m/sとなっている。さらに、それより外側では音速は速く、最高2940 m/s近い値が得られている。しかし、Ti母材の音速約2990m/sよりは低くなっている。(1/2)R部(Fig. 7)においても圧接面から±2mmの範囲で音速の低下が認められ、圧接面近傍では約2790m/sまで低下している。さらに圧接面から離れるにしたがって音速は約2900m/s近くまで上昇し、軸心部とほぼ同じ傾向が得られている。外周部(Fig. 8)では、圧接面から±2~3mmの範囲で音速の低下が認められ、圧接面近傍では約2820m/sまで低下している。それより外側で音速は約2900m/sまで上昇し、軸心部及び(1/2)R部とほぼ同じ傾向が得られている。

音速分布においても、硬さ分布と同様に半径方向の位置の相違による大きな差は認められなかった。

##### (b) 熱処理を行った継手の音速分布

Fig. 9に873K-3.6ksの熱処理を施した継手圧接部の(1/2)R部における音速分布を示す。多少のばらつきはあるものの、音速は約2840~2930m/sの範囲で変化しており、接合したままの継手(Fig. 8)と比較して、±2~3mmの範囲でほぼ70m/s大きくなっている。

### 4. 硬さ分布と音速分布との関係

3.で述べたように、半径方向の位置に関係なく、圧接面から±2~3mmの範囲で硬さは上昇し、音速は低下した。このように硬さと音速とは良好な対応関係にあることが明らかとなった。

一方、純Ti/AISI304Lステンレス鋼、純Ti/純Alの摩擦圧接をモデル化し、熱弾塑性解析を行い、摩擦圧接で生じる残留応力・塑性ひずみの特徴を明らかにすると共に圧接部近傍の硬さ測定がなされているが<sup>1,2)</sup>。その結果、圧接部では硬さは顕著に大きくなっている。これに対し、純Ti/純Ti圧接部の場合、硬さ上昇はさほど大きいとは言えない。これは、同種材料の接合で生じる残留応力は小さいことによるものと考えられる。

ところで、PWHTを行うと、硬さ及び音速分布が母材のそれに近いほぼ一定の値が得られたが、これはPWHTによって材料中の組織の均一化、残留応力・ひずみの緩和がなされた結果と考えられる。

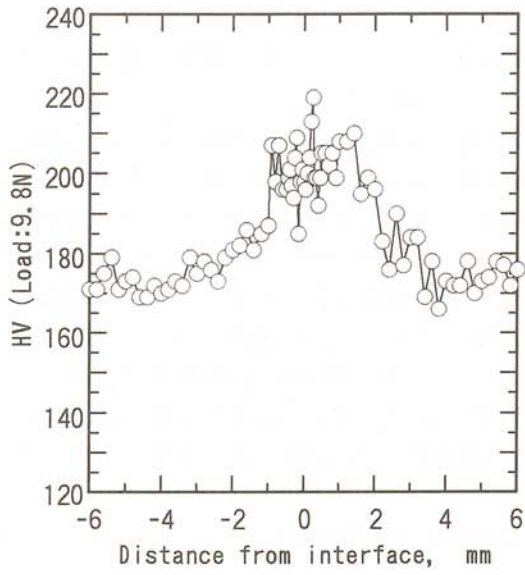


Fig.2 As-welded; at center.

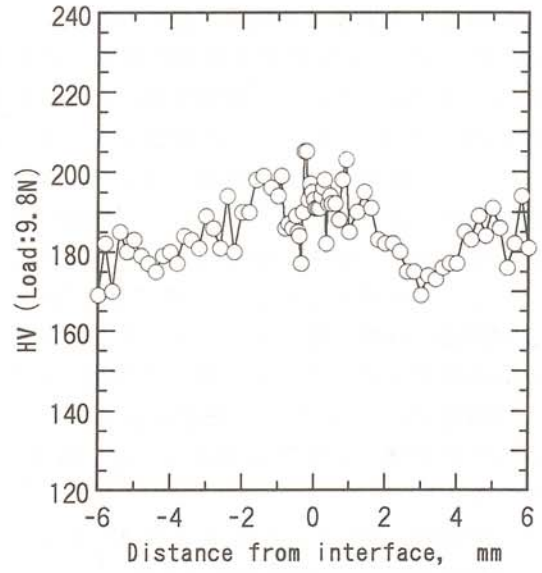


Fig.3 As-welded; at (1/2)R

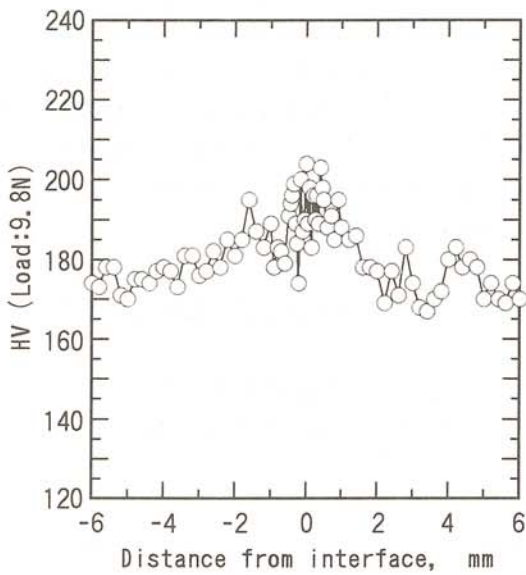


Fig.4 As-welded; at periphery.

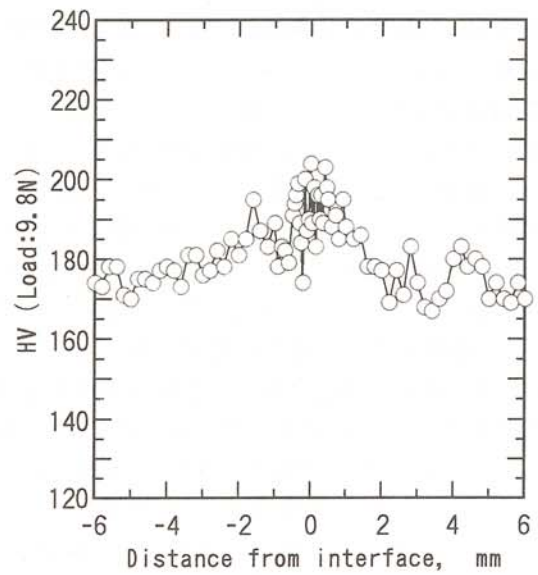


Fig.5 873K-3.6ks; at (1/2)R

Fig.2-5 Hardness distributions across interface regions of joints.

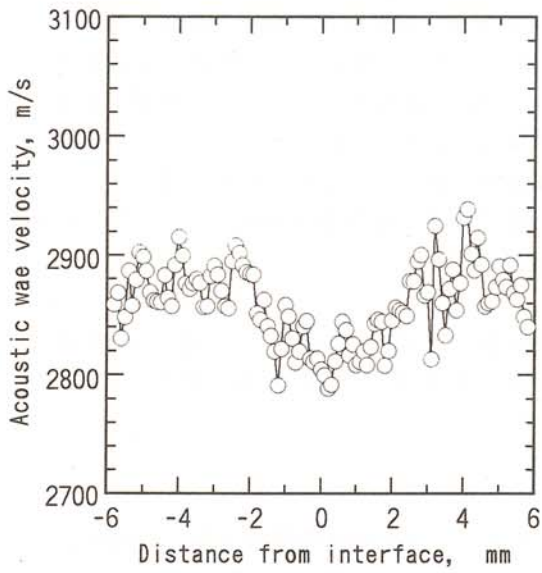


Fig.6 As-welded; at center.

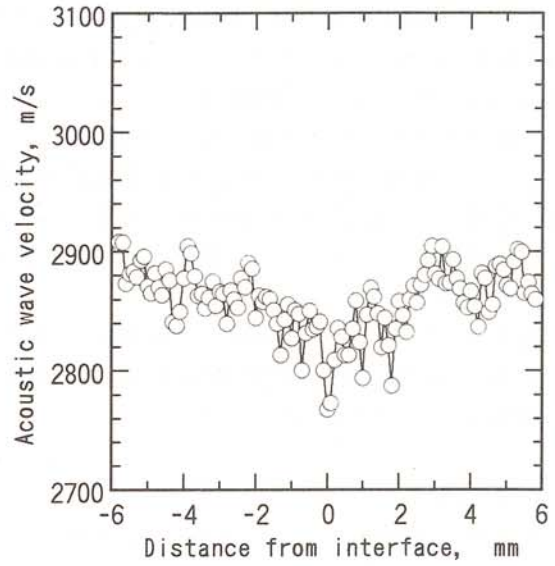


Fig.7 As-welded; (1/2)R

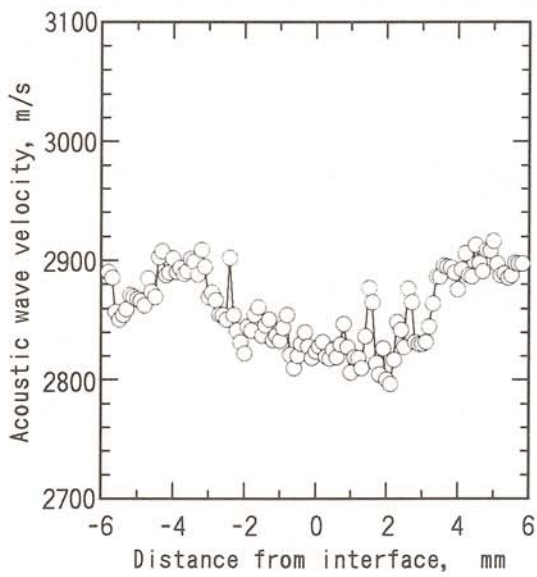


Fig.8 As-welded; periphery

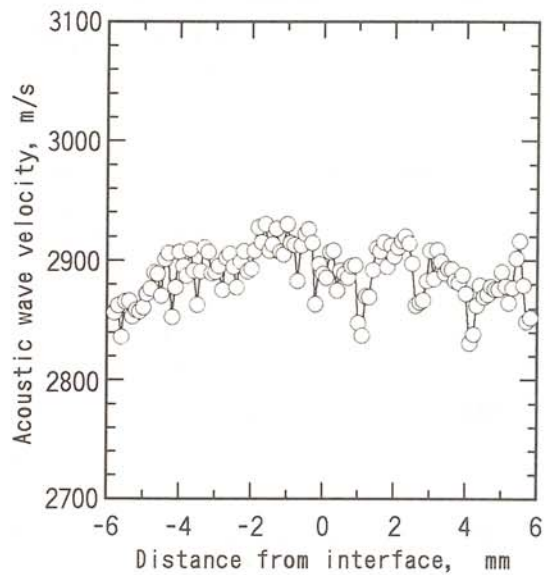


Fig.9 873K-3.6ks; (1/2)R

Fig.6-9 Acoustic wave velocity distributions across interface regions of joints.

## 5. 硬さ音速との関係

一般に引張応力・ひずみが増加するにつれて音速は低下し、一方圧縮応力下では上昇すると言われている<sup>5)</sup>。この音速の変化は、材料の変形、転位の増殖、欠陥の増加等幾つかの因子が考えられるが、詳細な報告はあまりなされていない。これに関連して、材料加工時の残留応力を除去する目的で、873K-1.8ks(600°C-0.5H)の熱処理を行ったTi母材に対し、引張の負荷応力(ひずみ)を種々変化させて、音速を測定した。音速と負荷引張応力・ひずみの関係をFig.10(a)及び(b)に示す。図から明らかのように、負荷引張応力(ひずみ)の増加と共に音速は直線的に低下し、応力・ひずみ量の大きさと音速との間には比較的良好な相関が見られる。この結果は、硬さあるいは音速を測定するにより、継手に生じた残留応力・ひずみの推定が可能であることを示唆している。

## 6. まとめ

本報告では、JIS TB35H 工業用純チタニウムの摩擦圧接継手を作製し、継手圧接部の硬さ分布、並びに超音波顕微鏡を用いて超音波の音速分布を求め、圧接部の応力・ひずみとの関係について明らかにした。

### [参考文献]

- (1) 金裕哲, 富士明良, T.H.North : チタン/ AISI 304Lステンレス鋼の摩擦圧接で生じる残留応力・ひずみ分布の特徴とそれらの生成機構, 溶接学会論文集, Vd.12, Nb2, pp243-248(1994).
- (2) Y.C.Kim, A.Fuji and T.H.North : CHARACTERISATION OF RESIDUAL STRESS IN TITANIUM /ALUMINIUM FRICTION WELDS, First international Conference on Processing Materials for Properties, Nov. , USA, pp. 325-328 (1993).
- (3) 石川 潔 : 超音波顕微鏡, 光学, Vol.17, No.10, pp. 518-519 (1988).
- (4) 石川 潔 : 超音波顕微鏡と加工変質層の厚さ計測, 精密工学会誌, Vd.55, Nb8, pp1346-1349 (1986).
- (5) 成田敏夫 : 超音波顕微鏡による接合界面 近傍の残留応力測定の可能性, 日本金属学会会報, Vol.29, No.11, pp. 918-923 (1990).

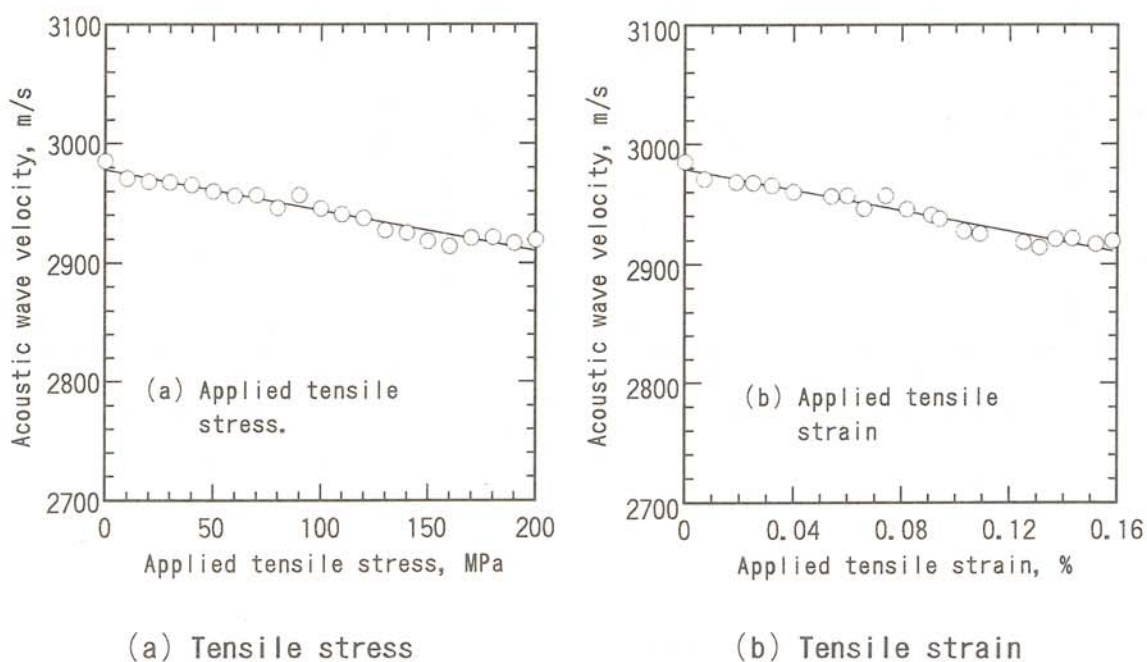


Fig.10 Relationship between applied tensile stress and strain and acoustic wave velocity of Ti substrate.



# 太陽熱利用地下蓄熱に関する実用化開発

## A New Approach to Underground Storage of Solar Thermal Energy

客員教授 大城 英行 (シロキ工業株式会社)

Hideyuki Oshiro (Shiroki Corporation)

### 1. はじめに

21世紀に向けたわが国のエネルギー政策の中で新エネルギーへの期待とその果たすべく役割は国民生活に於けるゆとりと豊かさの追求、地球環境保護への取り組みという基本的な座標軸でとらえていくことが重要である。わが国のエネルギー需要は内需主動型の高い経済成長に支えられ、高い伸びを示してきた。また、国民生活に於けるゆとりと豊かさの追求は、エネルギー需要の増大及びエネルギーニーズの高級化をもたらした。それにより利用の効率化が大きく進み、省エネルギーの余地が少なくなっている。今後さらに有効なエネルギー政策を講じる必要がある。このような状況から、代替エネルギーの開発導入を早期に行い実施することが資源を抱えないわが国の課題である。

当社では、太陽熱利用の真空二重管を主力としたソーラーシステムの開発から生産販売を行っている。このソーラーシステムを用いて、夏の太陽熱を集め蓄熱し、冬にその熱を取り出し、石油代替を図るべく取り組みを開始致しました。

平成元年から平成3年まで、通産省資源エネルギー庁より補助を受け研究を行い、平成4年から平成8年まで実用化に向け、研究継続を行ってまいります。

### 2. 狙い

- 1) 夏季の太陽エネルギーを蓄熱する。
- 2) 冬季に、蓄えた熱を使用する。
- 3) 石油を使用しない暖房システムの構築。

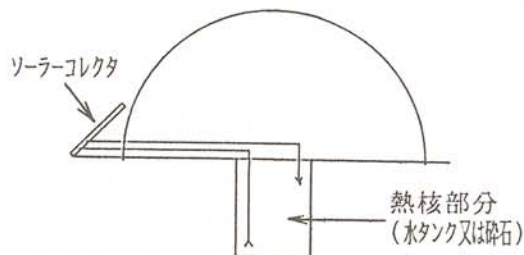
### 3. 進め方

- 1) 基礎研究により、蓄熱及び回収方法と碎石種類の選定
- ↓
- 2) 実用化研究用装置の設計
- ↓
- 3) 実用化研究 (蓄熱性能の計測)
- ↓
- 4) 蓄熱を利用した応用研究 (住宅・ビニールハウス等)

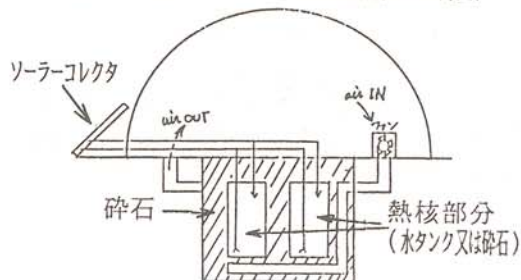
### 4. 基礎研究

#### 1) 蓄熱及び回収方法

従来技術では熱核部分と周囲の土壌との組み合わせからなり、土壌に蓄熱するが、この熱の回収方法は、室内と土壌とで行われる熱呼吸式である。この方法では熱収支を制御できない。(短期間で回収率は40%)



今回の開発技術では、熱核部分と周囲の碎石と土壌の組み合わせからなり、碎石と土壌に蓄熱する。熱回収は、ファンの発停により制御できる。(長期間で回収率は50%以上)

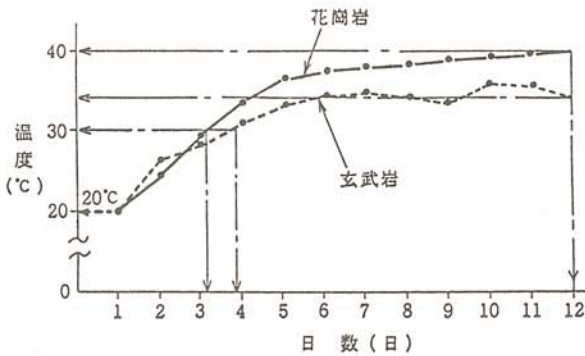


ロ) 碎石の選択

石の物性、価格より検討したところ、花崗岩か玄武岩のどちらかを使用することにし、比較試験の結果、花崗岩を使用することに決定しました。

種類	熱伝導率 (kcal/m・h・℃)	比熱 (kcal/kg・℃)	経済性
コンクリート	1.4	0.21	△
◎ 花崗岩	3.0	0.20	○
大理石	2.4	0.21	×
◎ 玄武岩	2.1	0.21	○
砂岩	0.54	0.20	△
閃長岩	1.9	0.17	△
頁岩	1.65	0.17	△

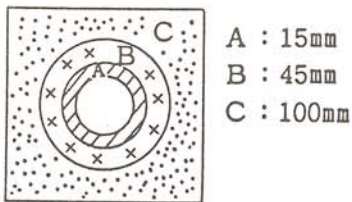
石材の熱性能及び経済性



花崗岩と玄武岩の性能比較

又、碎石の配置について検討したところ、碎石槽内で碎石への熱の伝わりは均一ではなく、熱源に近いところから順に蓄熱される。碎石の径の小さい物は熱の取り込む速さが速いが熱の絶対保有量が小さく、径の大きい物は熱の取り込む速さは遅いが熱の絶対保有量が多い。

以上より、本システムでは右図の様に三段階の碎石配置を実施した。



碎石の最適配置

5. 実用化研究

1) 目標値

ソーラー依存率 (%)		100
目標設計値	集熱量(kcal/年)	36,981,883
	暖房負荷熱量(kcal/年)	27,784,854
	総回収熱量(kcal/年)	27,784,854
	石油代替量 (L/年)	5,213
	CO <sub>2</sub> 削減量 (kg/年)	13,554

2) 装置の概要

- ① 機器
  - ・ソーラーパネル 55 [枚]
  - ・タンク容量 2 [m<sup>3</sup>]
  - ・碎石槽容量 8.19 [m<sup>3</sup>]
- ② ドーム温室
  - ・直径 10 [m<sup>2</sup>]
  - ・床面積 78.5 [m<sup>2</sup>]
  - ・容積 261.8 [m<sup>3</sup>]

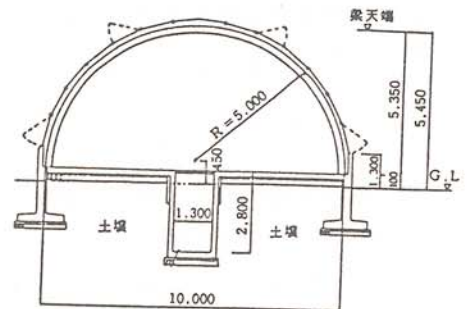
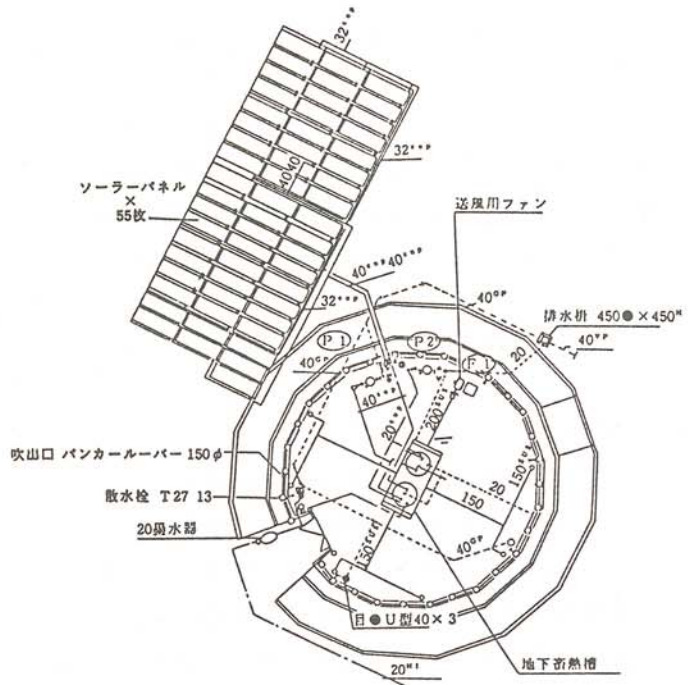


図1 システム概要図

### 3) システムの概要

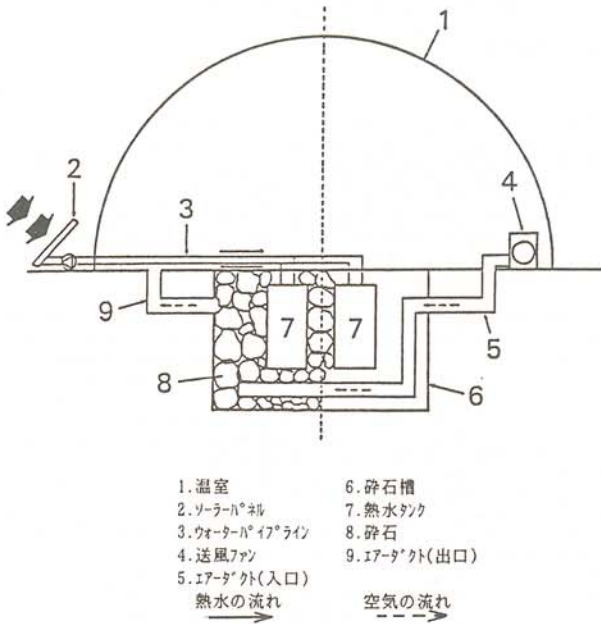


図2 地下蓄熱システム概念図

地中に蓄熱装置を設置し、ソーラーパネルにより集熱した太陽エネルギーを蓄熱して、必要なときに必要なだけエネルギーを取り出し暖房を行うシステムである。

図2は、システムの概念図である。

#### 1) 集熱及び蓄熱

図2のソーラーパネルより太陽熱を集熱し、循環ポンプにより地中へ埋設した熱水タンクに蓄熱する。蓄熱した熱は、熱水タンクから蓄熱材料、そして土壌へと伝わり熱水タンク内の水、蓄熱材料、土壌の中へ蓄熱させる。

#### 2) 熱回収

図2に示した蓄熱槽内に充填した蓄熱材料の間に、送風ファンで強制的に空気を送り込み、室内を循環させることにより、蓄熱材料、熱水タンク、土壌に蓄熱した熱を回収し、暖房を行う。

次にシステムを頭上から見た時の略図を図3に示す。空気導入口①からファンにて強制的に空気を送り込み、暖まった碎石の間を通り、熱せられた空気を排出口②③④より、温室内に送り込む。

室内の温度調節は、室内の温度感知装置により、送風ファンの発停を制御することによって行う。

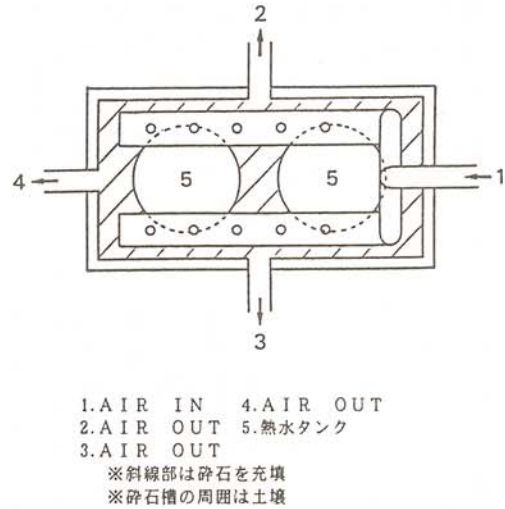
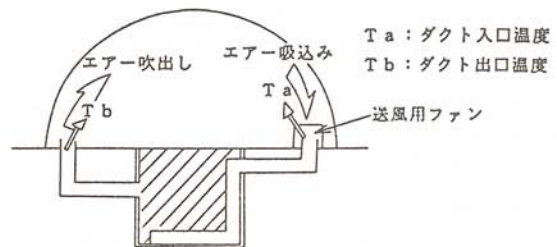


図3 蓄熱槽略図

### 3) 計測方法

集熱量……ソーラーパネルの集熱量を出入口間の積算熱量で計測する。

回収熱量……エアダクトの出入口の差温及び送風用ファンの風量より、蓄熱槽で空気が昇温された分の熱量を回収熱量とする。



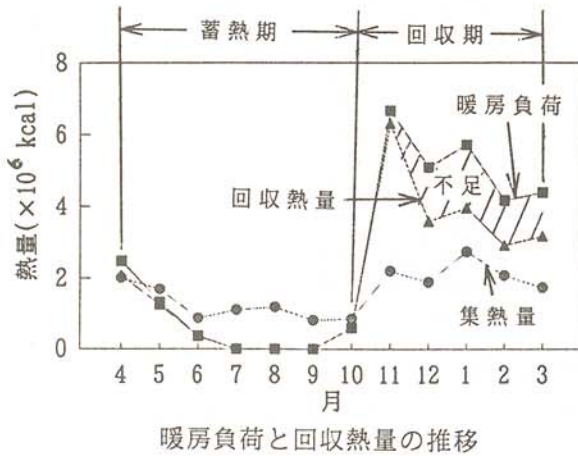
又、以下の測定点について、温度計測を行った。

#### 測定点

- ・ 土中温度 16点
- ・ 碎石温度 9点
- ・ 熱水タンク温度 4点
- ・ ダクト出入口温度 各1点
- ・ 温室内温度 1点
- ・ 外気温度 1点

6. 計測結果 (H6年度)

ソーラー依存率 (%)	<u>78.6</u>
集熱量 (kcal/年)	20,996,377
暖房負荷熱量(kcal/年)	30,789,134
総回収熱量 (kcal/年)	24,201,619
石油代替量 (L/年)	4,541
CO <sub>2</sub> 削減量 (kg/年)	11,807



H6年度の結果は、設計値に対して回収率が 78.6% となった。

月	集熱量 (kcal/月)	回収熱量 (kcal/月)	暖房負荷 (kcal/月)
4	2,279,643	2,079,303	2,478,236
5	2,013,498	1,247,458	1,326,902
6	1,218,002	367,949	383,709
7	1,528,567	0	0
8	1,666,595	0	0
9	836,708	0	0
10	851,236	594,473	597,385
11	2,196,067	6,305,000	6,661,449
12	1,876,249	3,586,495	5,088,180
1	2,730,295	3,952,142	5,701,067
2	2,069,168	2,909,015	4,167,057
3	1,730,349	3,159,784	4,385,149
合計	20,996,377	24,201,619	30,789,134

月別計測結果

7. 考察

土中蓄熱の効果を考察したところ、土中各部の温度は下の表のようになる。

測定点	4/1	4/30	5/31	6/30	7/31	8/31	9/30	10/31	11/30	12/31	1/31	2/27	3/30
1	18.1	19.3	20.9	22.8	25.1	27.4	28.1	27.2	25.1	22.2	20.1	19.2	18.7
2	21.2	23.3	25.2	26.3	30.3	32.3	30.1	28.2	25.6	21.2	21.1	20.7	19.7
3	20.6	22.2	24.5	27.2	29.6	32.9	33.6	31.5	27.5	24.1	22.0	21.4	20.9
4	23.2	26.1	28.7	30.6	34.2	37.6	35.8	32.3	27.8	23.1	22.6	22.7	21.6
5	18.9	19.7	21.2	23.3	25.2	28.1	29.5	28.8	26.2	23.4	21.6	20.5	19.8
6	20.3	22.5	24.6	26.6	30.0	33.1	32.5	30.1	26.1	21.9	20.5	20.0	19.4
7	21.1	23.0	25.6	28.7	30.9	35.6	36.1	33.4	28.4	24.4	22.3	21.6	21.2
8	23.2	26.4	29.6	31.6	36.5	41.5	38.3	33.3	27.9	22.9	22.6	22.2	21.4
9	16.1	17.2	18.8	20.7	23.0	25.6	26.4	25.5	23.2	20.4	18.1	17.0	16.6
10	15.7	18.5	20.6	22.5	26.3	28.4	27.1	24.4	20.5	16.8	14.8	15.0	15.3
11	16.9	18.7	21.2	24.2	27.2	30.5	31.0	28.4	23.7	20.2	17.9	17.2	17.3
12	16.6	19.9	22.7	25.3	29.7	31.8	30.6	26.3	20.7	16.8	15.1	15.4	16.0
13	19.8	20.7	22.1	23.9	25.8	28.4	29.7	29.3	27.0	24.1	21.9	20.9	20.3
14	19.6	21.5	23.2	24.8	27.6	29.9	29.7	28.1	24.8	20.9	19.6	19.3	18.6
15	20.2	22.0	24.4	27.5	29.8	33.5	34.4	32.3	27.5	23.8	21.7	21.1	20.8
16	18.0	20.7	23.4	25.5	28.5	31.6	30.4	27.3	22.6	18.6	18.1	18.3	17.8
平均	19.3	21.4	23.5	25.7	28.7	31.8	31.5	29.2	25.3	21.6	20.0	19.5	19.1

土中温度推移

上記より、

開始温度(4/1) 19.3℃

最高温度(9/30) 31.8℃

終了温度(3/30) 19.1℃

◎土中最大蓄熱量 1,898,722 kcal

◎土中回収熱量 1,893,401 kcal

この結果から、土中に蓄えた熱のほぼ全てを回収できており、拡散による損失は、ほとんどないといえる。

8. むすび

日射量など不安定要素に対する性能変動がみられる。自然エネルギー利用のため、克服することは、困難であるが、実用化に向けての要検討事項である。

# 真空二重ガラス管を素材とする 新ソーラーシステムの開発

Development of a New-type Solar System Used Vacuumed Double Glass Tube  
as Elementary Parts

金山 公夫 (北見工業大学機械システム工学科)  
馬場 弘 (北見工業大学機械システム工学科)  
遠藤 登 (北見工業大学機械システム工学科)  
梅津 将広 (シロキ工業株式会社ソーラー技術部)  
川上 英樹 (シロキ工業株式会社ソーラー技術部)  
趙 春江 (シロキ工業株式会社ソーラー技術部)

Kimio KANAYAMA (Dept. of Mech. Engg., Kitami Institute of Technology)  
Hiromu BABA (Dept. of Mech. Engg., Kitami Institute of Technology)  
Noboru ENDOH (Dept. of Mech. Engg., Kitami Institute of Technology)  
Masahiro UMEZU (Solar Tech. Division, Shiroki Corporation)  
Hideki KAWAKAMI (Solar Tech. Division, Shiroki Corporation)  
Chunjiang ZHAO (Solar Tech. Division, Shiroki Corporation)

Key words: semi-forced circulation-type collector, hot-water, space-heating  
vacuumed double tube

## 1. まえがき

著者らはこれまで取り扱いやデザイン性に優れ、集熱効率の高い真空二重ガラス管（以下真空ガラス管という）式コレクターを素材とする半強制循環式集蓄熱・給湯・暖房システムの実用化のための基礎及び予備実験を行ってきた。その結果、日中日射がある時の集熱及び給湯は自然循環式、日射の弱い朝夕の集熱及び暖房は小型ポンプを用いた強制循環式の二通りの作動を組み合わせた半強制循環式<sup>1)</sup>にすることにより、寒冷地の冬期間を含めた通年の利用に耐え得る効率的で実用的なシステムが構築できる見通しが得られた。

この報告では、本システムを完成するに当たって、必要な制御の条件及び指令等に関して予備実験によって把握し、それによって設計、開発された制御装置をシステム本体に組込んだユーティリティタイプの装置を製作し、自動運転のもとで、冬期を含めた長期の実験を行なってユーティリティタイプ装置を実用化につなげようと試みたものである。

写真は屋上の蝶型配置されたコレクターまわりの室外装置の状況を示す。

主な記号及び性能値

$q_j, Q_j$ : 傾斜面日射量	$W/m^2, W$
$q_c, Q_c$ : コレクター集熱量	$W/m^2, W$
$t_a, T_a$ : 外気温度	$^{\circ}C, K$
$t_s$ : 室外貯湯槽温度	$^{\circ}C$
$t_t, T_t$ : ガラス管内温度	$^{\circ}C, K$
$t_o, T_o$ : コレクター出口温度	$^{\circ}C, K$
$\Delta t_s$ : 室外貯湯槽温度変化	$^{\circ}C$
$\Delta t_g$ : ガラス管温度変化	$^{\circ}C$
$Q_s$ : 室外貯湯槽熱量	$W$
$Q_{sL}$ : 貯湯槽熱損失	$W$
$Q_g$ : ガラス管蓄熱量	$W$
$A_c$ : コレクター面積	( $=1.26m^2/枚$ )
$A_t$ : ガラス管の垂直方向への投影面積	( $=0.889m^2/枚$ )
$A_i$ : ガラス管内管の表面積	( $=2.20m^2/枚$ )
$\tau_g$ : コレクターガラスの透過率	(厚さ $\delta = 1.5mm$ で $0.91$ )
$\alpha$ : 選択吸収膜の吸収率	( $=0.93$ )
$\epsilon$ : ガラス管の放射率(選択吸収膜及び外管)	( $=0.035$ )
$\sigma$ : ステファン・ボルツマン定数	[ $=5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 K^4)$ ]
$V_s$ : 室外貯湯槽水量	$L$ ( $=1 \times 10^{-3} m^3$ )
$V_g$ : ガラス管水量	$L$ ( $=1 \times 10^{-3} m^3$ )
$C_w$ : 水の比熱	( $=4.186 \times 10^3 J/kgK$ )
$\theta$ : コレクター設置角度( $=60^{\circ}$ )	
$\tau, \Delta \tau$ : 時間及び時間間隔	$h$
$h$ : 太陽高度	$^{\circ}$
$\eta_c$ : コレクターの集熱効率	

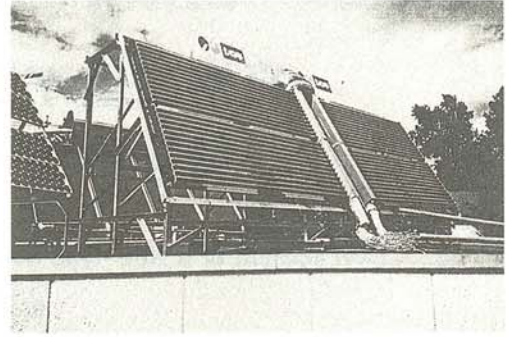


写真 蝶型配置された水集熱真空ガラス管式ユーティリティタイプ実験装置の室外全景

2. ユーティリティタイプのシステム概要

本システムは直接水集熱式コレクター、室外貯湯槽A及びB、ポンプ、室内貯湯槽、床暖房パネル、循環配管及びバルブ類などの要素を組合せて構成され、さらに制御装置が組込まれている。コレクターは自然エネルギー実験室の屋上に真南に向けて4枚を横向きに蝶型配置にして傾斜角 $60^{\circ}$ の架台に取付ける。

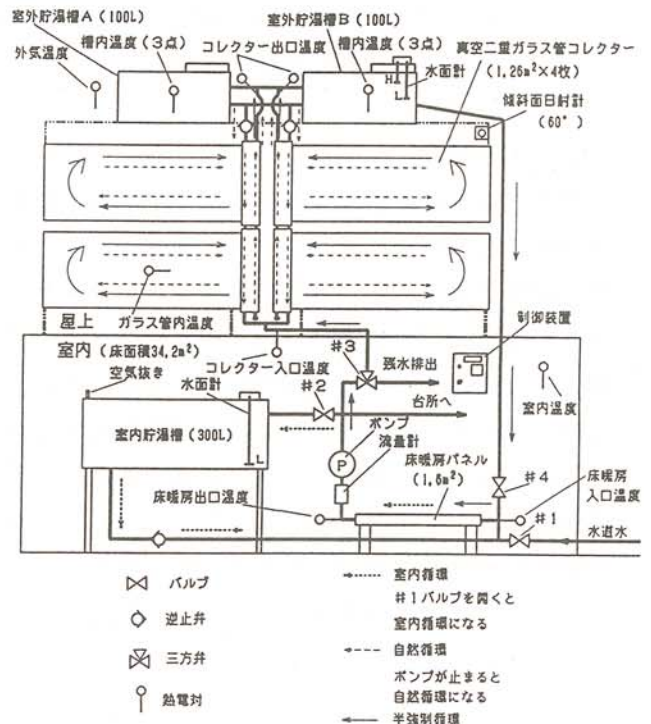


図1 ユーティリティタイプ実験用システムの全体構成

システムの全体構成は図1に示す通りで、架台傾斜面に合わせて日射計が取付けられ、また温度計は制御センサーを兼ねている。

### 3. 実験結果

#### 3.1 自然循環式集熱・給湯

本システムは室内にあるポンプを停止させると、コレクターと室外貯湯槽間の自然対流になり、コレクターと室外貯湯槽間では自動的に自然循環集熱が行なわれる。その際集熱量を正確に測定し、集熱効率を精度よく算出できるように室内の床暖房パネルの出入口のバルブは閉じる。

実験は平成6年5月下旬から6月中旬にかけて行なわれ、それらの測定結果から主要要素の熱的性能を算出する。

##### 3.1.1 室外貯湯槽の熱損失

前回の予備実験<sup>2)</sup>では室外貯湯槽の温度低下係数は $0.025^{\circ}\text{C}/(^{\circ}\text{C h})$ があり、相当地に大きいことが分かった。これを断熱施工することにより $0.016^{\circ}\text{C}/(^{\circ}\text{C h})$ に低減させることができた。すなわち室外貯湯槽の温度低下速度は式(1)で示される。

$$d t_s / d \tau = -0.016 (t_s - t_a) \quad ^{\circ}\text{C}/\text{h} \quad (1)$$

よってその熱損失 $q_{sL}$ は

$$\begin{aligned} q_{sL} &= 4.186 \times 0.016 (t_s - t_a) \cdot V_s \\ &= 14.7 (t_s - t_a) \quad \text{kJ}/\text{h} \end{aligned} \quad (2)$$

となり、前回の64%に減少したが、さらに貯湯槽及び室外配管等の保温性を高める必要がある。

##### 3.1.2 コレクターの集熱効率

直接集熱式ガラス管コレクターの横向き設置の場合自然循環にある程度の脈動現象があるので、集熱量を「流量×温度差」から求めたのでは正確な値を算出しにくい。そこで式(3)に示すようにシステムの熱バランスの式によって計算する。

コレクター集熱量 $Q_c$ =貯湯槽蓄熱量 $Q_s$ +貯湯槽熱損失 $Q_{sL}$ +ガラス管蓄熱量 $Q_g$

したがって実測値を整理して得られる集熱効率 $\eta_c$ は

$$\begin{aligned} \eta_c &= Q_c / Q_j = (Q_s + Q_{sL} + Q_g) / Q_j \\ &= 4.186 \{ \Delta t_s \cdot V_s + 0.016 V_s (t_s - t_a) \Delta \tau \\ &\quad + \Delta t_g \cdot V_g \} / (3.6 q_j \cdot A_c \cdot \Delta \tau) \quad \text{kJ}/\text{kJ} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで 3.6: 測定時間  $10^3 \text{ s}$

$\Delta \tau$ : 日射サンプリングの時間間隔  $\text{ h}$

$q_j$ : 日射量の平均値  $\text{ W}/\text{ m}^2$

ガラス管コレクターの場合、ガラス管同士が影にならない範囲においては日射の入射方向へのガラス管の投影面積は太陽高度により変化を受けないが、コレクター枠面積は変化する。実験結果から太陽高度を考慮した集熱効率 $\eta_c$ の近似式は

$$\begin{aligned} \eta_c &= [ \tau_g \cdot \alpha \cdot q_j \cdot A_t / \cos \{ (h - (90 - \theta)) (6 - |11.5 - T|) / 6 \} \\ &\quad - c_1 (t_t - t_a) A_c - \varepsilon \cdot \sigma \{ (c_2 \cdot q_j + T_t)^4 - T_a^4 \} A_i ] / (q_j \times A_c) \end{aligned} \quad (4)$$

ここで  $q_j$ :  $\Sigma q_j$  の平均値  $(= \Sigma q_j / n)$

$\text{ W}/\text{ m}^2$

11.5 : 北見市 (43° 49' N、143° 55' E) の太陽南中時  $h$

$T$  : 5時半と17時半の間で  $\Sigma q_j / n$  の測定値に対応する時刻  $h$

$c_1$  : 実験により求める熱伝達率 ( $=0.45W/(m^2\text{°C})$ )

$c_2$  : 実験により求める熱抵抗係数 ( $=0.12\text{°Cm}^2/W$ )

が得られる。

集熱効率はコレクター枠面積を基準に算出されるので、ガラス管コレクターの集熱効率は太陽高度によって影響を受けることになる。

以上の値を式 (4) に代入して整理すると

$$\eta_c = 0.597 / \cos\{(h-30)(6 - |11.5 - T|) / 6\} - [0.45(t_t - t_a) + 0.347 \times 10^{-8} \{(0.12 q_j + T_t)^4 - T_a^4\}] / q_j \quad (5)$$

を得る。

ユーティリティタイプについて自然循環集熱の実験結果 (H6.6.1) を図2に示す。図中  $\eta_c$  の  $\Delta$  印は実測データを用いて式 (3) より、実線の  $\eta_c$  は式 (5) より計算した。図中、集熱効率の計算値は午前中は実測値よりやや小さいが全体によく合っている。

### 3.2 半強制循環式集熱・暖房

ユーティリティタイプの実験装置に関する半強制循環の場合は、流量が自然循環より大きく、ガラス管内に蓄えられる熱量が少ないため、管内温度が自然循環ほど高くない。また再放射熱損失も小さく、そのために集熱効率は高い値を示す。

実験結果によれば集熱効率  $\eta_c$  は

$$\eta_c = 0.597 / \cos\{(h-30)(6 - |11.5 - T|) / 6\} - [0.45(t_t - t_a) + 0.347 \times 10^{-8} \{(0.04 q_j + T_t)^4 - T_a^4\}] / q_j \quad (6)$$

となる。式 (6) から半強制循環の場合のガラス管の熱抵抗係数  $c_2$  は0.04で自然循環の0.12より1/3に低下し、そのことは再放射損失が低減したことを意味する。

式 (5) 及び式 (6) において集熱効率は季節、時刻によって変化する太陽高度によって影響を受けることになるが、これに関する詳細な検討は改めて報告したい。

半強制循環式ユーティリティタイプの夏の快晴日の実験結果 (H6.7.21) を図3に示す。図中集熱効率の計算値は実測値とよく合い、高い値を示す。

自動制御された半強制循環式ユーティリティタイプは冬期間も凍結を起すこと

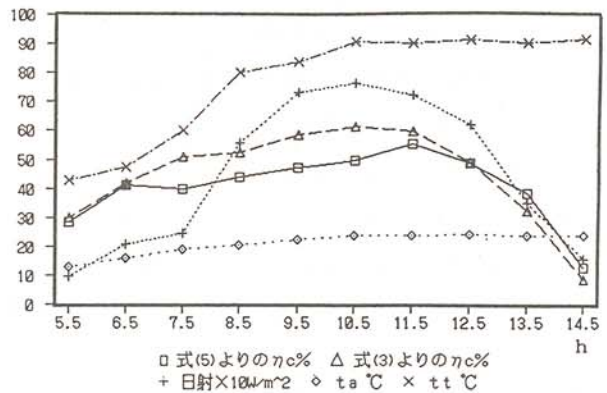


図2 ユーティリティタイプ自然循環の実験結果 (H6.6.1)

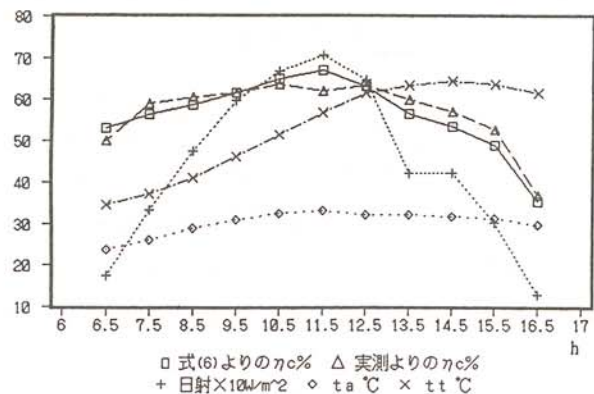


図3 ユーティリティタイプ半強制循環の実験結果 (H6.7.21)



なく順調に作動した。自動制御による冬期間の実験結果 (H7.2.7) を生の測定データで図4に示す。

図4において朝6:30の外気温度は-20.5℃、ガラス管内温度-19.7℃であったが、日射を受けて8:17には管内温度が30℃に達してシステムは稼働し、コレクター出入口温度は上昇する。15:00にコレクター出口温度39.3℃の最高温度に達するが、その後は日射が低下して間欠循環に入り、さらに日射が弱まって16:40には排湯プロセスに入る。

#### 4. システム制御の条件

本システムの作動を制御するために、まずコレクターへの送水開始の条件を決めなければならない。日射量は天候によって大きく、かつ微妙に変化するのでこれを指令の信号に用いると制御は複雑になる。それゆえガラス管内の温度を検出して制御する。

まずガラス管内に熱電対温度計を挿入しておき、早朝に日射が当り始める時の空管内温度を測定した。その結果、空管の管内温度は50℃以下の範囲で式(7)に従う。

$$t_{t2} = 0.02 Q_j + 0.0003 Q_j^2 + t_{t1} \quad (7)$$

ここで  $t_{t2}$  : 到達温度           ℃

$t_{t1}$  : 初期温度           ℃

$t_a$  : 外気温度           ℃

$Q_j$  :  $t_{t1} \sim t_{t2}$  の間の日射量  
kJ/m<sup>2</sup>

式(7)から管内温度は外気温度にわずかに影響されるが、主に日射量で定まることが分かる。またこの特性は安い熱電対が高い日射計の代りに制御に使用できることを示唆して

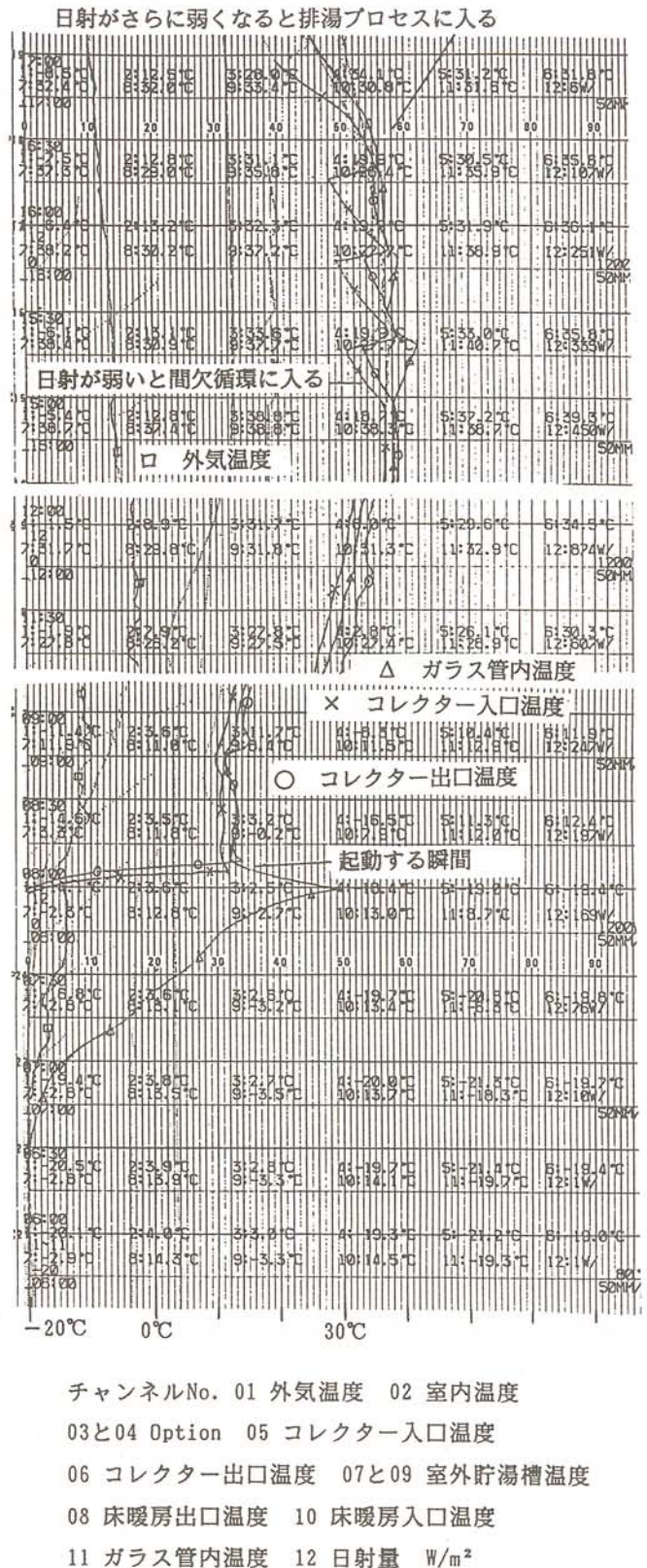


図4 ユーティリティタイプの自動制御による厳冬期の実験結果 (H7.2.7)

いる。その結果快晴日において夏は $70\text{W}/\text{m}^2$ の時、冬は $120\text{W}/\text{m}^2$ の時に管内温度は約 $30^\circ\text{C}$ に到達する。またこれらの日射量は本システムの損失熱量に見合うエネルギー割合である。ガラス管が空管の場合、管内温度は早朝の日射により容易に上昇し、ガラス管が高温時に送水されるとヒートショックで破壊する恐れがある。実測によれば管内温度 $200^\circ\text{C}$ までは破壊することはなかったが、 $253^\circ\text{C}$ の時に送水したら、たまたま欠陥があったと思われるガラス管が1本破壊した。その状況を図5に示す。

システムが自動制御で正常に作動している時は問題はないが、停電の場合または手動運転の場合に管内が高温の状態にある時いきなり送水すればガラス管破損の危険がある。

日常の作動状況から判断して、午前9時までは管内温度が $200^\circ\text{C}$ まで上昇することはないので、手動の場合は安全午前9時までに送水することが肝要である。

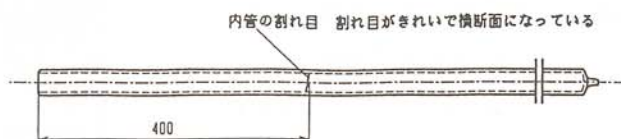


図5 ヒートショックで破壊したガラス管

## 5. 全天候制御フロー

これまでユーティリティタイプの実験装置に簡易な制御システムを組み込んで半強制運転のもとで実験が行なわれた。今回測定値及び経験値をもとにシステム全体を制御する全天候制御システムを開発し、半強制循環式システム本体に組み込まれた。制御システムのフローは省略する。

## 6. むすび

本論文に示されたユーティリティタイプのシステムは、前報<sup>2)</sup>のプロトタイプシステムの断熱保温性を高め、自動化のための全天候制御装置を組み込んだ寒冷地対応型に仕上げられた。ゆえにユーティリティタイプシステムは設置環境やユーザーの使用条件による若干の改良はあっても、基本的には寒冷地にも供し得る適応性のあるシステムであると考えられる。

これまでの研究開発で明らかになったように、寒冷地適用の半強制循環式実用化システムの開発は、水集熱に対する凍結防止対策、集熱効率及び断熱保温能力の向上等のハード技術の研究はもちろん、システム全体を設置環境及び用途に合わせた適切な制御のもとに作動させるソフト技術の研究を併行させ、両者の組合せによってはじめて達成できるものとする。

謝辞：本研究で使用した供試機器類の一部は(株)アズマからご提供いただいたもので、ここに感謝します。

## 参考文献

- (1) 金山公夫、馬場弘、遠藤登、「半強制循環式平板型ソーラーコレクターによる給湯・床暖房システムの集熱特性と寒冷地性能」、太陽エネルギー、Vol.21, No.2 (1995,3), pp.40~44
- (2) 金山公夫、馬場弘、遠藤登、趙春江、川上英樹、梅津将広、「真空二重ガラス管を用いた半強制循環式集蓄熱・給湯・暖房システムの開発」、その2：ユニットタイプ及びプロトタイプによる予備実験、太陽エネルギー、Vol.21, No.3, (1995)、掲載予定

# 連続バイオリアクターによるたまねぎ食酢製造の スケールアップ技術開発

Development of Continuous Bioreactor for Onion Vinegar Production

小林正義 (北見工業大学)  
菅野 亨 (北見工業大学)  
山口 文 (北見工業大学)  
富田弘毅 (北見工業大学)  
斉藤貴則 (北見工業大学)  
堤 平 (端野町農業振興センター)

Masayoshi KOBAYASHI (Kitami Institute of Technology)  
Tohru KANNO (Kitami Institute of Technology)  
Kazaru YAMAGUCHI (Kitami Institute of Technology)  
Kohki TOMITA (Kitami Institute of Technology)  
Takanori SAITOH (Kitami Institute of Technology)  
Taira TSUTSUMI (Agriculture Promotion Center of Tanno)

Key words: continuous bioreactor, onion vinegar, porous ceramics, immobilized cells

## 1. 緒言

近年生産地サイドから安価な余剰農産物を原料とした新しい加工食品の製造法の開発が強く望まれるようになった。たまねぎは北見市を中心としたオホーツク地域の主要農産物であり、得られる搾汁液中には一般に有機酸および遊離アミノ酸の含有量が多く、またコレステロール代謝促進作用、抗菌作用、抗炎症作用、抗ガン作用等の薬事効果を有する事も知られており、機能性発酵食品原料として興味深い。また、一般に酢の醸造には回分反応装置が用いられ、2から6ヶ月以上の時間を有するが、実用化、工業化を目指すためには連続反応装置を用いた高い反応安定性、高効率性を確立する必要がある。

本研究では、玉葱食酢の連続製造にあたり以下のことに着目して研究を行った。

- 1) 多孔性セラミックス固定化微生物活性の長期安定性の評価
- 2) 有機酸、アミノ酸分析によるたまねぎ食酢と市販食酢との香味成分の比較
- 3) 目的物の収量を向上させるための新しい操作法として、反応器の温度や供給基質流量などの操作条件を強制的に周期変動させる強制周期操作の有効性の調査

## 2. 実験方法

### 2. 1. 使用菌株および基質調製法

実験にはそれぞれ、アルコール発酵(Alf)用酵母として道立食品加工研究センターより提供された *Saccharomyces cerevisiae* AHU3532を、*Acetobacter aceti* TUA549Bを使用した。

本研究では天然基質として端野町より提供されたたまねぎより調製した搾汁液を用いた。具体的な搾汁液調製法を以下に示す。

- i) 原料たまねぎをジューサーを用いて搾汁
- ii) 搾汁液を393 K、30分加熱処理
- iii) 液中の粗繊維等の沈殿物を定性分析用濾紙（保持粒子径5  $\mu$ m）で除去
- iv) 保持粒子径0.40  $\mu$ mのガラス繊維濾紙を用いて除菌

### 2. 2. 固定化微生物

これらの反応器システムには微生物固定化担体として、アルコール発酵にはビーズ状の、酢酸発酵には管状のシリカ系多孔性セラミックスをそれぞれ用いた。固定化微生物の固定化法は、酵母または酢酸菌を接種した前培養液を、固定化担体を充填した反応器に酵母の場合は3 - 4日間、酢酸菌の場合は1週間循環して吸着固定化を行った。

### 2. 3. 分析方法

基質および生成物中のブドウ糖、果糖、しょ糖、エタノールおよび酢酸濃度はHPLCにより分析を行った。また、香味成分である有機酸、遊離アミノ酸についても、それぞれBTBポストカラム法およびNBD-F法によるHPLC分析から測定した。菌体細胞等の懸濁物質を含むサンプルは細孔径0.45  $\mu$ mのアセトセルロースメンブレンフィルターを用いて除去した後分析を行った。

### 2. 4. 反応器システム

本研究に使用した2段連続バイオリアクターをFig.1に示す。ここで、1段目をCO<sub>2</sub>ガスによる嫌気性アルコール発酵槽とし、2段目をAirによる好気性酢酸発酵槽として連続的に発酵させることによつてたまねぎ食酢の連続製造を行った。反応器はいずれも通気攪拌による完全混合槽型反応器を満した。

### 2. 5. 強制周期操作

反応器の操作条件を周期的に操作することにより目的物の収量を向上させることを目的とした強制周期操作は、本研究では反応温度と供給基質流量の2つの条件について行った。反応温度は反応器に接続された低温恒温水槽を用いて、反応器のジャケットに導入した水温を自動的に調節し、その時の生成物濃度を測定した。温度ジャンプの時の反応器内の温度変化速度は0.5°C/minとした。この時、目的温度への到達時間は約40分であった。基質流量についても同様に送入ポンプの流速を周期的に操作することにより反応器の希釈率を変動させた。

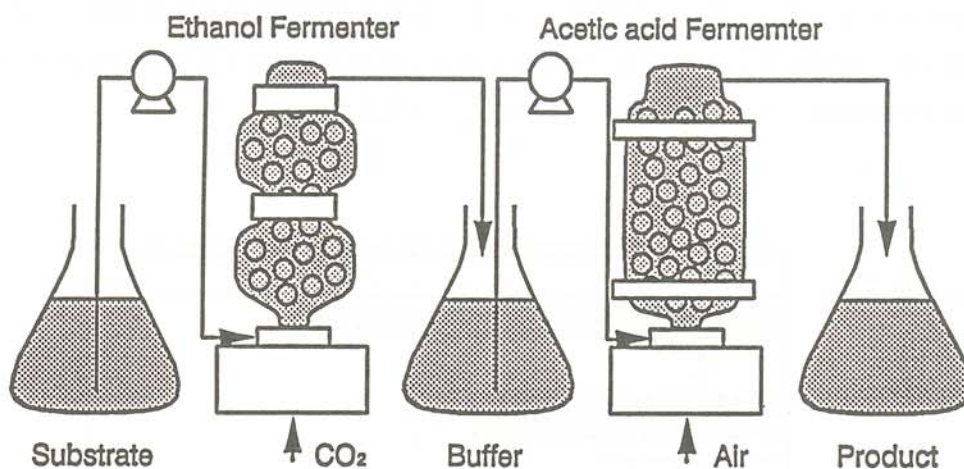


Fig.1 Schematic Diagram of Onion Vinegar Making

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1. 長期連続酢酸発酵試験

Fig.2に長期連続酢酸発酵試験の結果を示す。実験条件は基質含有エタノール濃度が40g/l、滞留時間60-92hr、反応温度303Kとした。よってシランリング固定化担体を使用した場合には約700日間にわたり高い反応安定性を示し、長期間の連続運転に対して極めて有効であることが示された。

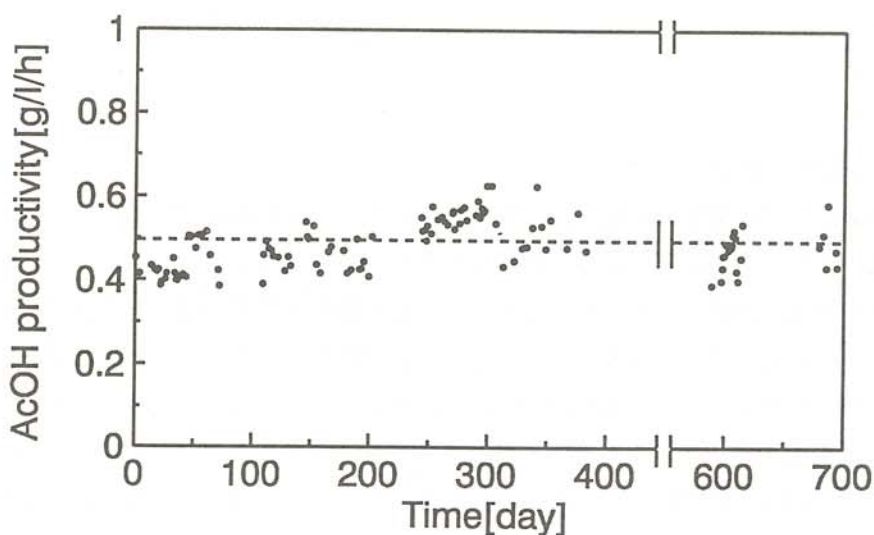
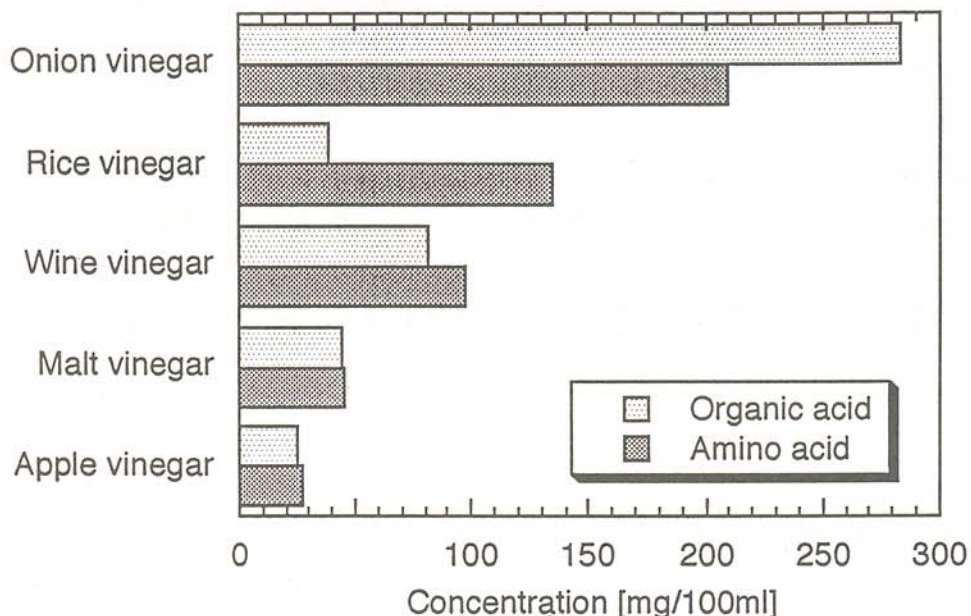


Fig.2 AcOH productivity in long term continuous vinegar fermentation.

$$\text{Productivity} = \text{product conc. [g/l]} / \tau \text{ [h]}$$

### 3. 2. 有機酸およびアミノ酸含量評価

本研究で試作したたまねぎ食酢と、市販されている一般および特殊酢類との有機酸およびアミノ酸含有量の比較をFig.3に示した。これより、本システムより製造されたたまねぎ食酢中には、他の食酢類と比べて多量の有機酸、アミノ酸が含まれていることが示された。



**Fig.3 Comparison of the composition of organic acid and amino acid in the various vinegars.**

### 3. 3. 強制周期操作結果

アルコール発酵における温度強制周期操作時の生成エタノール応答結果をFig.4に示す。反応温度は288-308 Kの間でステップ状に変化させ、周期長さ ( $\pi$ ) は24hrとした。

次に、本法の有効性の評価を行うためにエタノール生成量の時間積分値を定常値 ( $C_s$ ) に対する周期操作値 ( $C_c$ ) の比をRとして導入した。このRを周期長さ  $\pi$  に対して表した図をFig.5に示す。従って、R値が1より大きい場合に周期操作法によるアルコール生成の有効性を示す。この場合においては最大15%の収量の向上がみられた。ただし周期を長く取った場合には収量が逆に低下しており、最適周期長さはある範囲に限定されていることが示された。また、強制周期操作は基質流量よりも反応温度を変えたときの方が有効であった。

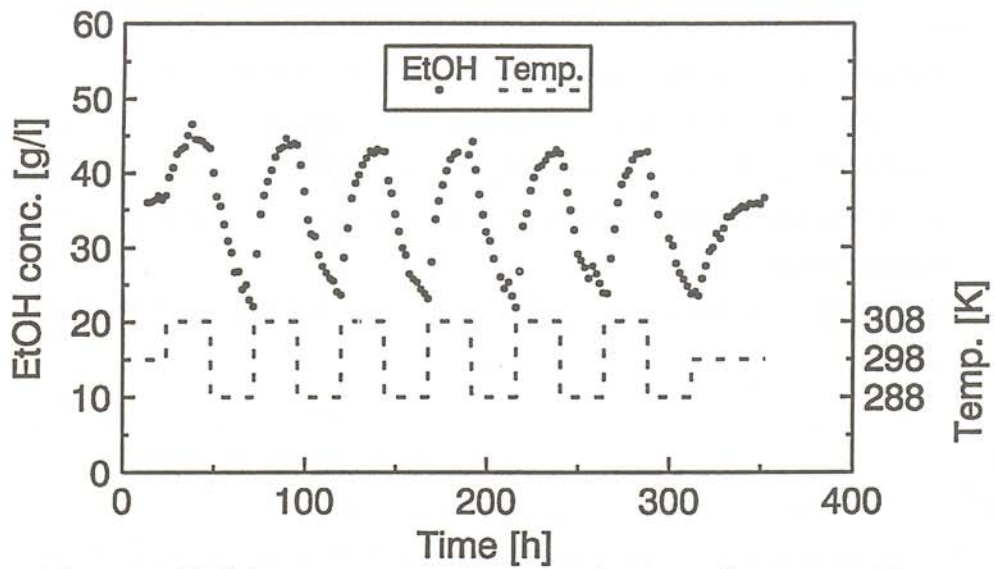


Fig.4 EtOH response due to the cyclic operation of the reaction temperature between  $T=288-308$ [K]  
 Conditions:  $V=330$ [ml],  $\epsilon=0.79$ ,  $F=15$ [ml/h]

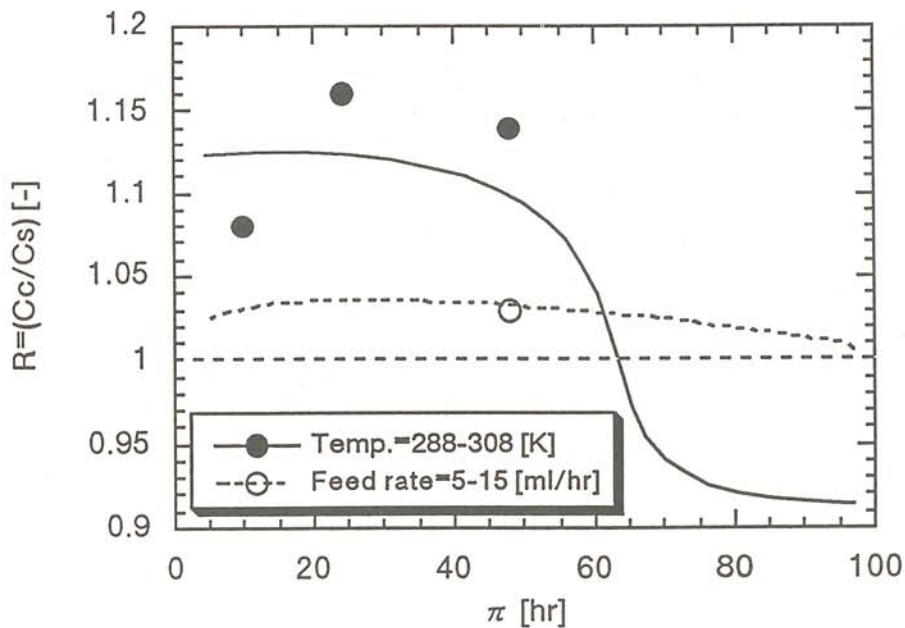


Fig. 5 Production yield elevation effect in alcohol fermentation cyclic operation.

#### 4. 結言

以上の結果より、

- 1) 長期間安定した玉葱食酢の連続生産のためのシステムが開発できた。
- 2) 今回試作したたまねぎ食酢は、有機酸およびアミノ酸がそれぞれ210,295[mg/100ml]と市販の食酢に比べて高く、含有微量成分の組成も複雑であり香味の良好性が示唆された。さらに単なる酸性調味料としてだけではなく、健康飲料としての性質も有し極めて高い市場価値が期待できる。
- 3) 強制周期操作法を適用することにより、アルコール発酵で最高15%程度の収量の向上が認められた。

#### 参考文献

- 1)伊藤 寛：食 酢(1), 醸 協, Vol.73, No.3, pp.201-202, (1978).
- 2)Stamler,F.W.: Disseminated Intra vascular Coagulation Induced by Progesterone in the Pregnant Rat Prevention Bb Estrogens, AMJ.Pathol, Vol.86, No.3, pp.603-662, (1977).
- 3)Ogawa, E, Akahori, F, Kobayashi, K: In-Vitro Studies on the Breakdown of Canine Erythrocytes Exposed to Onion Extract, Jpn. J. Vet. Sci., Vol.47, No.5, pp.719-730, (1985).
- 4)Makheja, A. N., Bailey, J. M.: Antiplatelet Constituents of Garlic and Onion, Agents Actions, Vol.29, No.34, pp.360-363, (1990).
- 5)Makheja, A. n., Styanarayana, M., N.: Influence of Certain Dietary Plant Constituents on Platelet agregation, J. Food Sci., Vol.9, No.3, pp.210-214, (1989).
- 6)Kendler, B.S.: Garlic Allium-Sativum and Onion Allium-Cepa A Review of Their Relationship to Cardiovascular Disease, Prev. Med., Vol.16, No.5, pp.670-685, (1987).



# コンクリート製品の 高品質化に関する研究 (第2報)

A Study on Improving the Quality of Concrete Products

鮎田耕一 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
桜井 宏 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
藤村 満 (網走管内コンクリート製品協同組合)

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)  
Hiroshi SAKURAI (Kitami Institute of Technology)  
Mitsuru FUJIMURA (Abashiri Concrete Products  
Cooperative Society)

**Key words:** freeze-thaw resistance, compressive strength, steam-cured concrete,  
concrete products, air content

## 1. はじめに

蒸気養生を行ったコンクリート製品には耐凍害性に優れたものが多いが、比較的容易に凍害を起こすものもみられる。この凍害発生の原因については十分に説明されていないがコンクリート製品特有の原因、すなわち①昇温速度などの蒸気養生条件によるもの、②製品製造過程での品質変動等が考えられる。特に品質変動に関しては、配合で定められた適正な空気量が、過度の振動締固めなどのためにコンクリート製品となったときには保たれていないことが想像される。

本研究では、過度の締固めのために空気量が少なくなったコンクリートを想定し、そのモデルとして空気量の少ないコンクリートを単位A E 剤量の調節により作成し、その圧縮強度発現性状、耐凍害性を検討した。蒸気養生条件は一定とし、フレッシュコンクリートの空気量を1.5~4.5±0.5%とした。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料及び配合

表1に使用材料を、表2に配合を示す。

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	比重 3.16, 比表面積 (ブレーン) 3330 cm <sup>2</sup> /g
細骨材	川砂	比重 2.62, 吸水率 2.49%, 粗粒率 2.67
粗骨材	川砂利	最大寸法 25mm, 比重 2.66, 吸水率 1.54%, 粗粒率 6.87

### 2.2 供試体

圧縮強度試験にはφ10cm×20cmの円柱供試体を、急速凍結融解試験及び気泡組織試験には10

cm×10cm×40cmの角柱供試体をそれぞれ用いた。

表2 配合

配合名	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量			
					水 W (kg)	セメント C (kg)	細骨材 S (kg)	粗骨材 G (kg)
SA1	8.0±2.5	1.5±0.5	45.0	36.0	149	330	705	1272
SA2		2.5±0.5		40.0			757	1152
SA3		3.5±0.5		43.0			802	1080
SA4		4.5±0.5					791	1064

表3 蒸気養生条件

前養生期間		温度上昇期間		等温養生期間	
温度 (°C)	時間 (hr)	昇温速度 (°C/hr)	温度 (°C)	時間 (hr)	温度 (°C)
20	2	20	85	4	

### 2.3 締固め

締固めは棒バイブレータを使用した。

### 2.4 養生

#### (1) 蒸気養生

供試体打込み後、型枠のまま養生槽に入れて蒸気養生を行った。蒸気養生条件を表3に示す。なお、前養生も蒸気養生槽の中で行った。等温養生期間終了後は蒸気を送るのを停止して温度降下を行った。

#### (2) 蒸気養生終了後の養生

蒸気養生終了後に脱型した供試体は、凍結融解試験開始材齢、あるいは圧縮強度試験材齢まで、室温25±3°Cの部屋で湿布をかけて養生を行った。

### 2.5 測定項目

(1)フレッシュコンクリートのスランプ、空気量、温度はコンクリートの製造直後に測定した。

#### (2)耐凍害性

土木学会規準「コンクリートの凍結融解試験方法」に準じて、材齢14日から水中急速凍結融解試験を行い、相対動弾性係数、質量減少率及び長さ増加比を求めた。耐久性指数は、ASTM C 666に準じて求めた。

#### (3)圧縮強度

材齢0日、1日、14日、28日に試験を行った。なお、材齢0日とは、本研究では蒸気養生の等温養生期間終了時を指す。

#### (4)硬化コンクリートの気泡組織試験

ASTM C 457の修正ポイントカウント法に準じて画像解析システムを用い、空気量、気泡間隔係数を測定した。

## 3. 実験結果及び考察

表4にフレッシュコンクリートの性状、耐久性指数、圧縮強度及び気泡組織の実験結果を示す。

### 3.1 耐凍害性

図1に相対動弾性係数、図2に質量減少率、図3に長さ増加比の結果を示す。SA1（硬化コンクリートの空気量0.8%）、SA2（同1.5%）、SA3（同2.8%）配合の供試体は急速凍結融解繰返し回数が300サイクルになる以前に破壊した。

図4に耐久性指数と硬化コンクリートの空気量の関係を示す。図4の結果から、硬化コンク

リートの空気量が多くなるにしたがって耐凍害性は向上している。

図5に気泡間隔係数の結果を示す。図5によると空気量が多くなるにつれて気泡間隔係数が小さくなっている。

以上のことから、硬化コンクリートに空気量が適正に含まれていれば、気泡間隔係数が小さくなり蒸気養生コンクリートであっても耐凍害性が確保されることが確認された。

表4 実験結果

配合名	フレッシュコンクリートの性状			耐久性 指数	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )				気泡組織	
	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)		材齢				空気量 (%)	気泡間 隔係数 (μm)
					0日	1日	14日	28日		
SA1	6.5	1.6	20.0	2	168	206	246	271	0.8	344
SA2	6.0	2.5	22.0	4	167	200	234	275	1.5	279
SA3	6.0	3.9	23.0	7	188	213	273	304	2.8	191
SA4	6.5	4.5	23.0	93	158	202	264	304	3.6	187

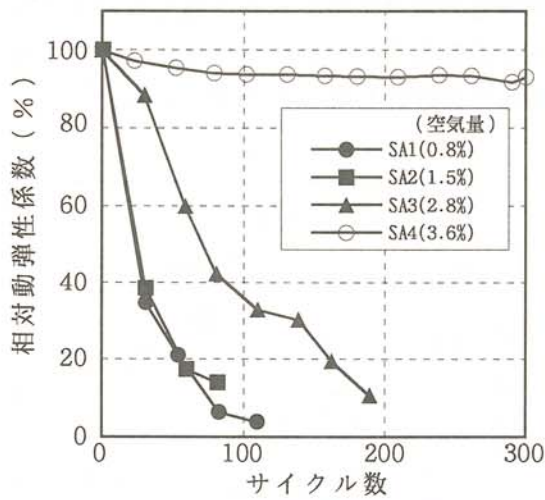


図1 相対動弾性係数

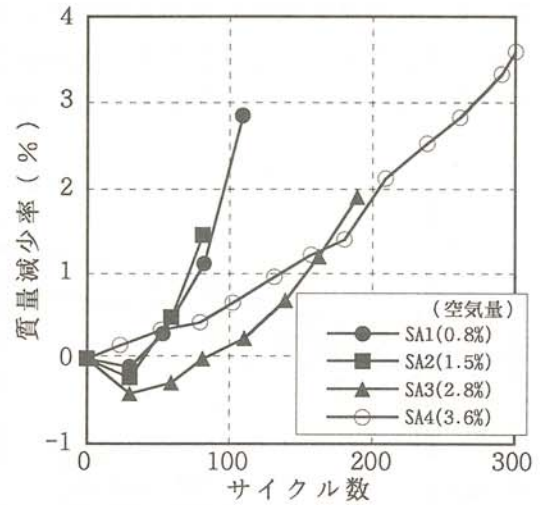


図2 質量減少率

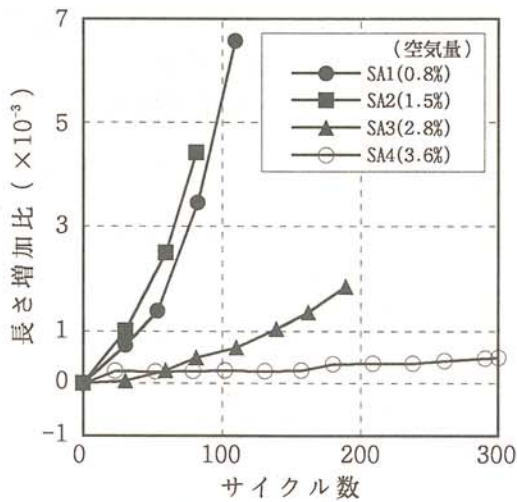


図3 長さ増加比

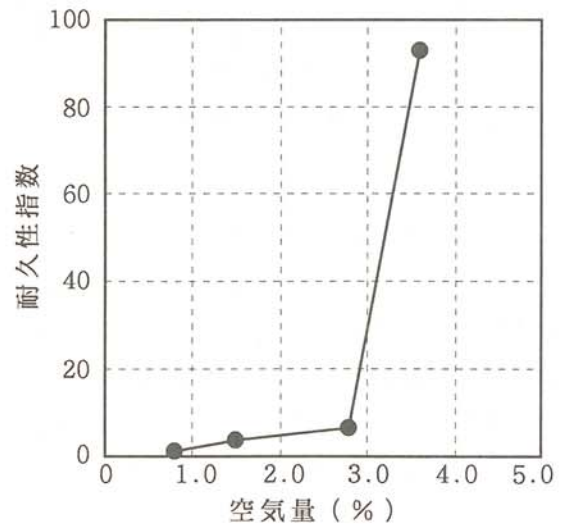


図4 耐久性指数と硬化コンクリートの空気量

### 3.2 圧縮強度発現性状

図6に圧縮強度の結果を示す。この図から明らかなように空気量が増加してもあまり強度に差は生じなかった。これはスランプを同じにするために、空気量の多いコンクリートの細骨材率を大きい配合としたことなどが影響していると思われる。

### 3.3 締固めの影響

図7にフレッシュコンクリートと硬化コンクリートの空気量を示す。硬化コンクリートの空気量は、フレッシュコンクリートよりも約1.0ポイント減少しており、いずれの配合の場合でも減少量はほぼ同じである。本研究では締固めに棒バイブレータを使用したが生産現場の場合に用いられる強力なバイブレータでは、フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの空気量の差がさらに大きくなることが予想され、それがコンクリートの性状に与える影響を今後検討していく予定である。

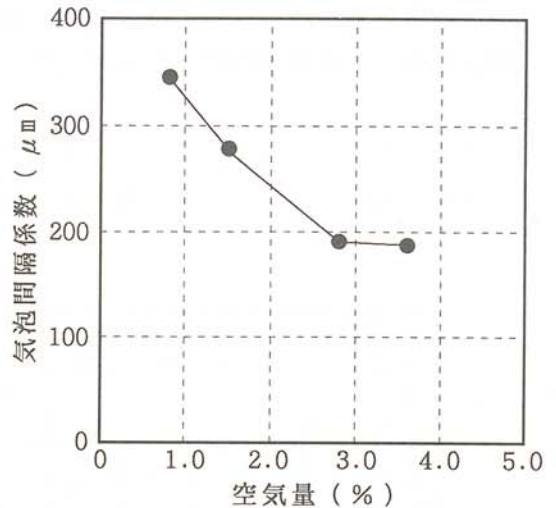


図5 気泡間隔係数

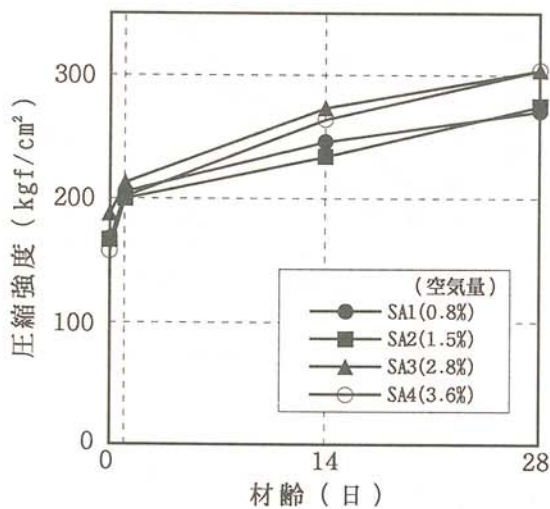


図6 圧縮強度

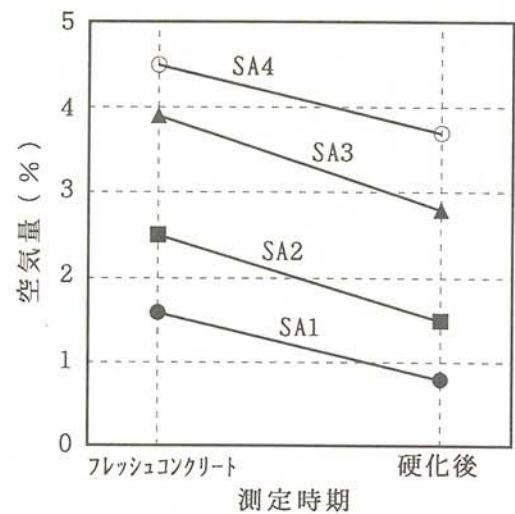


図7 空気量変化

## 4. おわりに

A E 剤の使用量によりフレッシュコンクリートの空気量 (1.5~4.5±0.5%) を変化させたコンクリートを用いて実験を行った結果、コンシステンシーが同じ場合には空気量の相違は圧縮強度に大きな影響を及ぼさないこと、硬化コンクリートの空気量が適正であれば蒸気養生を行っても耐凍害性は確保できることが確認された。

今後コンクリート製品に適正な空気量を連行するために必要なフレッシュコンクリートの空気量並びに適正な空気量を保つために必要な締固め方法などについて検討していく予定である。

本研究の実施にあたりご協力いただいた山上高圧コンクリート(株)はじめ網走管内コンクリート製品協同組合の組合員各位、並びに北見工業大学 猪狩平三郎氏に感謝申し上げます。

# コンクリートの合理化施行に 関する研究 (第2報)

A Study on Rationalization of Concrete Construction

鮎田 耕一 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
桜井 宏 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
佐々木 元 (五十嵐建設株式会社)

Koich AYUTA (Kitami Institute of Technology)  
Hiroshi SAKURAI (Kitami Institute of Technology)  
Hajime SASAKI (Igarashi Corporation)

Key words: super flowing concrete, steem-curing, freeze-thaw resistance, air void compressive strength

## 1. はじめに

近年、施工の合理化などを目的とし高流動コンクリートが注目されている。高流動コンクリートは高い流動性のため、コンクリート打込み時に振動締固の必要性がほとんどなく、また、充填性に優れ材料分離も起こしにくい。

これらの特徴を生かして、高流動コンクリートをコンクリート製品に適応できれば、打込み及び振動締固め作業の能率を上げることができ、さらに複雑な形の製品の製造も容易になる。

コンクリート製品の製造には蒸気養生が広く用いられているが、蒸気養生を行った高流動コンクリートの性状については、現在のところほとんど明らかにされていない。そこで、本研究では蒸気養生が高流動コンクリートの圧縮強度、耐凍害性などに与える影響について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 目標練上がり性状

表1に目標練上がり性状を示す。目標練上がり性状はスランプコーンを引き上げてから15分後の値を対象として設定した。

表1 目標練上がり性状

スランプフロー	空気量
60 cm ± 5 cm	4.5 ± 0.5 %

### 2.2 使用材料及び配合

表2に使用材料、表3に配合を示す。

表2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (比重:3.16 比表面積:3320cm <sup>2</sup> )
細骨材	川砂 (表乾比重:2.62 吸水率:2.27% 粗粒率:2.67)
粗骨材	川砂利 (表乾比重:2.66 吸水率:1.54% 粗粒率:6.87 最大寸法:25mm)
増粘剤	水溶性セルロースエーテル
高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物
A E 剤	天然樹脂酸塩

表3 配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				増粘剤 (kg/m <sup>3</sup> )	高性能 減水剤 (C×%)	A E 剤 (C×%)
		W	C	S	G			
50	45	175	350	789	979	0.300	2.5	0.03

### 2.3 養生

- 1) 蒸気養生：供試体(φ10×20cm、10×10×40cm)打込み後、型枠のまま蒸気養生槽に入れ常圧で養生を行った。蒸気養生条件を図1、表4に示す。なお、前養生も蒸気養生槽内で行った。
- 2) 蒸気養生終了後の養生：打込み後、約24時間で脱型した供試体は、急速凍結融解試験開始材齢、または、圧縮強度試験材齢まで室温約20℃の部屋で湿布を被せ養生を行った。
- 3) 標準養生：比較のために蒸気養生を行わず、型枠のまま恒温恒湿室(室温20±2℃、湿度90±5%)に1日静置した後、所定の試験材齢まで水中養生(温度：20±2℃)を行った標準養生の供試体(供試体名 SC-0)を作製した。

表4 蒸気養生条件

条 件	前養生		温度上昇 昇温速度 (°C/h)	等 温		蒸気通気 時間 (h-min)
	温度 (°C)	時間 (h)		最高温度 (°C)	保持時間 (h)	
SC-0	-	-	-	-	-	-
SC-1	20	2	20	4.5	4	7-15
SC-2				6.5		8-15
SC-3				8.5		9-15
SC-4				2	6-15	
SC-5					6	10-15
SC-6					1	7-15
SC-7	4	10-15				
SC-8		4		6-15		
SC-9				2	7-15	
SC-10	4			9-15		
SC-11	2			2	5-15	
SC-12				6	9-15	
SC-13			8.5	4	8-15	

### 2.4 試験項目

#### 1) 圧縮強度

JIS A 1108に準拠し、円柱供試体(3個×5材齢=15個)を用い材齢1、3、7、14、28日に試験した。

#### 2) 硬化コンクリートの気泡組織

角柱供試体1個から10×10×3cmの試料2個を切断し、ASTM C 457の修正ポイントカウント法に準拠し画像解析システムを用いて空気量、比表面積、気泡間隔係数を求めた。

#### 3) 耐凍害性

角柱供試体を1条件に3個用い材齢14日まで養生した後、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った。試験結果からASTM C 666に準拠して凍結融解300サイクルあるいは相対動弾性係数60%を基準とした耐久性指数を求めた。

#### 4) ひび割れ面積

硬化コンクリートの気泡組織の測定に用いた10×10×3cmの試料を用い材齢28日以降に測微鏡により試験面に発生したひび割れの長さ及び幅を計測し、その積をひび割れ面積とした。

### 3. 実験結果及び考察

表5に圧縮強度、耐久性指数、ひび割れ面積、及び硬化コンクリートの空気量、比表面積、気泡間隔係数を示す。

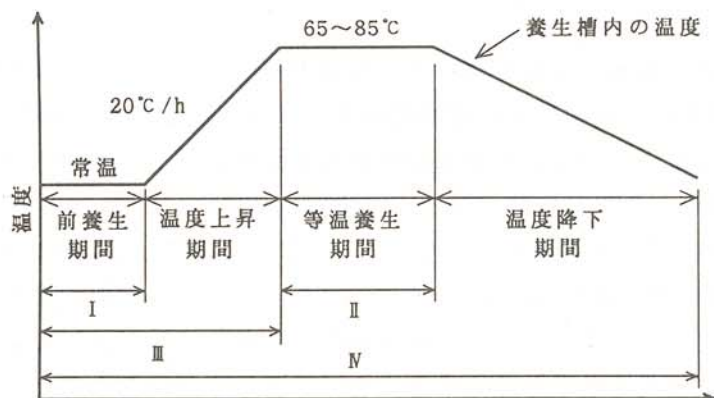
表6に図1に示す期間をもとに求めた積算温度（基準温度 0℃）を示す。

表5 実験結果

条件	圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )					耐久性 指数	ひび割れ 面積 (mm <sup>2</sup> )	硬化コンクリート の空気量 (%)	比表面積 (cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )	気泡間隔 係数 (μm)
	材齢(日)									
	1日	2日	7日	14日	28日					
SC-0	72	129	222	271	305	92	0.0	3.2	321	199
SC-1	121	172	225	265	290	96	0.0	4.2	299	190
SC-2	117	130	145	164	167	98	14.0	3.8	307	195
SC-3	124	141	145	153	176	91	5.5	3.8	308	194
SC-4	122	137	196	196	208	94	2.6	3.0	309	209
SC-5	139	143	163	162	175	40	4.8	3.5	256	238
SC-6	128	144	173	192	179	39	12.1	2.9	258	261
SC-7	187	212	258	277	308	99	0.0	2.9	312	215
SC-8	132	130	145	150	162	96	3.0	3.8	295	200
SC-9	178	209	227	265	275	90	0.0	4.0	258	224
SC-10	189	211	227	262	277	92	0.0	3.0	309	214
SC-11	190	215	238	257	290	90	0.0	3.8	256	223
SC-12	204	232	234	255	274	98	0.0	4.5	309	176
SC-13	182	208	220	231	254	84	0.1	3.0	321	203

表6 積算温度

条件	積算温度(℃・時)			
	期間			
	I	II	III	IV
SC-1	40	180	261	721
SC-2	40	260	396	986
SC-3	40	340	551	1251
SC-4	40	130	266	931
SC-5	40	390	526	1041
SC-6	20	260	376	1004
SC-7	80	260	436	951
SC-8	40	260	366	1386
SC-9	80	260	406	1369
SC-10	160	260	486	1334
SC-11	80	130	276	1354
SC-12	80	390	536	1384
SC-13	80	340	561	1624



養生期間(24時間)

図1 養生期間

#### 3.1 ひび割れの発生と圧縮強度

表5のひび割れ面積に示すように、蒸気養生を行った半数のコンクリートにひび割れの発生が見られた。ひび割れは打込み面すぐ下に面に平行に発生していた。ひび割れの幅は0.1~0.3mm程度であった。

図2、図3にひび割れが材齢1日及び材齢28日の圧縮強度に及ぼす影響を示す。ひび割れの発生した場合の材齢1日の圧縮強度は約135kgf/cm<sup>2</sup>、材齢28日の圧縮強度は約190kgf/cm<sup>2</sup>であるのに対し、ひび割れの発生していない場合は、材齢1日の圧縮強度は約180kgf/cm<sup>2</sup>、材齢28日の圧縮強度は約285kgf/cm<sup>2</sup>となっており、ひび割れの発生の有無が圧縮強度の発現に大きな影響を及ぼしている。ただし、ひび割れの発生量の影響は少ない。

また、蒸気養生を行ったひび割れの発生していないコンクリートの圧縮強度を標準養生を行

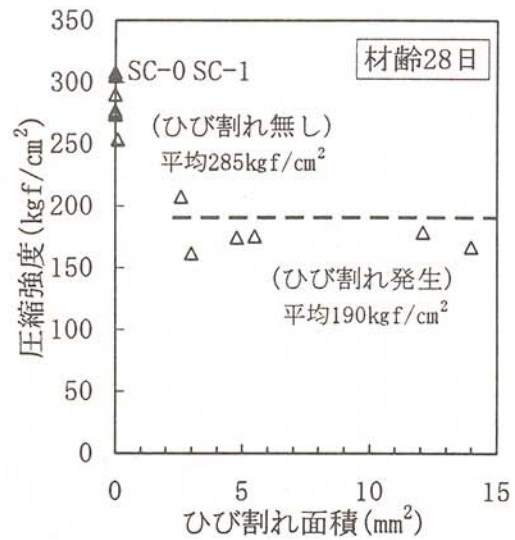
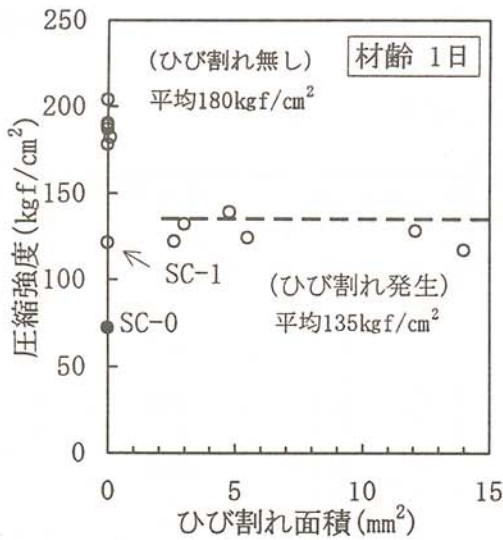


図2 ひび割れ面積と材齢1日の圧縮強度 図3 ひび割れ面積と材齢28日の圧縮強度

った場合と比較すると材齢1日では約2.5倍となり、型枠の早期脱型に必要な初期強度を高流動コンクリートを用いた蒸気養生でも得られることが明らかになった。材齢28日の圧縮強度は標準養生を行った場合の9割程度であった。

### 3.2 積算温度とひび割れ発生

図4、図5に前養生期間の積算温度と材齢1日及び28日の圧縮強度の関係を示す。前養生期間の積算温度が $80^{\circ}\text{C}\cdot\text{時}$ 以上だとひび割れが発生せず圧縮強度が大きいのに対し、 $40^{\circ}\text{C}\cdot\text{時}$ 以下だとひび割れが発生し圧縮強度が低くなっている。前養生期間の積算温度が $40^{\circ}\text{C}\cdot\text{時}$ であるSC-1は、ひび割れが発生していないものの、やはり材齢1日の圧縮強度は小さい。また、前養生温度 $40^{\circ}\text{C}$ 、最高温度 $85^{\circ}\text{C}$ であるSC-13はひび割れが僅かしか発生していないので、ひび割れが発生していない場合と比べ材齢1日の圧縮強度はほぼ同じ値を示している。しかし、材齢28日の圧縮強度の発現は、ひび割れが発生していないものに比べて若干停滞しており、ひび割れの発生と圧縮強度発現の停滞を考えると最高温度を $85^{\circ}\text{C}$ に設定することは好ましくないといえよう。

以上のことから、高流動コンクリートの蒸気養生条件として前養生期間の積算温度が $80^{\circ}\text{C}\cdot\text{時}$ になるように設定することが好ましいといえる。また、前養生期間の積算温度を $160^{\circ}\text{C}\cdot\text{時}$ としても $80^{\circ}\text{C}\cdot\text{時}$ の場合とほぼ同じ圧縮強度であるので、 $160^{\circ}\text{C}\cdot\text{時}$ までは必要ないといえよう。 $80^{\circ}\text{C}\cdot\text{時}$ の条件を満たす前養生条件は、今回の実験では $20^{\circ}\text{C}\cdot 4$ 時間、及び $40^{\circ}\text{C}\cdot 2$ 時間である。

図6に等温養生期間の積算温度とひび割れの発生の関係、図7に等温養生期間の積算温度と圧縮強度の関係を示す。これらの図から等温養生期間の積算温度とひび割れの発生ならびに圧縮強度との関係に相関が見られなかった。ただし、前述のSC-1及びSC-13の結果から、ひび割れ発生抑制のためには等温養生期間の最高温度は低いほうがよく、特に $85^{\circ}\text{C}$ にしないほうが望ましいといえよう。

以上のことから、高流動コンクリートは前養生が不十分なまま蒸気養生を行うと、ひび割れが発生し圧縮強度が小さくなることが明らかになった。これは高流動コンクリートの凝結が遅く蒸気養生中に膨張するためであろう。



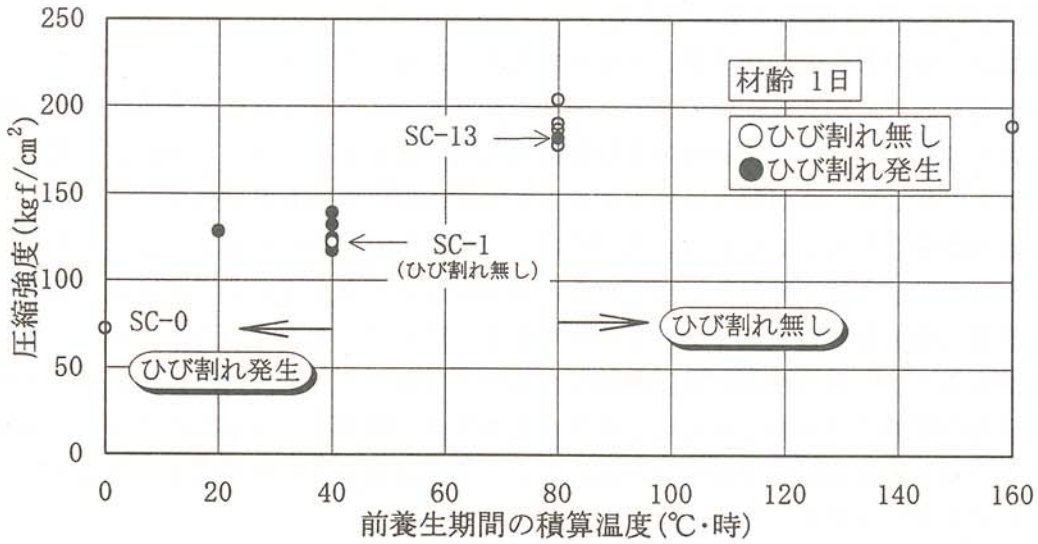


図4 前養生期間の積算温度と材齢1日の圧縮強度

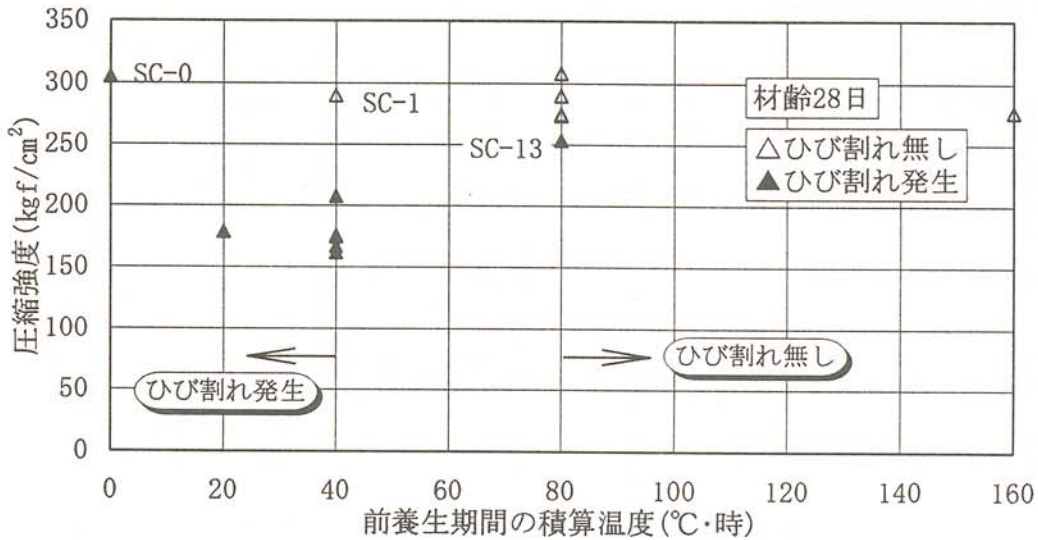


図5 前養生期間の積算温度と材齢28日の圧縮強度

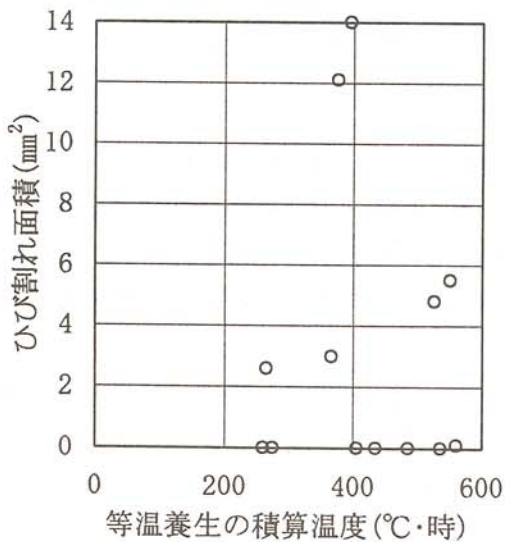


図6 等温養生期間の積算温度とひび割れ面積

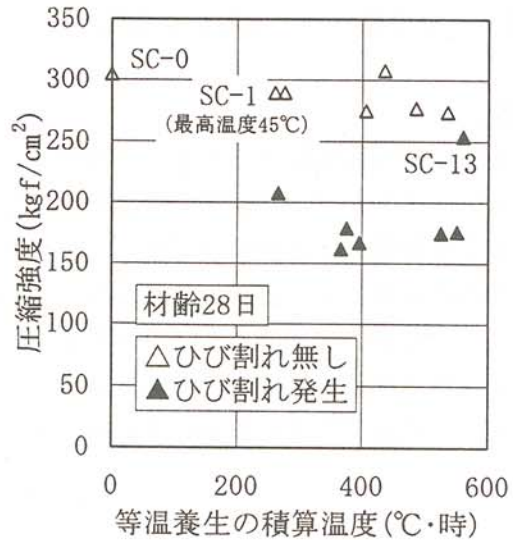


図7 等温養生期間の積算温度と圧縮強度

### 3.3 蒸気養生が耐凍害性に及ぼす影響

耐久性指数は一部の条件の場合を除いて極めて高く、90以上であった。

図8にひび割れ面積と耐久性指数の関係、図9に前養生期間の積算温度と耐久性指数の関係を示す。これらの図から、ひび割れ面積及び前養生期間の積算温度と耐久性指数との間には相関は見られない。従って、蒸気養生条件と耐凍害性は関係ないものと思われる。

高い耐凍害性が得られなかったSC-5、SC-6には、いずれもひび割れの発生が見られるが、ひび割れが発生していても耐久性指数が大きいものが多いことを考えると、この両者の耐凍害性が低かった原因は別の条件の影響であると考えられる。例えば、この2つのコンクリートの気泡間隔係数は大きく、これが耐凍害性に影響したものと思われる。気泡間隔係数が大きくなった原因は本研究の範囲では不明であるが、蒸気養生条件との関連をつけるとSC-5は他の条件が同じSC-2と比べると最高温度の保持時間が長いこと、SC-6は前養生の積算温度(20℃・時)が小さいこと、などが挙げられる。

いずれにしても、圧縮強度を確保できる(ひび割れを発生させない)蒸気養生条件を設定すれば耐凍害性に問題は生じない。

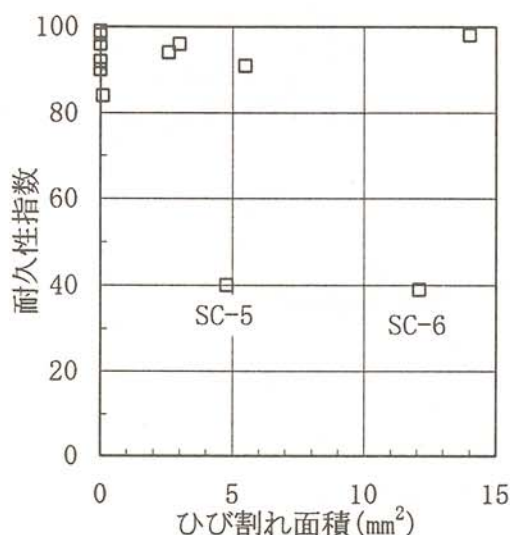


図8 ひび割れ面積と耐久性指数

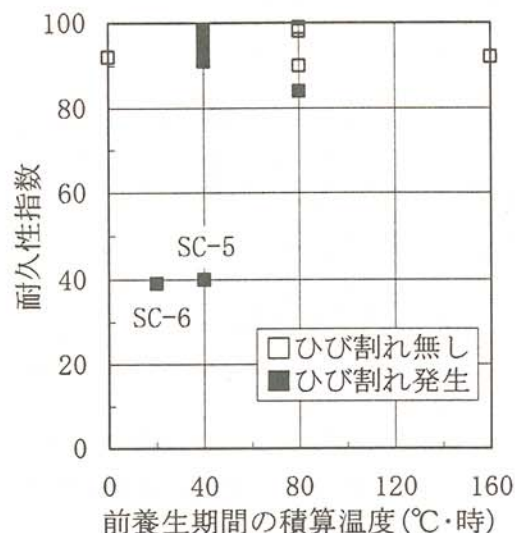


図9 積算温度と耐久性指数

## 4. 結論

蒸気養生を行った高流動コンクリートの性質として以下のことが明らかになった。

- 1) 十分な前養生を行わずに蒸気養生を行った場合、コンクリート内部にひび割れが発生しこれが圧縮強度に悪影響を及ぼす。これを防ぐためには前養生期間の積算温度が80℃・時以上(今回の実験では、前養生条件20℃・4時間あるいは40℃・2時間)で等温期間の最高温度が85℃より低い温度であることが望ましい。
- 2) 耐凍害性と蒸気養生条件に相関性は見られない。ひび割れが発生しない、すなわち圧縮強度を十分に確保できる前養生を行えば耐凍害性は確保できる。

# 積雪寒冷地における 通年施行に関する研究 (第2報)

A Study on Winter Construction in Cold Regions

鮎田 耕一 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

桜井 宏 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

水元 尚也 (水元建設株式会社)

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)

Hiroshi SAKURAI (Kitami Institute of Technology)

Takaya MIZUMOTO (Mizumoto Corporation)

**Key words:** nonfreezing agent, cold weather concreting, compressive strength, integrated temperature, datum temperature.

## 1. はじめに

積雪寒冷地における通年施工での問題点の一つは寒中コンクリートの施工である。寒中コンクリートでは、所定の強度・耐久性が得られるまで十分に養生することが最も重要になる。そのため、一般に、給熱養生が行われているが、それに要する設備や温度管理などのために寒中コンクリートは敬遠されがちである。

一方、近年給熱養生を行わずに耐寒剤を使用して寒中コンクリートの施工を行う事例が報告されている<sup>1)</sup>。この施工方法が確立されれば、寒中コンクリートの省力化、合理化を図ることができると思われる。

本研究では、耐寒剤を使用した寒中コンクリートの施工方法の確立に資するために、耐寒剤の使用量や養生温度の異なるコンクリートの低温域での圧縮強度発現特性について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験概要

耐寒剤の使用量と養生温度を変えて材齢28日までの圧縮強度発現性状を調べた。また、比較のために耐寒剤を使用していないコンクリート(プレーンコンクリート)も用いた。表1に耐寒剤の使用量と養生温度を示す。

### 2.2 使用材料

- (1) セメント：普通ポルトランドセメント(比重3.16、比表面積2500cm<sup>2</sup>/g)
- (2) 骨材：粗骨材は川砂利(比重2.56、吸水率2.10%、最大寸法40mm)、細骨材は川砂(比重2.56、吸水率2.10%)と陸砂(比重2.60、吸水率1.80%)を容積比率 1 : 1 で混合。
- (3) 混和剤：耐寒剤(主成分：ポリグリコールエステル誘導体及び含窒素化合物)、及びA E減水剤(主成分：リグニンスルホン酸化合物及びポリオール複合体)。

### 2.3 配合及び練上がり性状

コンクリートの配合を表2に示す。スランプの目標値は $8 \pm 2.5$ cm、空気量の目標値は耐寒剤使用コンクリートでは $5.5 \pm 1\%$ 、プレーンコンクリートでは $4.5 \pm 1\%$ とした。

表1 耐寒剤使用量及び養生温度

コンクリート種類	記号	耐寒剤使用量 ( $l/C=100kg$ )	養生温度 ( $^{\circ}C$ )
耐寒剤使用 コンクリート	N F 5	5	16, 10, 0, -9, -15
	N F 4	4	16, 10, 0, -9, -15
	N F 3	3	16, 10, 0, -9, -15
プレーンコンクリート	P L	-	16, 10

表2 配合表

コンクリート 種 類	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 ( $l / m^3$ )	
			W	C	S	G	耐寒剤	A E 減水剤
N F 5	42.5	37.6	122	287	711	1179	14.35	-
N F 4			125	294	707	1170	11.76	-
N F 3			128	301	701	1162	8.61	-
P L			122	287	721	1195	-	0.7175

### 2.4 供試体及び養生方法

供試体 ( $\phi 12.5 \times 25$ cm) は、打込み後、型枠をつけたまま約 $15^{\circ}C$ の室内に湿布をかけて24時間静置し、材齢1日で脱型した。脱型後、ラップフィルムとビニール袋により封かん状態にし、表1に示す所定の温度条件下に静置した。なお、このほか $20^{\circ}C$ 水中標準養生も行った。また、供試体中心部に熱電対を埋設し、コンクリート温度を測定し積算温度の算出に用いた。

### 2.5 圧縮強度試験

圧縮強度試験は材齢3日~28日で行った。封かん供試体は封かんを解除しキャッピングを行い、その後、養生温度 $16, 10^{\circ}C$ の供試体は水温約 $20^{\circ}C$ 、養生温度 $0, -9, -15^{\circ}C$ の供試体は水温約 $5^{\circ}C$ の水にそれぞれ2時間以上浸けてから試験を行った。標準養生供試体は養生終了後に試験を行った。

## 3. 積算温度と基準温度の推定

### 3.1 積算温度

コンクリートの圧縮強度 ( $f'c$ ) は、温度と材齢の両者を同時に加味した積算温度 ( $M$ ) の関数式で表すことができる<sup>2)</sup>。積算温度は、一般に(1)式の形で表される。

$$M = \sum (T - T_0) \Delta t \quad \dots \dots \dots (1)$$

M : 積算温度 ( $^{\circ}C \cdot 日$ )  
 $T_0$  : 基準温度 ( $^{\circ}C$ )  
 T : コンクリート温度 ( $^{\circ}C$ )  
 $\Delta t$  : 時間 (日)

### 3.2 基準温度の推定方法

基準温度  $T_0$  は、水和が起こり得る最低のコンクリート温度で通常のコンクリートでは $-10^{\circ}C$

が用いられている。既往の研究<sup>3)</sup>から、耐寒剤を用いたコンクリートは-10℃の温度の下でも強度増進がみられたことから、基準温度は-10℃より低いと考えられる。そこで以下の方法で基準温度を推定した。

(1) 強度増進傾向からの基準温度の推定<sup>4)</sup>

コンクリートは養生温度によって強度増進傾向が異なるので、材齢が増加しても強度増進がみられなくなる温度を基準温度とみなすことができる。すなわち、縦軸に圧縮強度、横軸に材齢の対数値をとった場合の1次回帰式  $y = a x + b$  の回帰係数  $a$  (以下、「強度勾配係数」という) が0になる養生温度を求め、それを基準温度とする。

(2) 強度増進曲線の相関性からの基準温度の推定<sup>3)</sup>

人口増加法則などを表すときに用いられているロジスティック曲線を強度増進曲線として適用し、任意の範囲の基準温度のうち圧縮強度と相関性の最も高い値をそのコンクリートの基準温度と考える。ロジスティック曲線式を(2)式に示す。

$$f'c = \frac{F}{1 + \exp(\alpha - \beta \log M)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

F : 最終到達強度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 積算温度 (℃・日)

$\alpha$ 、 $\beta$  : 係数

解析では、3点法により最終到達強度 F を推定した後、 $X = \log M$ 、 $Y = \ln\{f'c / (F - f'c)\}$  と変数変換して最小二乗法から係数  $\alpha$ 、 $\beta$  を求めた。

4. 実験結果及び考察

4.1 圧縮強度

材齢28日までのNF5, NF4, NF3, PLの圧縮強度試験結果を図1、2、3、4にそれぞれ示す。耐寒剤を使用したコンクリートでは、-15~20℃の範囲で養生温度が高くなるにつれて、材齢28日までの強度は大きくなっており、養生温度-15℃での強度発現は停滞している。-9℃以上の低温域での材齢28日の圧縮強度は、いずれの耐寒剤使用量の場合も耐凍害性を得るのに十分と思われる20N/mm<sup>2</sup>以上であった。

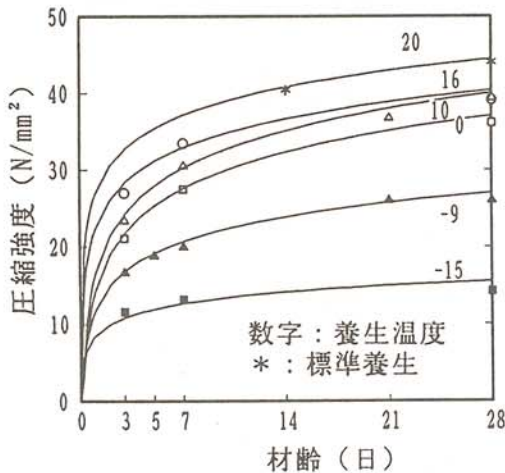


図1 圧縮強度と材齢 (NF5)

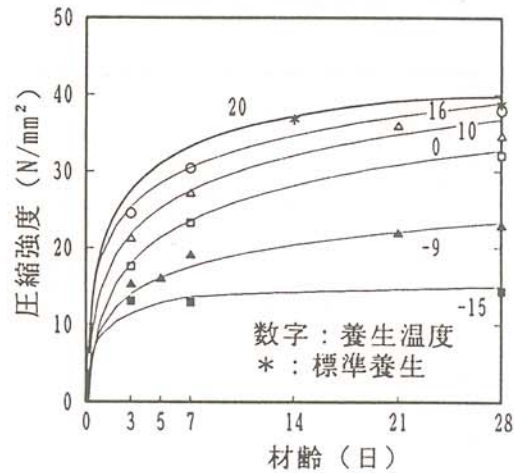


図2 圧縮強度と材齢 (NF4)

また、耐寒剤使用コンクリートの材齢28日における圧縮強度は、図5に示すように標準養生のプレーンコンクリートのそれに対して養生温度-15℃では25%~35%、養生温度-9℃では55~65%、養生温度0℃では70~85%程度であり、養生温度が低くなるにつれて強度発現が停滞しているとともに強度の幅がせまくなる傾向にある。

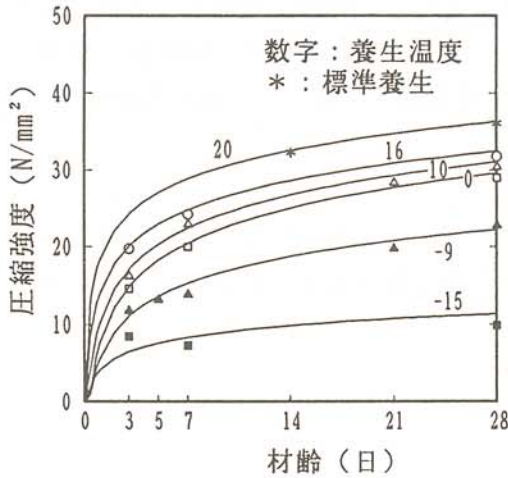


図3 圧縮強度と材齢 (NF3)

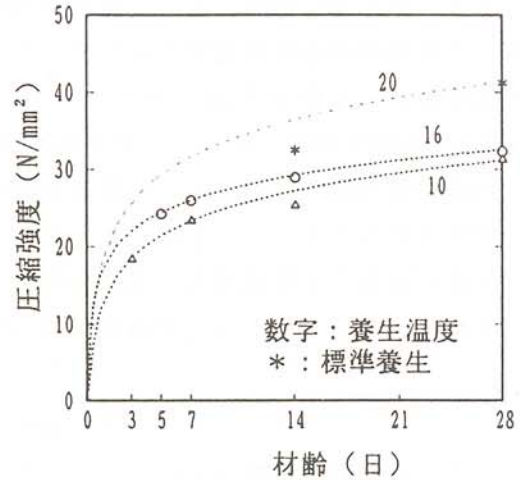


図4 圧縮強度と材齢 (PL)

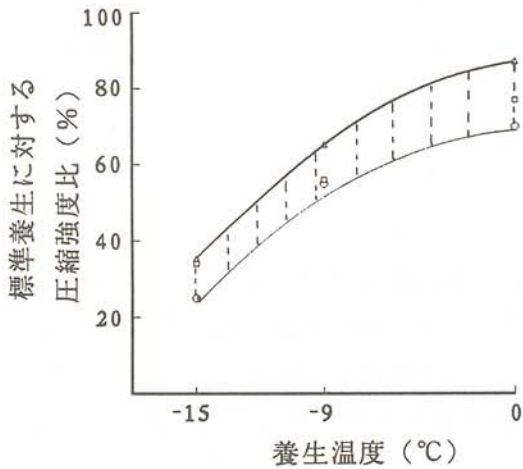


図5 養生温度と圧縮強度比

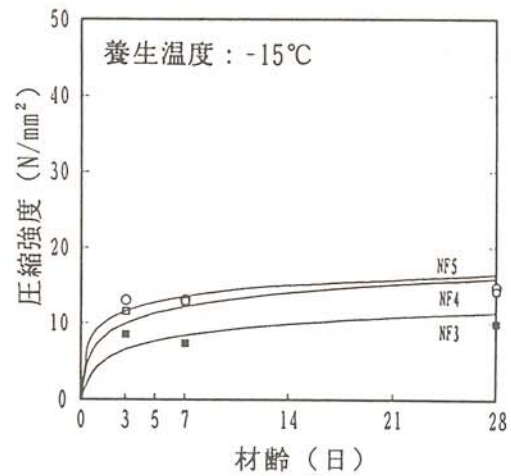


図6 圧縮強度と材齢

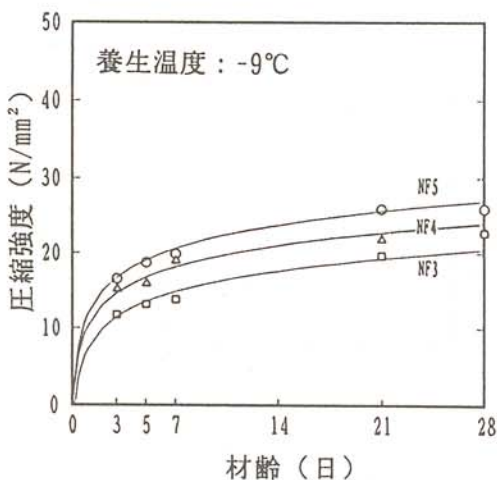


図7 圧縮強度と材齢

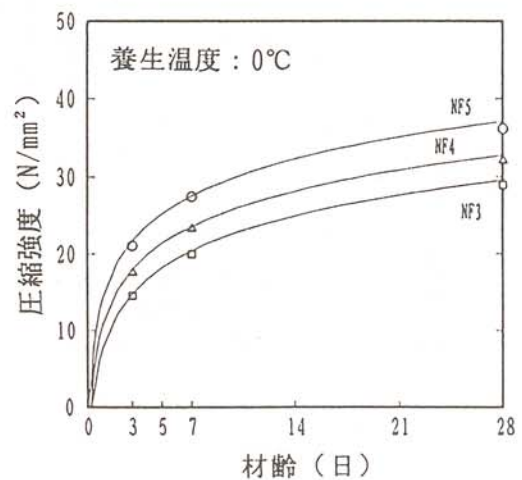


図8 圧縮強度と材齢

養生温度 $-15^{\circ}\text{C}$ 、 $-9^{\circ}\text{C}$ 、 $0^{\circ}\text{C}$ におけるNF 5、NF 4、NF 3の強度発現性状の比較を図6、7、8に示す。図6～8からいずれの養生温度の場合も耐寒剤の使用量が増えると強度が大きくなる傾向がみられるものの、温度が低くなるにつれて強度差が小さくなっており、耐寒剤の使用量を増加させてもある一定の温度以下では水和が停滞することが予想される。

#### 4.2 基準温度の推定

##### (1) 強度増進傾向からの推定

表3に各養生温度における耐寒剤使用量別の強度勾配係数を、図9、10、11に養生温度と強度勾配係数の関係を示した。強度勾配係数は養生温度に対して2次曲線でほぼ近似される。この2次曲線から求まる強度勾配係数が0になる温度、すなわち基準温度は $-16^{\circ}\text{C}$ ～ $-17^{\circ}\text{C}$ である。この温度は水和が停止する温度とみなされる。

表3 強度勾配係数

コンクリート種類	耐寒剤使用量 ( $t/C=100\text{kg}$ )	強度勾配係数の値				
		$-15^{\circ}\text{C}$	$-9^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}$	$10^{\circ}\text{C}$	$16^{\circ}\text{C}$
NF 5	5	26.90	99.36	157.69	166.22	124.58
NF 4	4	14.37	78.88	152.11	138.83	139.00
NF 3	3	17.25	118.96	151.66	147.20	128.00

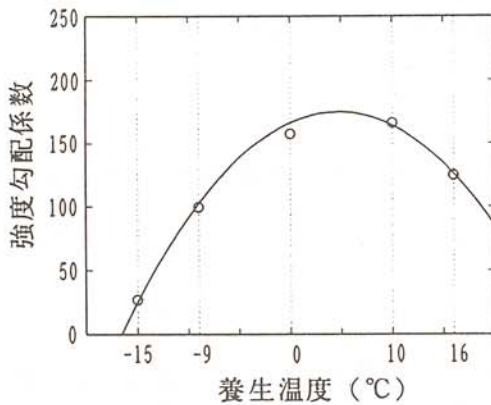


図9 養生温度と強度勾配係数 (NF 5)

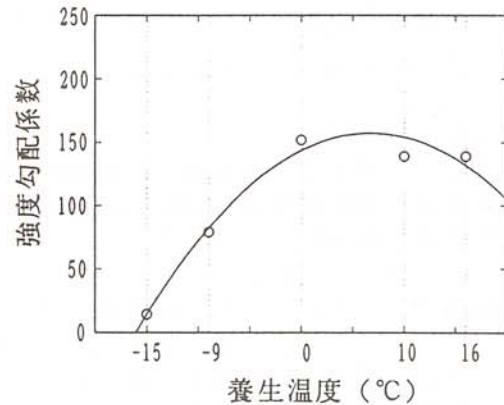


図10 養生温度と強度勾配係数 (NF 4)

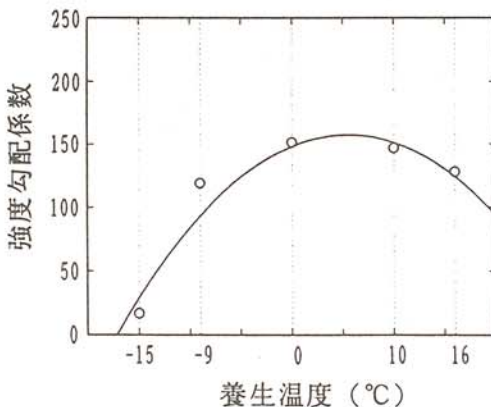


図11 養生温度と強度勾配係数 (NF 3)

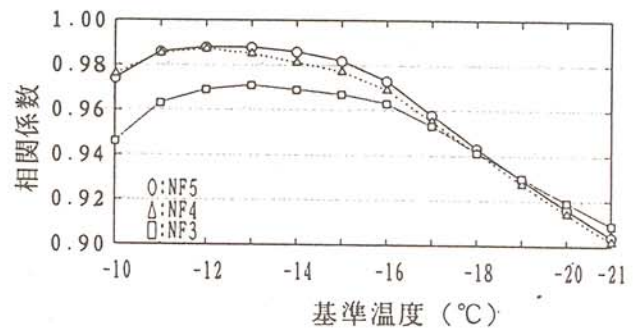


図12 近似曲線の基準温度と相関係数

## (2) 曲線の相関性からの推定

図12にロジスティック曲線を適用した場合の基準温度と強度との相関係数の関係を示す。基準温度が $-12^{\circ}\text{C}$ ～ $-13^{\circ}\text{C}$ で圧縮強度と積算温度は最も高い相関を示している。

以上の結果から、本研究のような配合で耐寒剤を使用したコンクリートの強度を積算温度から求める場合の基準温度は、(1)の方法では $-16^{\circ}\text{C}$ ～ $-17^{\circ}\text{C}$ 、(2)の方法では $-12^{\circ}\text{C}$ ～ $-13^{\circ}\text{C}$ 程度であり、いずれの方法から求めた値もプレーンコンクリートに一般に用いられている $-10^{\circ}\text{C}$ よりも低い温度を示している。(1)と(2)では $4^{\circ}\text{C}$ の差があるが、この理由は次のように考えられる。すなわち、(1)で得られた $-16$ ～ $-17^{\circ}\text{C}$ の基準温度は、それ以下の温度では強度発現がほとんどないことを示している。一方、(2)では基準温度 $-12$ ～ $-13^{\circ}\text{C}$ で相関が高かったのは、( $-12$ ～ $-13^{\circ}\text{C}$ )と( $-16$ ～ $-17^{\circ}\text{C}$ )の間では強度増進があるもののその程度は非常に低いためといえよう。

## 5. まとめ

耐寒剤(主成分:ポリグリコールエステル誘導体及び含窒素化合物)を単位セメント量100kg当たり5ℓ、4ℓ、3ℓ使用したコンクリート(水セメント比42.5%,細骨材率37.6%,単位セメント量:287, 294, 301kg/m<sup>3</sup>)を用いて行った本研究結果から以下のことが明らかになった。

- (1)  $-9^{\circ}\text{C}$ 以上の温度条件下の材齢28日の圧縮強度は、耐凍害性を得るのに十分と思われる20 N/mm<sup>2</sup>以上であった。
- (2) 圧縮強度の発現は $-16$ ～ $-17^{\circ}\text{C}$ で停止するが、積算温度に用いる基準温度を $-12$ ～ $-13^{\circ}\text{C}$ とすると圧縮強度との相関が最も高くなった。

## 参考文献

- 1) 渡辺宏、堺孝司、浜辺謙吉:耐寒剤のコンクリート実構造物への適用、土木学会年次学術講演会講演概要集第5部、pp. 214～215、(1990)
- 2) 林正道、鮎田耕一:コンクリート工学<耐久性・寒中コンクリート詳説>、pp. 145～146、山海堂(1993)
- 3) 鮎田耕一、桜井宏、小笠原育穂:耐寒剤を使用したコンクリートの強度発現性状、セメント・コンクリート論文集、No. 48、pp. 476～481、(1994)
- 4) 千歩修、韓千求、浜幸雄、鎌田栄治:耐寒剤を使用したコンクリートの積算温度関数式の検討、自然環境とコンクリート性能に関するシンポジウム論文集、pp. 57～60、(1993)



# 氷海域海洋コンクリート構造物の耐久設計と耐凍害性向上に関する研究 (第1報)

A Study on Durability Design and Frost Resistance  
of Marine Concrete in Cold Regions

鮎田 耕一 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
桜井 宏 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
木村 伸之 (島田建設株式会社工事部)

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)  
Hiroshi SAKURAI (Kitami Institute of Technology)  
Nobuyuki KIMURA (Simada Corporation)

**Key words:** scaling, freeze-thaw resistance, marine concrete, exposure test, cold sea.

## 1. はじめに

海岸・港湾コンクリート構造物は海水の化学的作用、波浪による物理的作用等のために劣化しやすい。特に積雪寒冷地では凍結融解作用が加わるために劣化が促進されやすい。北海道の海岸・港湾コンクリート構造物の劣化状況を見ると、コンクリート表層部のスケーリングが大部分である。スケーリングは、年数の経過とともにコンクリート内部に進行し、その結果コンクリート構造物の耐久性を低下させる。さらに、スケーリングの発生により景観、美観が損なわれるという面からも、スケーリング防止対策は重要な課題である。

筆者らは、積雪寒冷地における海岸・港湾コンクリート構造物のスケーリング防止を目的として、種々の実験を行ってきた。その結果、常用のコンクリートよりも空気量を多めにしたコンクリートがスケーリングの抑制に適していることを明らかにした。しかしながら、これらの実験は主に促進試験によるものであり、実気象・海象条件下での耐凍害性の評価ははまだ十分に行われていない。

本研究では、6年間の暴露実験で得られた結果から空気量、セメント種類、混和材種類の異なるコンクリートの劣化傾向を明らかにして、スケーリング防止に対する効果を検討した。

## 2. 暴露実験の概要

### 2.1 暴露箇所

網走港における暴露箇所は常時潮風を受け、波しぶきをまれに受ける環境であり、土木学会コンクリート標準示方書の海洋コンクリートの環境区分の「海上大気中」に相当する。暴露供試体は消波工に広く使用されている2tfの消波ブロックを用いている。表1に網走の1989年からの年最高気温と年最低気温及び1日の最高気温と最低気温から海水の凍結融解温度を $-2^{\circ}\text{C}$ として求めた年間推定凍結融解回数を示す。

### 2.2 使用材料

表1 年最高気温、年最低気温、凍結融解回数

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	平均	合計
年最高気温	33.0	33.4	31.7	31.8	32.2	36.9	33.2	—
年最低気温	-15.5	-17.4	-13.2	-15.5	-13.6	-17.8	-15.5	—
凍結融解回数	83	74	68	76	82	80	77	463

セメント：普通ポルトランドセメント（記号：NN）比重3.16、比表面積3340cm<sup>2</sup>/g

高炉セメントB種（記号：BB）比重3.05、比表面積3880cm<sup>2</sup>/g

フライアッシュセメントB種（記号：FB）比重2.95、比表面積3320cm<sup>2</sup>/g

骨材：粗骨材は最大寸法25mm（比重2.57、吸水率2.22%）と40mm（比重2.57、吸水率2.13%）の川砂利を容積比率6:4で混合。細骨材は丘砂（比重2.60、吸水率1.73%）と川砂（比重2.56、吸水率2.08%）を容積比率6:4で混合

混和材：高炉スラグ微粉末（記号：FS）、シリカフューム（記号：SF）

混和剤：AE減水剤（ヴィンソル80、混和材を用いたものはマイティ2000）

AE剤（ヴィンソルW）

### 2.3 実験ケース

次に示すA、B、Cの3ケースに分けて検討を行った。配合、練上がり性状、材齢7日、28日の圧縮強度( $f'_{7}$ 、 $f'_{28}$ )を表2に示す。

- (1) ケースA：空気量の影響
- (2) ケースB：セメント種類の影響
- (3) ケースC：混和材種類の影響

表2 配合、練上がり性状、圧縮強度

実験 ケース			配 合			練上がり性状		圧縮強度	
	セメント 種類	空気 量(%)	W/C (%)	s/a (%)	セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	スラフ <sup>o</sup> (cm)	空気量 (%)	$f'_{7}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f'_{28}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
A	NN	Non	50.0	39.9	308	5.0	1.6	223	378
	NN	4.5	50.0	39.6	270	6.0	5.2	215	298
	NN	6.0	49.4	39.1	261	6.5	6.0	174	270
	NN	8.0	46.9	38.0	260	5.5	7.3	197	288
	NN	10.0	43.5	37.0	262	6.0	10.8	120	189
B	NN	4.5	50.0	39.6	270	6.0	5.2	215	298
	FB	4.5	50.0	39.7	262	5.5	4.0	180	269
	BB	4.5	50.0	41.5	266	6.0	4.3	145	296
C	NN	4.5	44.9	38.7	303	4.5	4.9	255	352
	NN+SF	4.5	44.9	41.5	218+38	3.5	4.8	223	367
	NN+FS	4.5	44.9	40.5	137+137	5.5	4.8	142	256

消波ブロックは麻袋・散水養生を7日間行った後に暴露した。

### 2.4 劣化指標

剥離した部分（剥離面積）とその深さ（剥離深さ）をそれぞれ毎年1回測定している。測定箇所は、図1に示す上部、下部の2面とした。剥離面積は、測定面にビニールシートを当て、剥離部分を油性マジックでなぞり、1測定面につき数点（最大10点）測定し、その平均値で示した。なお、剥離深さの経年変化を把握するために、測点は毎年同じ点とした。剥離面積と剥離深さから剥離度（剥離面積×剥離深さ）を求めた。



図1 消波ブロックの測定面

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 空気量の影響（ケースA：W/C=50%）

図2に剥離度の経年変化を示した。また、図3に暴露6年経過時における剥離度及び暴露開始時（材齢7日）の圧縮強度に及ぼす空気量の影響を示した。暴露から6年経過後の剥離度は、空気量6%以下に比べて空気量8%、10%では低い値を示しており、ほとんどスケリングは発生していない。空気量8%と空気量10%のコンクリートを比較すると、剥離度は両者ともに低く大きな差はみられないものの、強度は空気量8%のコンクリートが空気量10%のコンクリートよりも大きい点を考慮すれば、寒冷地の海上大気中にあるコンクリートに適した空気量は8%程度であると思われる。海洋環境下のコンクリートが内陸のコンクリートに比べてより多くの空気量が必要なのは、海水の作用によりコンクリート表面部分のセメントペースト組織がポーラスになり、凍結可能水量が増大するためと思われる。

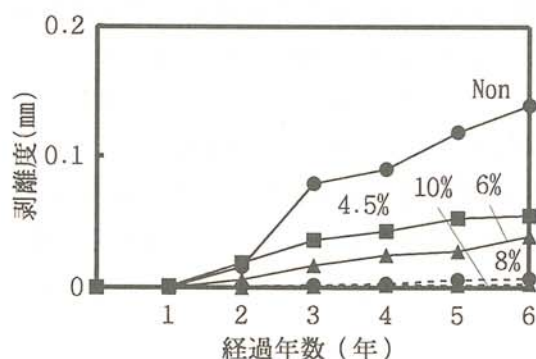


図2 空気量が剥離度に及ぼす影響

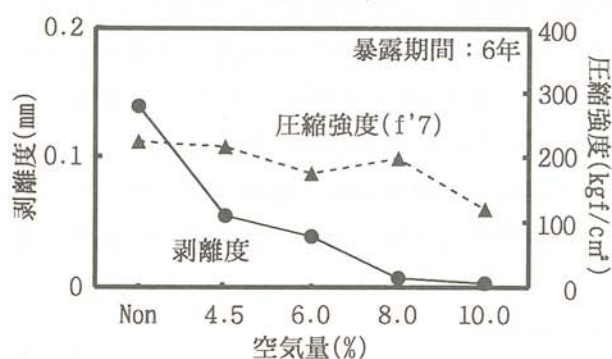


図3 空気量が剥離度と圧縮強度に及ぼす影響

#### 3.2 セメント種類の影響（ケースB：W/C=50%）

図4に剥離度の経年変化を示す。図5に暴露6年経過時における剥離度及び暴露開始時の圧縮強度に及ぼすセメント種類の影響を示す。剥離度はBBが最も大きく、次いでFB、NNの順である。暴露開始時の強度はNNに比べてFBは若干低く、BBではかなり低い値を示しており、これが剥離の発生に影響を及ぼしたと考えられる。すなわち、剥離の発生の主な要因は粗骨材界面に生じるボンドクラックと考えられているが、暴露開始後のごく早い時期に強度の低いコンクリート

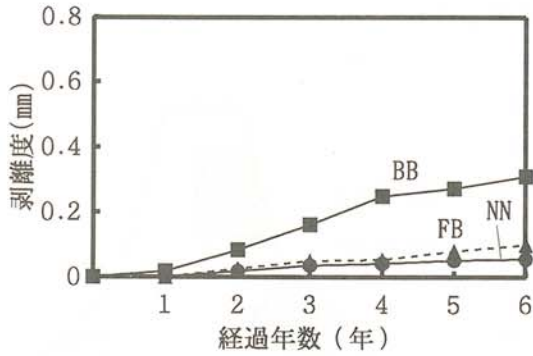


図4 セメント種類が剥離度に及ぼす影響

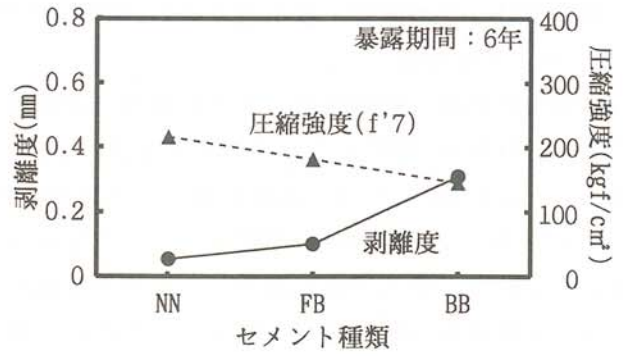


図5 セメント種類が剥離度と圧縮強度に及ぼす影響

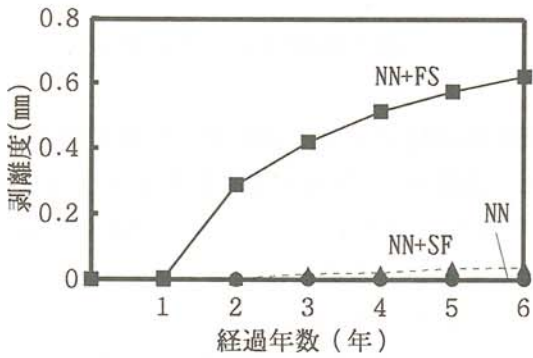


図6 混和材の種類が剥離度に及ぼす影響

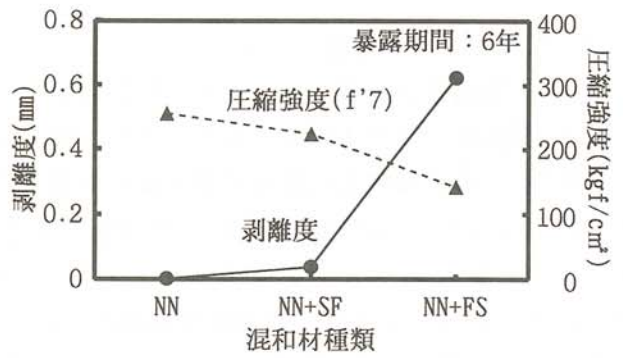


図7 混和材の種類が剥離度と圧縮強度に及ぼす影響

ではボンドクラックが発生し、凍結融解の繰返しとともに剥離に進行したと思われる。

### 3.3 混和材種類の影響 (ケースC : W/C=45%)

図6に剥離度に及ぼす混和材の影響を示す。図7に暴露6年経過時における剥離度及び暴露開始時の圧縮強度に及ぼす混和材種類の影響を示した。NN+FSは高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメント量の50% (重量比) 混合、NN+SFはシリカフェームを15% (重量比) 混合したもので、NN、NN+FS、NN+SFの単位混和材料は同じとした。NN、NN+SFに比べてNN+FSの剥離度は高い値を示している。暴露開始時の強度はNN、NN+SFに比べてNN+FSでは低い値を示しており、前述のセメントの種類と同様に初期強度の違いが剥離の発生に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

## 4. まとめ

(1) 空気量8%のコンクリート (粗骨材の最大寸法 : 25mm、40mm) は流水海域の海上大気中の環境下であってもスケリングの発生が抑制される。

(2) 普通ポルトランドセメント、フライアッシュセメントB種及びシリカフェームを普通ポルトランドセメント量に15% (重量比) 混合使用したコンクリートは、高炉セメントB種及び高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメント量に50% (重量比) 混合使用したコンクリートに比べて剥離の発生の度合いが少なかった。高炉セメントB種あるいは高炉スラグ微粉末を添加したセメントを用いたコンクリートに剥離が発生しやすいのは、暴露開始後の早い時期の強度発現が遅いためと思われる。

# 知的教育支援システムの研究

—演習用プログラム作成支援システム NICE—

Studies on

Intelligent Computer Aided Instruction System

阿部 祐樹 (リコーシステム開発株式会社 (北見))  
藤原 祥隆 (北見工業大学 情報システム工学科)  
後藤 寛幸 (リコーシステム開発株式会社 (北見))  
松西 年春 (北見工業大学 情報システム工学科)  
大鎌 広 (北見工業大学 情報システム工学科)

Yuuki ABE (Ricoh system kaihatsu co.,ltd. (KITAMI))  
Yoshitaka FUJIWARA (Kitami Institute of Technology)  
Hiroyuki GOTO (Ricoh system kaihatsu co.,ltd. (KITAMI))  
Toshiharu MATSUNISHI (Kitami Institute of Technology)  
Hiroshi OHKAMA (Kitami Institute of Technology)

## 1 まえがき

NICEとは、「学生の演習用プログラム作成に対してリアルタイムな指導をウィンドウシステムを利用して行う方式」のことである。今回開発したNICEはおもに、教官が学生に対して個人指導を行うときに用いるものである。

プログラム演習では、教官が学生に対して個人指導を行う場合は、学生が作成したフローチャート、プログラムソース、プログラム実行結果等を教官と学生が同時に参照して行う場合が多い。NICEは、ウィンドウシステムを使用し、教官の端末に学生が作成したプログラムソース等を表示し、教官がリアルタイムな指導が行えることを実現するものである。

## 2 概要

NICEを起動すると、教官と学生の端末に、それぞれ一つのウィンドウが表示される。このウィンドウ上で起こることは、互いに相手のウィンドウに反映され、このウィンドウを用いて教官と学生のリアルタイム参照（同時参照）を行う。例えば、学生がプログラムソースをロードすれば、学生のウィンドウだけでなく、教官のウィンドウにも学生がロードしたプログラムソースが表示される。また、そこで教官が表示しているプログラムソースをスクロールさせれば、学生の方も同時にスクロールする。

現在は以下の操作に対して、リアルタイム参照ができる。

- ・ファイルのロード
- ・スクロール
- ・ポインタによる指示
- ・直線、矩形等のイメージ描画（教官のみ）

この機能を使用し、教官は学生に対してリアルタイムに指導を行うことができる。また、指導後は指導結果として、ウィンドウを通して教官が学生に指導した形跡を蓄積することをしている。

現在は以下の事項を蓄積している。

- ・学生の質問内容と、それに対する教官の診断と結果
- ・参照したフローチャート、プログラムソース、プログラム実行結果
- ・教官が描いたイメージ

### 3 実現モデル

NICEは日本語OpenWindows上で動作するプログラムである。教官側のワークステーションで実行され、教官側、学生側、双方のXサーバに接続し、同時参照するためのウィンドウを表示させている。また、そのウィンドウで発生したイベントを相手側のXサーバへネットワークを通して通知し、相手側のウィンドウへ反映させることでリアルタイム参照を実現している。

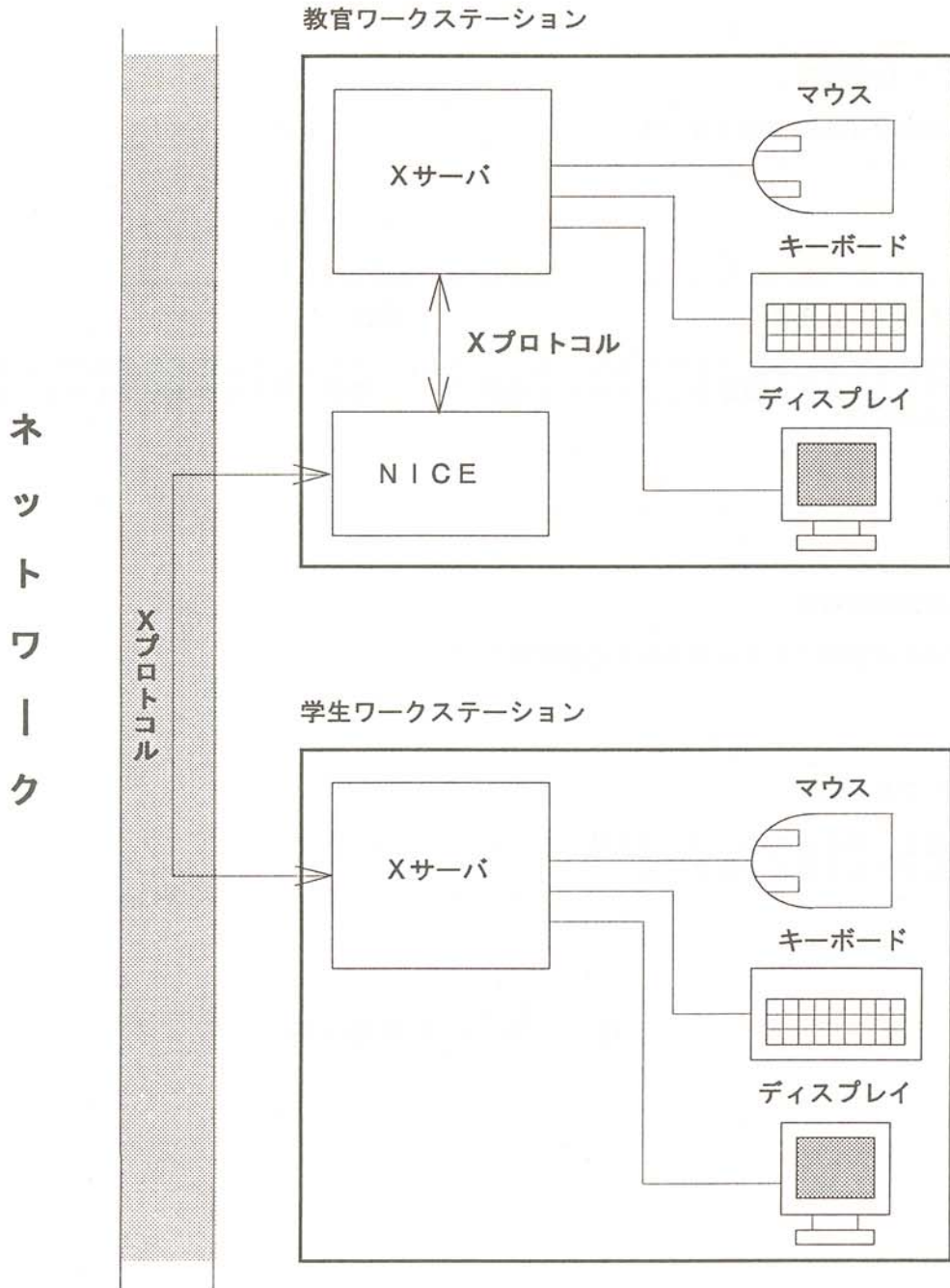


図 NICE実現モデル

#### 4 NICE処理フロー

NICEの起動から終了までの処理フローを下図に示す。

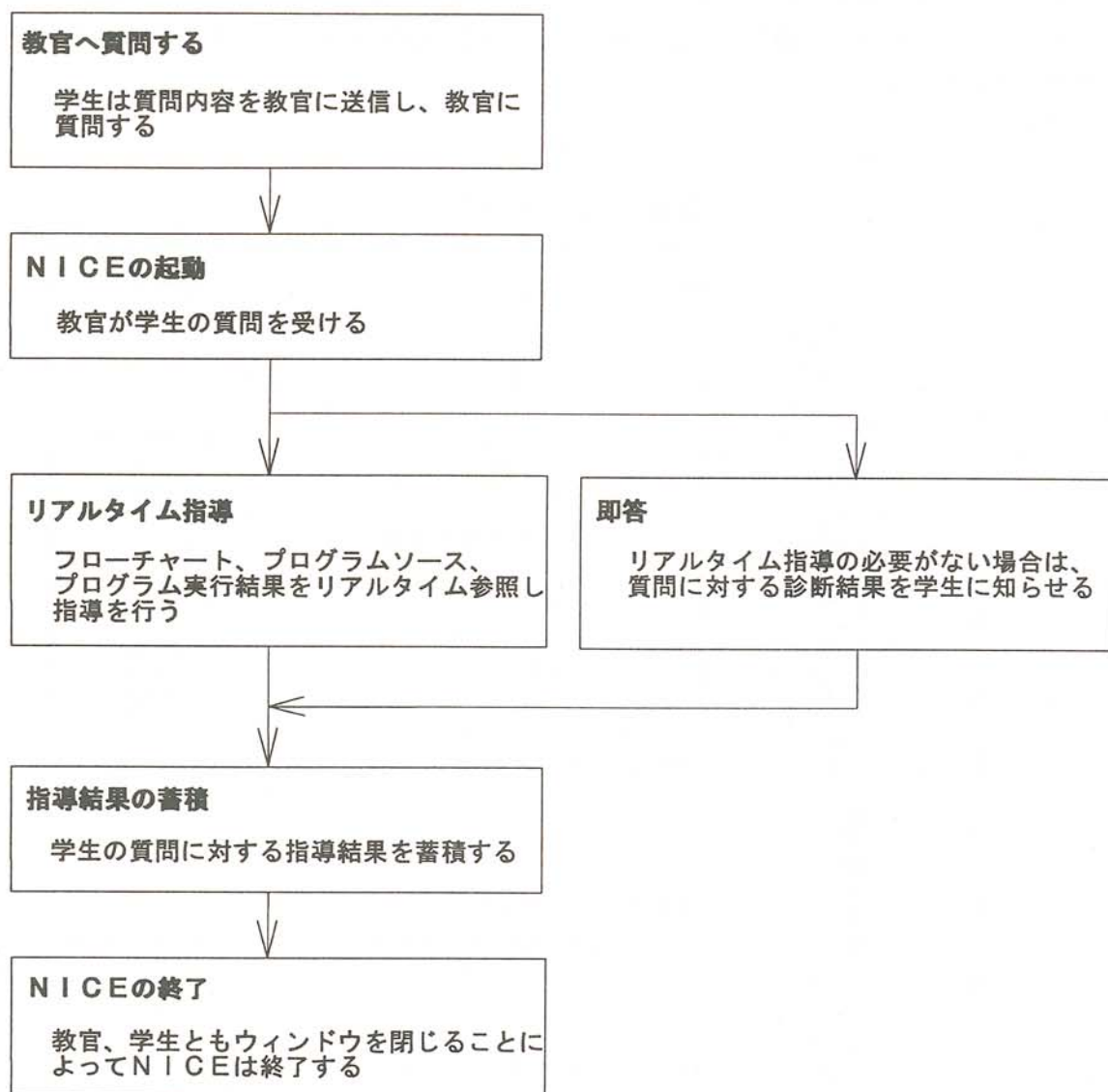


図 NICE処理フロー



## 5 開発中の問題点について

NICE開発中の問題点としては、大きく分けて以下の2点があった。

### (1) 資源の問題

開発初期は、NICEで使用する全ての画面を起動時に全て作成していたことと、リペイントのためのピクスマップ（3画面（フロー、ソース、実行結果）×2（教官、学生））を持っていたため、資源を莫大に使用していた。このため、NICEを2プロセス以上起動させると、システムダウンを起こしていた。

これを回避するため、起動時に全ての画面を作成する方法から、現在必要な画面のみを作成し、不要になると削除する方法への変更と、ピクスマップを使用しないでリペイントを行う（ファイルは再ロード、イメージは再描画）ことによって資源を削減し対応した。これにより、システムダウンは発生しなくなり、6プロセス程度の同時起動ができるようになった。

### (2) 処理速度の問題

これは、起動時間と指導結果の保存時間が長いため問題となっていた。起動時間に関しては、起動時に全ての画面を作成していたため、資源削減の対応により、ある程度は改善された。指導結果の保存時間に関しては、イメージ（ビットマップ）を保存していたため、これについてはイメージの操作を保存する（直線であれば、直線という操作とその始終点座標等、テキストであれば、テキストという操作とフォント、サイズ、テキスト内容、始点座標等をバイナリーデータとして保存する）ことで高速化した。

## 6 あとがき

現状のNICEは、複数起動ができるとはいえ3プロセス以上起動させると、教官側の処理が重くなり（プログラムは教官側で動いているため）、処理速度的に実用的ではない。学生からの質問は同時に7～8人はある可能性があり、NICEを同時にもう少し（10プロセス程度）複数起動させるためには、さらに資源の削減等が必要となる。この点が今後の大きな課題となる。

また、現在教官の指導結果を蓄積しているが、このデータの有用な利用方法も検討しなければならない。

# 省エネルギータイプロードヒーティングの開発

## Development of Energy Saving Road-Heating System

菅原 宣義 (北見工業大学工学部電気電子工学科)  
保苅 和雄 (北見工業大学工学部電気電子工学科)  
土方 正範 (北見工業大学工学部電気電子工学科)  
熊谷 親 (鹿島道路(株))  
小家 正善 (鹿島道路(株))

Noriyoshi SUGAWARA(Kitami Institute of Technology)  
Kazuo HOKARI(Kitami Institute of Technology)  
Masanori HIJIKATA(Kitami Institute of Technology)  
Chikashi KUMAGAI(Kajima Road Co., LTD)  
Masayoshi OIE(Kajima Road Co., LTD)

Key word:energy saving, road-heating

### 1. 緒言

スパイクタイヤの製造販売が平成3年に禁止され平成4年度には札幌圏が、平成5年度にはほぼ全道でスタッドレスタイヤの装着率が100%となった。スタッドレスタイヤの普及とともに粉塵公害が大幅に改善された反面、従来よりも滑りやすい路面が出現し交通事故や交通渋滞を引き起こす要因となっている<sup>(1)</sup>。これらの問題を解決する1つの手段として交通要所や、坂道や急カーブ等の交通難所へのロードヒーティングの導入が急速に進められてきた。ロードヒーティングの導入及びその設置箇所の増大により問題となるのがそのランニングコストである。発熱線式ロードヒーティングは施工性の良さ、維持管理がしやすいことから古くから導入され、広く普及しているがランニングコストが灯油やガスの温水方式より高い事が難点とされており導入箇所、敷設面積の増加とともにそのランニングコストの増加は地方自治体の財政にとって大きな問題となるものとおもわれる。このためエネルギー消費の少ないロードヒーティングシステムの開発が望まれている。ロードヒーティングシステムでは一般に降雪時の融雪運転への応答性を良くするために、路面が露出し乾いていても路面温度を一定の温度(0~-3℃)に保つ予熱運転を行っている。予熱運転の通電時間は全通電時間の50~70%にもなると言われている<sup>(2)</sup>。降雪が無い場合にはこの予熱運転に使われるエネルギーは無駄となる。従って予熱運転を降雪時の応答性を損なう事無く、必要最小限に抑える事で、より一層の省エネ、すなわちランニングコストの低減が図られるものと思われる。筆者らの一部はこれまでロードヒーティングシステムの制御要素として気象予報の降雪確率を取り入れ省エネを図るロードヒーティングシステムを開発し実証試験を行ってきた。このシステムは降雪確率に応じて予

熱の温度を変える事で予熱運転における省エネを図るシステムである。すなわち降雪確率に応じて数段階の予熱温度レベルを設定し、降雪確率が小さいときは従来の予熱温度よりも低い予熱温度とし、降雪確率が大きくなるに従って順次予熱温度を高くし従来の予熱温度に近づける事で従来無駄に消費していた予熱のエネルギーを節約する方法である。また現時点の制御に数時間先の降雪確率を用いることで気象の急激な変動に対処できるようにしている<sup>(3)</sup>。

本研究ではより一層の省エネ化を図るため数種の舗装材料について日射やヒーティングによる舗装体内や路面表面の温度の変動を詳しく調べている。各種路面の温度上昇特性等を詳しく知ることで予熱の温度レベルを従来よりも低く設定したり、先行制御の時間を可変にすることできめ細かな制御が出来ればより一層の省エネが可能となるものと思われる。

## 2. 実験方法

図1に示す様に舗装の深さ方向の温度分布を調べるために5カ所に熱電対を埋め込みレコーダに記録するとともにパソコンにてデータ収集を行っている。ヒーティング時の温度上昇特性を調べる場合は、第2融雪電力の16時から21時までの間の2時間の強制的な電源断による影響を避けるため21時以降にヒーティングを開始した。

## 3. 結果、考察

図2に2月9～10日、図3に2月15～16日にかけて行った路面の温度上昇試験の結果を示す。両者とも一般アスファルト舗装材の路面である。図2の場合は9日10:00頃までヒーティングが行われておりヒーターがOFFの後も日射により14:00頃には表面温度が17℃まで上昇し、気温の低下と日射の減少とともに温度が下がり21:30に表面温度-4.8℃で再びヒーティングを開始している。図3の場合は15日午前中にはヒーティングを行っておらず表面温度は日射で14:00頃に12℃まで上昇した後減少し表面温度-4.1℃でヒーティングを開始した。ヒーティング開始時の両者の表面温度の差は0.7℃であるが発熱線付近の温度は図2では6.4℃で図3の2.9℃より3.5℃高くその他の点でも2～3℃高い。一方気温は図2では約-15℃に対し図3では約-8℃と9℃高い。ヒーティング開始時より表面温度が2℃及び3℃上昇するのに要する時間は図2ではそれぞれ2時間55分、3時間30分で図3ではそれぞれ3時間30分、4時間5分であった。条件が異なるため単純に比較はできないが図2の方が外気温が低いにも関わらず表面温度の上昇に要する時間が短いのはヒーティング開始時の舗装内深部の温度が高く日射等の余熱を持っていたためと思われる。ここで表面温度がヒーティング開始時より2℃あるいは3℃上昇する時間を求めたが、この温度差は降雪確率を用いた制御では降雪確率に応じて

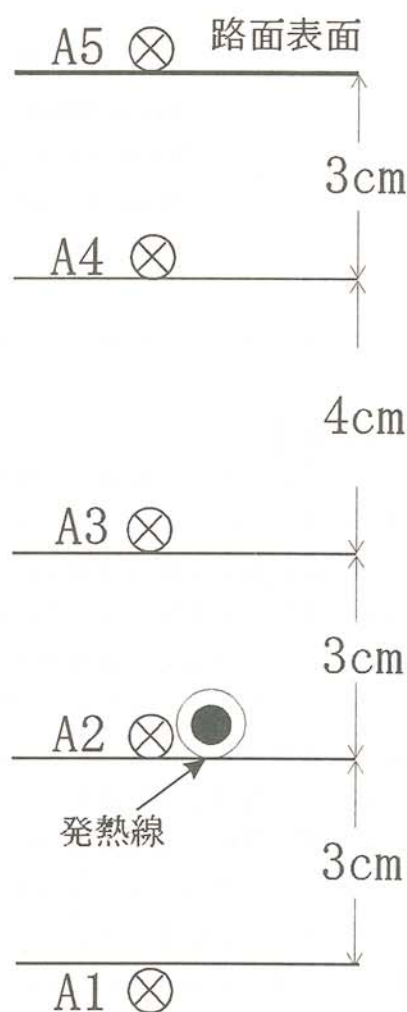


図1 舗装体内部深さ方向の温度測定点の配置

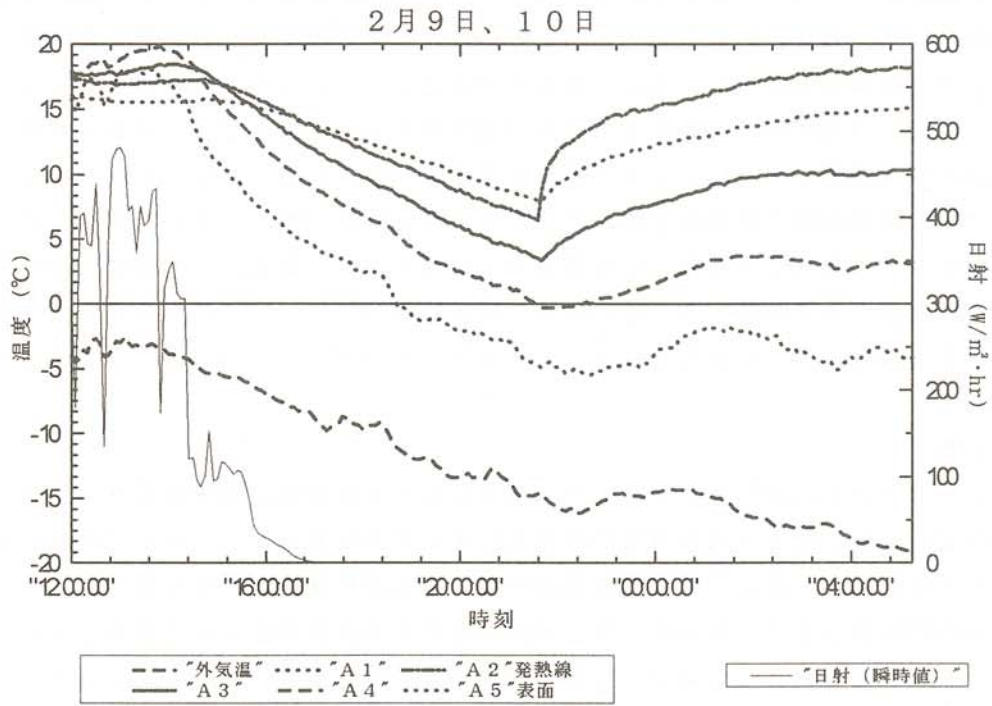


図2 平成7年2月9日、10日の一般アスファルト舗装材の深度毎の温度上昇の時間経過

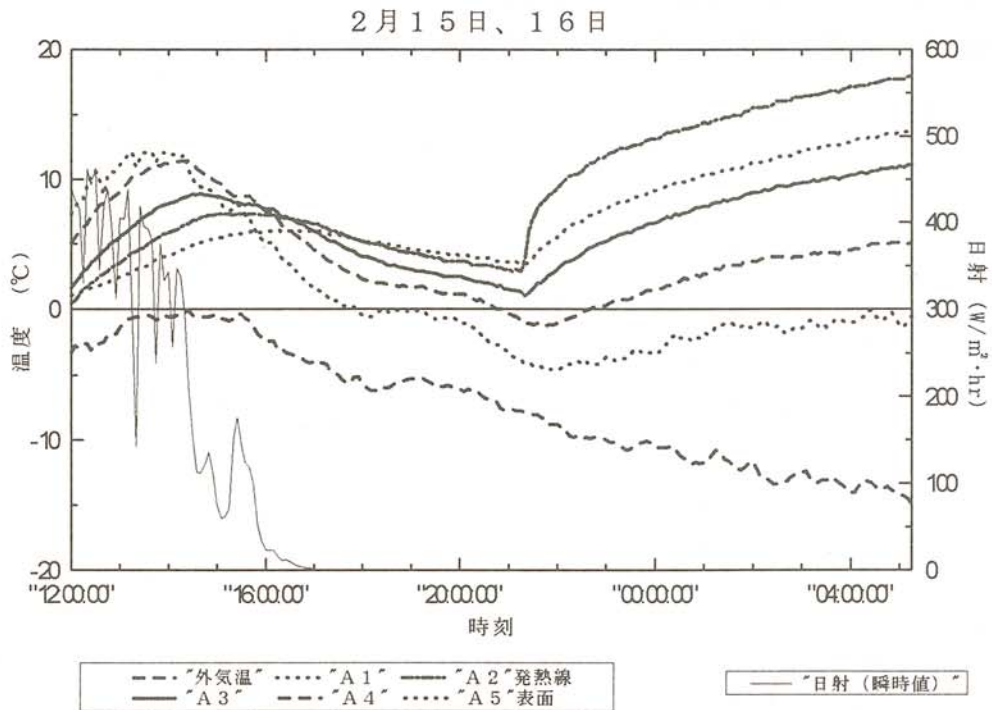


図3 平成7年2月15日、16日の一般アスファルト舗装材の深度毎の温度上昇の時間経過

数段階の予熱温度レベルを設定するがこの各レベルの温度差に相当する。また降雪確率を用いた制御を行うとき、気象変動に対応出来るように現時点の制御を行うために一定時間先の降雪確率を用いた先行制御を行っているが、現時点の温度レベルから1段高い温度レベルへの温度上昇時間が現時点の環境条件やそれまでの外気温度変化率、路面温度変化率等から推測できるならば先読みする時間をそれに応じて可変にする事が可能となる。温度上昇時間が長い場合にはそれだけ先の時間の降雪確率を参照する事となり降雪確率が低下していく場合には従来より早く予熱温度レベルを低くする事になり省エネとなる可能性がある。この温度上昇時間は舗装材の材質等によっても異なるものと思われるため各種舗装材について路面の温度上昇特性等を詳細に調べその特性に応じた制御を行うことでより一層の省エネが可能となるものと思われる。

#### 4. まとめ

ロードヒーティングにおけるランニングコストの省エネ化の為に各種舗装材料について舗装体内部等の温度分布、温度上昇特性等の基礎的なデータを収集した。一般には路面の温度は表面温度によって制御されるが、同じ表面温度の場合でも舗装体内部の温度条件によっては表面温度の上昇時間の異なることがわかった。路面の温度上昇特性等を詳細に把握しよりきめ細かな制御を行うことでこれまでに開発してきた降雪確率を用いたロードヒーティングシステムのより一層の省エネ化が図られるものと思われる。

#### 参考文献

- (1) 堀田、他 : 第10回寒地技術シンポジウム, CTC94-I-018, pp.98-103, (1994).
- (2) 根本、他 : 古河電工時報、p69 (昭和61、12月)
- (3) 菅原、他 : 第10回寒地技術シンポジウム, CTC94-I-029, pp.167-172, (1994).

# 地盤の凍上対策に関する研究

Study on preventive measures for frost heave of ground

鈴木 輝之 (北見工業大学 土木開発工学科)

沢田 正剛 (北見工業大学 土木開発工学科)

山下 聡 (北見工業大学 土木開発工学科)

鹿毛 学 (株式会社 ナオック)

Teruyuki SUZUKI (Dept. of Civil Engineering Kitami Inst. Tech.)

Seigo SAWADA (Dept. of Civil Engineering Kitami Inst. Tech.)

Satoshi YAMASHITA (Dept. of Civil Engineering Kitami Inst. Tech.)

Manabu KAGE (Corporation NAOC)

Key Word : frost heave, replacement method, insulating method

## 1. 緒言

北海道のような寒冷地では地盤凍上による構造物の被害が多く見られる。この問題は古くから取り挙げられているが<sup>1)</sup>、道路や鉄道などの一部の構造物を除いて、調査と被害対策に関する研究は必ずしも十分ではなく、多くの課題が残されている。また、最近の各種構造物の高度化と複雑化は、新しい観点からの地盤凍上対策の必要性を生じさせている。本報告では、土質工学研究室で進めている地盤凍上対策に関する共同研究の中で、歩道の置き換え厚さに関する研究と、断熱性及び遮水性の両方の性質を持つ新しい断熱材の凍上抑制効果に関する研究について述べる。

## 2. 地盤凍上対策工法の基本

地盤の凍上は土質、温度、水分、及び荷重の4つの因子がそろったときに発生することは良く知られており、特に前3者は従来から凍上の3要素といわれている。凍上対策工法の基本は最終的には、これらの因子のどれか一つ以上をカットすることに帰着する。土質条件のカットは、凍結時に凍上(氷唱分離)を生じないような材料で凍結深さの範囲内を置き換えるいわゆる置換工法が基本であり、現在のところこの工法が最も一般的に用いられている。温度条件のカットは、断熱材などによって地表面からの寒気の侵入を防ぐいわゆる断熱工法が基本である。また、水分条件のカットは、最大凍結深さよりも下の位置に凍上発生に必要な毛管上昇水を遮断する層を設ける遮水工法による。

以上のように凍上の3要素に対応する具体的な対策工法は、置換工法、断熱工法、遮水工法の3つになる。これら3つの対策工法は凍上発生そのものを押さえる工法である。これに対して、構造物の強度を大きくして凍上力に抵抗させるという対策は、経済的に不利になる場合が

多く、採用されないのが普通である。このように凍上対策の基本原理は明確であるが、具体的な個々の構造物設計に凍上対策を採り入れていくためには、構造物の特性に対応した個々の検討が必要になる。今後は詳細な実験を通して、より共通性のある知見の集積が必要である。

### 3. 透水性発砲ポリスチレンによる凍上抑制

遮水工法の考えは、凍上をもたらす毛管上昇水をカットすることにある。これまでは不透水性のビニール膜などを用いる遮水工法が試験的に行われたことがあるが、この場合地表面からの侵入水が遮水層の上部に貯留して冬期間の凍上を発生させる可能性があるなどの理由で、一般的には普及しなかった。本研究では新しく開発された発砲ポリスチレン製の断熱材について、凍上抑制につながる以下の3つの性質について検討した。

- ①融解時の地表からの浸透水を下部に速やかに通過させる（透水性）。
- ②凍上を発生させる下部からの水分の毛管上昇を遮断する（遮水性）。
- ③寒気すなわち凍結の侵入を防ぐ（断熱性）。
- ④断熱材としての効果と埋設深さの関係。

実験は屋外凍上実験土槽（3.3m×3.3m×深さ1.9m）を用い、その中に断熱材の埋設深さ10cm、20cm、30cm、40cm、80cm、及び断熱材なしの6種類の模型地盤を設けた。この土槽内の地下水位は1mに設定した。測定項目は、冬期間の凍上量、凍結深さ、気温、及び地表面においた直径10cmの円盤に加わる凍上力の4つである。

図-1 は各模型地盤の凍結深さの推移を示している。図中の断熱材位置は各地盤における埋設深さを示している。断熱材の埋設位置を浅くすると、凍結は断熱材を通り抜けて侵入するが、凍結深さは小さくなる。また、断熱材を埋設すると下方からの熱流が遮断されるため、それより上の層では凍結が入り易くなる。たとえば、断熱材の埋設深さ80cmの地盤では、断熱材なしの地盤より凍結が深く入っている。

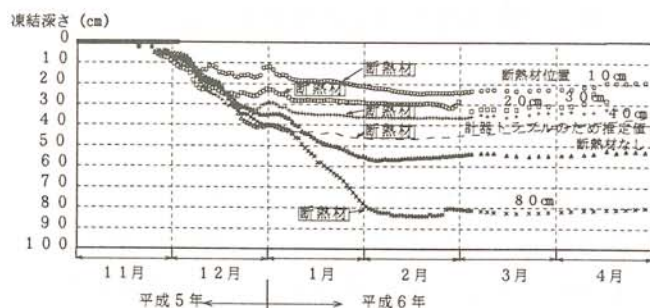


図-1 凍結深さにおける断熱材位置の影響

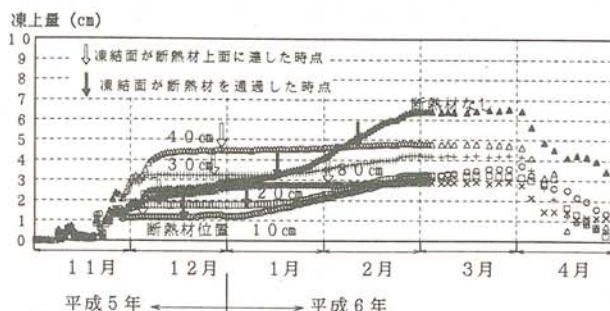


図-2 地表面凍上量における断熱材位置の影響

図-2 は地表面の凍上量の推移を示している。断熱材を設置した場合、凍結初期の段階で急速に凍上が発生し、その後凍結面が断熱材上面に達する前に凍上が停滞する。使用した断熱材は毛管上昇を遮断するので、それより上の層ではいわゆる閉式凍上になり、凍上に必要な水分が未凍土中になくなった時点で凍上発生が停滞したと解釈できる。一方、断熱材の設置位置が浅く、凍結面が断熱材を通り抜けた場合には、その時点から再び凍上発生が始まることに注意する必要がある。

図-3は地表面においた直径10cmの円盤に加わる凍上力の推移を示している。断熱材を埋設した地盤では、凍結面が断

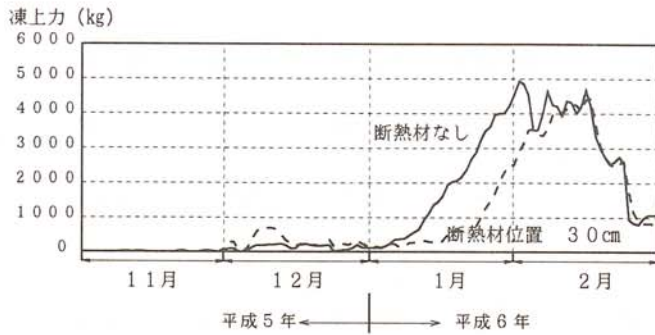


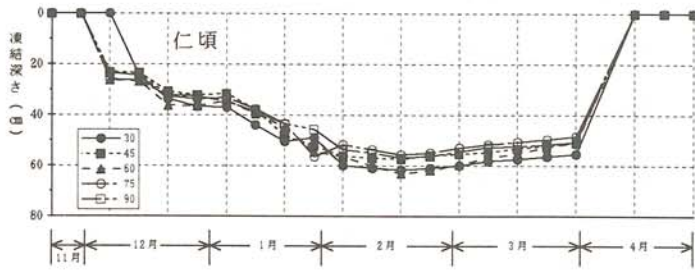
図-3 凍上力の推移

熱材を通過する前までは小さな凍上力で推移する。しかし、凍結が断熱材を通過し再び凍上が始まる時点から凍上力は増加し結果的には断熱材を設置していない地盤の場合と同じ大きさに達している。断熱材を用いる場合には、凍結が断熱材を通過しないようにすることが重要と言える。

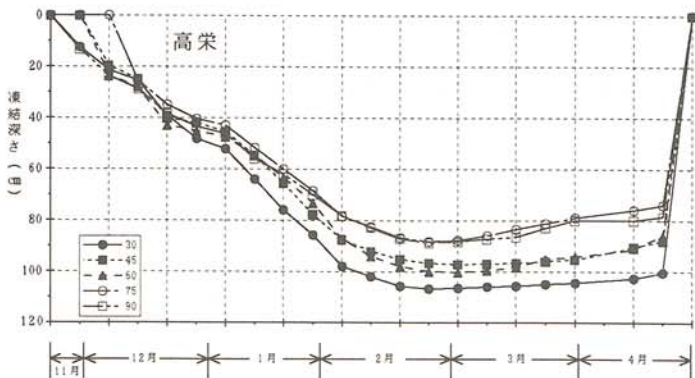
#### 4. 歩道の置換え厚さ

北海道の歩道では置換え厚さを最大30cmとして施工されている。しかし、凍結深さからしてこの置換え厚さでは不足であり、現実には多くの凍上被害が発生している。最近では特に次の2つの理由から歩道置換え厚さの見直しが急がれている。

- 1) 歩道の除雪が一般的となり凍上被害がますます生じやすい状況になっている。
- 2) インターロッキングブロック舗装などの高級かつ高価な歩道が作られるようになり、社会的にも経済的にも単なる道路の付帯構造物という位置付けが変化している。



(a) 仁頃



(b) 高栄

図-4 凍結深さの推移

ここでは寒冷地における凍上対策を考慮した合理的な歩道置換え厚さを見出すために行った実験を紹介する。北見市内に3か所（四条通り、高栄、仁頃）置戸町、訓子府町、端野町に各1か所の計6か所の実験地点を設けた。各実験地点では実験に供用されている歩道で置換え厚さ30cm、45cm、60cm、75cm、90cmの区間を設け、各区間毎に凍結深さと路面凍上量を測定した。

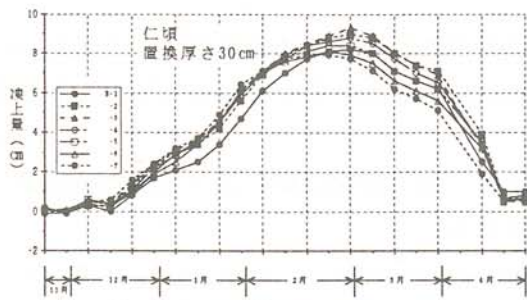
歩道の凍上は、凍結面が置換え層を通過して在来地盤中に達したところでその地盤条件によって凍上が発生する。各実験地点における在来地盤土の性質と、最大凍結深さ、及び最大凍上量を表-1に示す。また、仁頃と高栄を例として凍結深さの推移を図-4に、凍上量の推移を図-5に示す。在来地盤の土は高栄を除いてすべて不合格すなわち凍上性と判断される。したがって高栄以外では寒さと水分の条件がそろえば凍上が発生することになる。



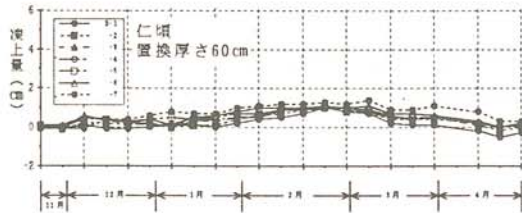
		置戸	訓子府	四条通り	高栄	仁頃	端野	
土粒子の密度(g/cm <sup>3</sup> )		2.52	2.59	2.63	2.48	2.47	2.56	
粒 度	4.76mm以下(%)	88.8	42.8	48.7	86.5	92.2	34.8	
	0.074mm以下(%)	35.1	10.7	11.2	23.7	39.7	9.9	
	0.074mm以下(%) 注)	39.5	25.1	23.0	27.4	44.0	28.4	
締 固 め	最適含水比(%)	24.4	18.4	18.0	29.7	28.8	20.0	
	最大乾燥密度(t/m <sup>3</sup> )	1.354	1.530	1.716	1.246	1.355	1.500	
※凍 上特 性	凍上率(%)	72.4	33.0	52.0	16.5	30.0	39.3	
	凍上様式	霜柱状	霜降状	霜柱状	コンクリート状	霜降状	霜降状	
	判定	不合格	不合格	不合格	合格	不合格	不合格	
現 場 測 定	凍結指数(°C・day)				616	616	646	502
	最 大 凍 結 深 さ (cm)	置換30cm	78.2	69.9	85.0	106.7	61.7	84.9
		置換45cm	69.0	85.2	76.0	97.2	57.4	85.0
		置換60cm	40.0	61.1	71.3	100.3	63.2	72.5
		置換75cm	57.0	55.3	68.3	88.3	56.4	72.8
		置換90cm	69.1	63.5	66.2	88.8	56.9	71.4
	最 大 凍 上 量 (横断方 向平均) (cm)	置換30cm	3.6	3.4	3.3	2.3	8.5	2.9
		置換45cm	6.2	2.6	3.4	2.4	3.7	1.7
		置換60cm	6.2	1.8	3.0	2.0	1.1	1.6
		置換75cm	6.0	1.6	1.8	2.0	1.1	1.5
置換90cm		3.8	1.4	2.8	2.1	2.3	1.3	

注) 4.76mm以下通過分に対する0.074mm以下の割合  
 ※ 道路土工排水工指針の方法による

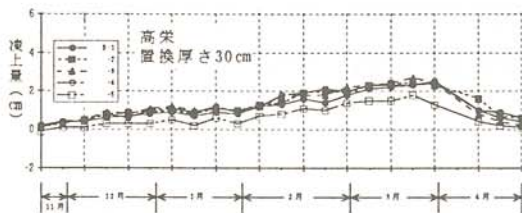
表-1 路床土の室内試験及び現場測定結果一覧



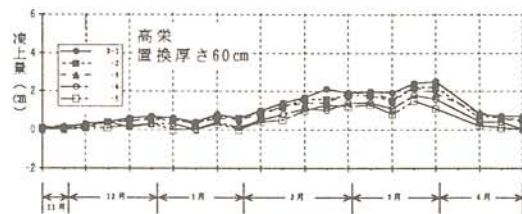
(a) 仁頃 (置換厚さ30cm)



(b) 仁頃 (置換厚さ60cm)



(c) 高栄 (置換厚さ30cm)



(d) 高栄 (置換厚さ60cm)

図-5 凍上量の推移

地盤・凍結凍上は12月上旬から始まり、2月下旬から3月上旬にかけてピークを示している。凍結深さは高栄で大きく仁頃では小さな値となっている。しかし、凍上量は高栄が小さく、仁頃で大きく現れている。高栄では凍結は深く入ったが、在来地盤の土が非凍上性であったために凍上はほとんど発生しなかったと考えられる。表-1の結果を用いて、各実験地点毎に置換え厚さと最大凍上量の関係を取ると図-6 が得られる。大きな凍上が表れている仁頃では、置換え厚さ60cm以上で最大凍上量は1cm程度に減少している。凍上量は小さいが、同様な傾向が訓子府と端野でも認められる。凍結深さが置換え層内で納まる場合の最大凍上量は2cm程度であるので、この値を許容される限界の凍上量とすると、凍上量を許容値以下にするための置換え厚さとして50~60cm程度が推定される。

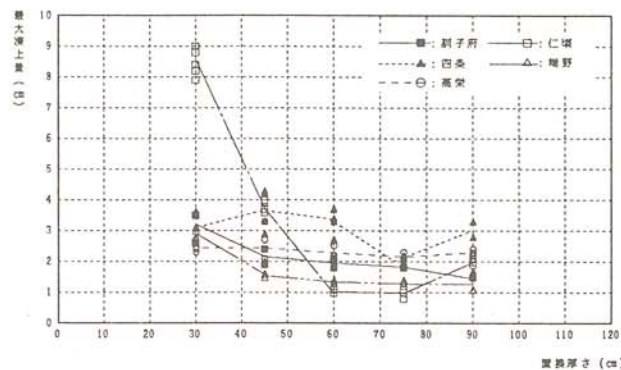


図-6 置き換え厚さと最大凍上量の関係

## 5. 結言

凍上対策工法に関する研究の一環として、新しく開発された断熱材の断熱工法と遮水工法への適用性、及び歩道における置換厚さについて実験的に検討した。主な結果をまとめると次のようになる。

- (1) 新しく開発された発砲ポリスチレンの断熱材は、凍上対策に用いるときの断熱効果と遮水効果の両方を兼ね備えていることが確認された。
- (2) 断熱材の設置位置が浅いほど、最大凍結深さが小さくなる。しかし、あまり浅くすると凍結が断熱材を通り抜けて、再び凍上が発生する。構造物に加わる凍上力対策を考慮すると、断熱材を凍結が通り抜けないようにすることが重要である。
- (3) 歩道の凍上は置換え層より下の在来地盤における土質、寒さ、水分の3条件によって支配される。在来地盤が凍上性である場合、現行の置換え厚さ30cmは不足であり、必要な置換え厚さとして50~60cm程度が推定された。

## 参考文献

- (1) 真井耕象：凍上被害とその対策について、土と基礎、Vol.1、No.1、pp.7-13、1994
- (2) 劉朝鋼、鈴木輝之、沢田正剛：砂利および透水性断熱材を用いる遮水層の凍上抑制効果、土木学会論文集、No.487/III-26、pp.265-270、1994.

# 力覚センサを利用したNC研磨技術

## NC Polishing Technology Utilizing Force Sensor

二俣正美 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

田牧純一 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

鎌田英博 (北海道立工業試験場産業デザイン部)

Masami FUTAMATA (Kitami Institute of Technology)

Jun'ichi TAMAKI (Kitami Institute of Technology)

Hidehiro KAMATA (Hokkaido Industrial Research Institute)

**Key words:** woodcraft, NC polishing, force control, polishing efficiency

### 1. はじめに

圧力制御による自動研磨システムを構築するためには、力覚センサおよびアクチュエータ制御システムの開発もさることながらエンドエフェクタ部で実際に行われる研磨機構を解明することが不可欠の課題である。特に研磨布紙を用いた研磨加工の場合には、工具と工作物の接触領域に存在する弾性的挙動が研磨機構を支配する大きな要因となる。

本実験では、研磨試料として北海道産出の代表的樹種であり建具、家具等にも多用されているみずなら(広葉樹)とえぞまつ(針葉樹)を選定し、研磨荷重が研磨性能に及ぼす影響を実験的に検討した。また、複合材料である木材との比較のため均質組織を有するベークライトの研磨実験も合わせて行った。

### 2. 実験装置および試料

#### 2.1 研磨工具および研磨布紙

研磨工具として次に示すポータブルタイプの振動式サンダを採用した。

研磨工具：三共理化学(株)製ハンディカムサンダー840型

重 量：730g

供給エア：280 l/min

図1にその構造を示す。研磨工具は、10000rpm (167Hz)で回転するエアタービンモータ、②マジックテープを介して研磨布紙を固定するゴムパッド、③回転運動を巡回運動(巡回径3mm)に変換する偏心軸、④パッドに振動を与えるためのゴム製フレキシブルシャフトで構成されている。実際の研磨作業に

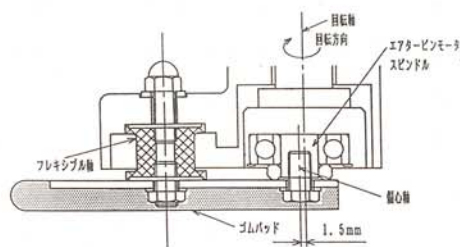


図1. 研磨工具の構造

においては、後述するように、パッドを研磨試料に対して10度傾けて使用しているため、パッド全面が工作物と接触することはない。

使用した研磨布紙は、紙を基材とする研磨布紙の裏側にマジックテープとの密着性を与えるためのフェルト生地を接着したロールタイプのものであり、これをパッドの寸法に合わせて切断したものを貼付けるというスローアウェイ方式で使用した。研磨布紙の仕様を以下に示す。

三共理化学(株)製 ハイピッチペーパーロール  
型式 HNAR、粒度#320

## 2.2 研磨試料

研磨試料の寸法および仕様を以下に示す。2種類の木材(みずなら、えぞまつ)の他にベークライトを研磨試料として用いたのは、木材のような複合材料とは異なる均一組織のベークライトを研磨することによって、木材の繊維方向性の影響を排除した研磨性能を得るためである。木材試料は北見工業技術センターから提供を受けたもので、含水率は8~10%である。

研 磨 試 料	寸 法	前 加 工 面
ベークライト	70×57×19	正面フライス加工
みずなら(乾燥材)	120×80×12	柁目面の自動カンナ加工
えぞまつ(乾燥材)	120×80×12	柁目面の自動カンナ加工

## 2.3 研磨装置

図2は研磨実験装置の概要図である。研磨システムを構築するための工作機械として万能工具研削盤を用い、DCモータで駆動できるように改良したZ軸④に研磨工具①を固定した。また、ACサーボモータで駆動される工作物移動用テーブル(Y軸テーブル)③上に歪みゲージ式3分力動力計②を搭載し、その上に工作物を固定することによって研磨荷重および研磨抵抗を測定した。研磨工具にはレギュレータ⑤を介して圧力4kgf/cm<sup>2</sup>のエアが供給されるようになっている。なお、研磨荷重増加に伴うエアモータの回転数低下を監視するために非接触式変位センサを用いて回転数すなわち研磨工具振動数をインプロセス測定した。研磨荷重の設定は、動力計を接続した動歪計からの出力電圧をシンクロスコープ⑪でモニタすることによって行い、必要に応じて研磨荷重および研磨抵抗を記録した。

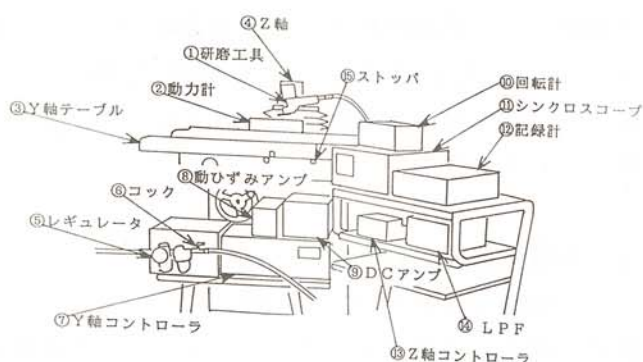


図2. 研磨装置の外観

図3に、研磨用木材に対する研磨工具の姿勢および研磨方向の説明図を示す。今回の実験では、工具パッドが工作物の被研磨表面に対してなす角度(姿勢角) $\theta$ を10度に設定し、工具パッドの先端部だけが研磨に関わるようにした。また工作物に送りを与えて研磨する場合には、図3(b)に示すようにY軸方向にテーブルを移動させ、その時の研磨抵抗 $F_y$ を測定した。また、

必要に応じて、X方向の研磨抵抗 $F_x$ も測定した。なお、木材を研磨する場合には、木目方向が研磨パッドの幅方向とほぼ直交するように木材を固定した。したがって、送りを与えながら研磨する場合、研磨パッドは木目に沿って移動することとなる。

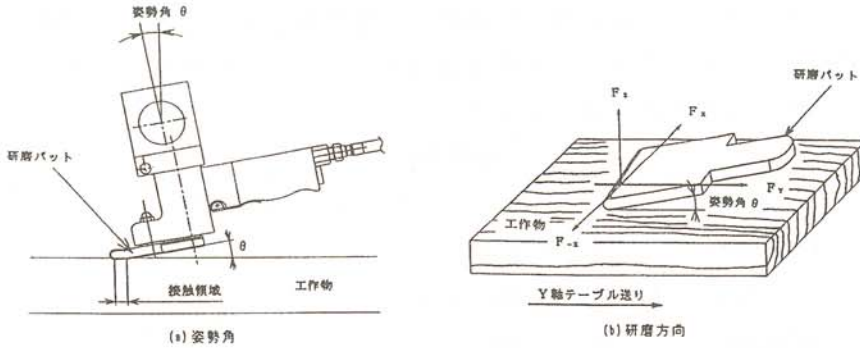


図3. 研磨工具と工作物の位置関係

### 3. 実験方法

#### 3.1 研磨性能の評価パラメータ

研磨布紙加工の特徴は、その過程が複雑な弾性的挙動のもとに行われるという点にある。例えば木材の研磨においては、工具である研磨布紙がゴム製のパッド上に取り付けられており、更に、被工作物としての木材は金属よりもはるかに顕著な弾性的性質を有しているため、工具・工作物間の接触機構は非常に複雑なものになることが容易に想像できる。

そこで、本実験では、各種工作物について図3(a)に示した工具接触面積の測定実験を行った。具体的には、工作物に送りを与えずに一定押付け力(研磨荷重)で研磨した後の研磨布紙をパッドから取り外し、工作物との接触によって変色した部分の面積を測定した。

図4(a)は使用後の研磨布紙の写真であり、中央部の黒っぽい部分、すなわち図4(b)に示すハッチング部が工作物との接触領域である。この接触領域の面積 $A_c$ と研磨荷重(押し付け荷重) $F_z$ を用いて次に示す研磨圧力 $P_z$ を求めることができる。

$$P_z = F_z / A_c \quad \text{式(1)}$$

また、研磨量を把握するために、一定時間研磨後における工作物の断面プロフィール(工具パッドの幅方向すなわちX方向断面プロフィール)を電気マイクロメータにより測定した。その測定例を図5に示す。図に示すように、研磨前後におけるプロフィール変化を比較することにより斜線で示す研磨断面積 $A_p$ を求めることができる。

なお、次式に示すように、単位研磨時間あたりの研磨断面積を研磨能率 $\eta$ と定義し、評価パラメータとした。 $t$ は研磨時間である。

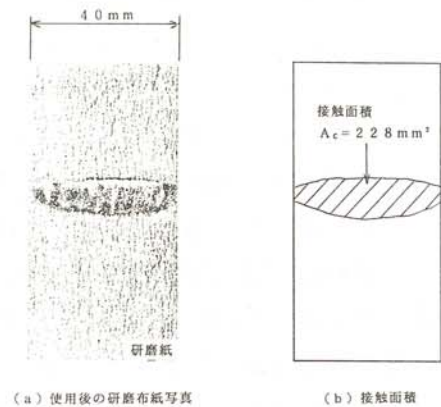


図4. 接触面積の測定例

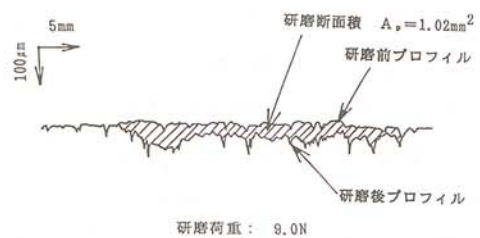


図5. 研磨断面積の測定例

$$\eta = Ap / t \quad \text{式(2)}$$

### 3.2 実験条件

実験の第1段階として、工作物に送りを与えずに研磨布紙のトポグラフィが変化しない程度の時間だけ研磨し、その時の工具接触面積と研磨能率の関係を求めた。また、研磨時間の経過に伴う研磨能率の変化を追跡するために、初期研磨荷重を与えた工作物を一定速度で移動させながら研磨実験を行った。実験条件を表1に示す。

表1. 実験条件

工作物	ベークライト、みずなら、えぞまつ
研磨荷重	10~50 N
送り速度	150 mm/min
研磨距離	58 mm

## 4. 実験結果

### 4.1 研磨荷重が研磨性能に及ぼす影響

図6は、工作物材質をパラメータとし研磨荷重  $F_z$  に対して工具・工作物間接触面積  $A_c$  をプロットした結果である。図より、同一研磨荷重下では、ベークライト(●)、みずなら(○)、えぞまつ(△)の順に材質が軟らかくなるにつれて接触面積は増加することがわかる。また、実験結果は  $A_c = K F_z^n$  ( $K$ : 定数) という式で近似することができ、その指数  $n$  の値として、ベークライトで0.9、みずならで0.8、えぞまつで0.5という値が得られる。この接触面積は、工具押込み方向における工具形状の変化および工具と工作物の接触に伴う弾性変形が相互に影響しあう結果として得られるものであり、弾性論的視点からの解明が今後の課題となるであろう。

図7は、式(1)を用いて研磨圧力  $P_z$  を計算しその値を研磨能率  $\eta$  に対してプロットした結果である。この結果から研磨圧力と研磨能率の関係について次の一般式を導入することができる。

$$P_z = P_0 + C \eta^m \quad \text{式(3)}$$

ここで、 $P_0$  は研磨開始圧力であり、それ以下の研磨圧力では工具押込み量がすべて工具・工作物で構成される弾性系に吸収されてしまい研磨作用が行われないことを意味する。また、 $m$  は研磨圧力の寸法効果指数であり、寸法効果が存在し

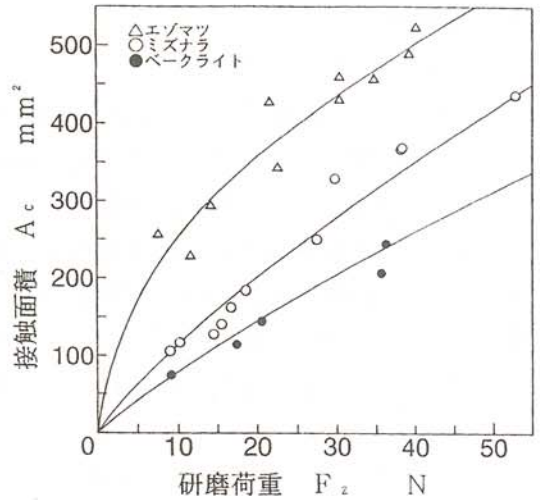


図6. 研磨荷重と接触面積の関係

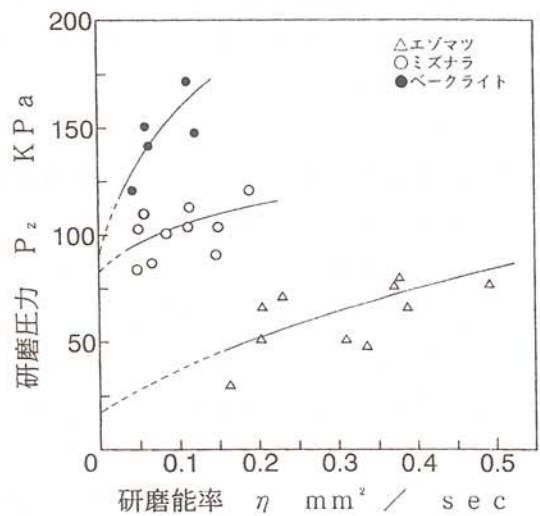


図7. 研磨能率と研磨圧力の関係

ない場合、 $m = 1$  となる<sup>1)</sup>。図より、工作物がえぞまつ、みずなら、ペークライトの順に硬くなるにつれて研磨開始圧力 $P_0$ は増加していくことがわかる。

#### 4.2 研磨性能の経時変化

木材の自動研磨システムを構築するためには工具交換時間、すなわち研磨布紙寿命に関する情報が是非とも必要となる。そこで、研磨性能の経時変化について若干の実験的検討を行った。

図8は、えぞまつ、みずなら、それぞれについて2種類の初期研磨荷重を与えて送り研磨を行い、研磨距離の増加に伴う研磨断面積の変化をプロットした結果である。いずれの場合にも、研磨距離の増加に伴い研磨断面積は徐々に減少していくこと、すなわち研磨布紙の切れ味劣化現象が認められる。

図9は、工作物送り方向研磨抵抗 $F_y$ の研磨荷重 $F_z$ に対する分力比( $F_y/F_z$ )の変化をプロットした結果である。今回の実験では「研磨荷重一定制御方式」を採用していないため研磨時間の経過に伴う研磨荷重の増加が認められたが、その分力比は図に示すように急激に減少しており研磨布紙の切れ味劣化を確認することができる。いずれにしても累積研磨距離がわずか58mmの時点で著しい研磨性能の変化が現われるようでは自動研磨システムの構築はかなり難しいものになることが予想される。今後の課題として安定した研磨性能を長時間持続できるような研磨工具の開発が望まれる。

#### 4.3 研磨布紙作業面の観察

図10(a)(b)に示す2枚の写真は、未使用の研磨布紙作業面及び初期荷重 $F_z = 17.2\text{N}$ の条件でみずならを58mmの距離だけ送り研磨した後の研磨布紙作業面を金属顕微鏡で観察した結果である。研磨前後の状態を比較すると、研磨後の砥粒数が大幅に増加していることがわかる。

図11、12は、図10に示した写真から個々の砥粒の逃げ面面積を測定し、その度数分布を作成した結果である。なお、その測定面積は $1\text{mm}^2$ とした。図より、砥粒面積密度は、研磨前後で $140\text{個}/\text{mm}^2$ から $190\text{個}/\text{mm}^2$ に増加し、砥粒面積率も13%から35%に増加していることがわかる。また、個々の砥粒面積についても、研磨前後で分布範囲は $4000\mu\text{m}^2$ から $6000\mu\text{m}^2$ まで増加し、平均値は、 $920\mu\text{m}^2$ から $1850\mu\text{m}^2$ へと2倍に増加している。

以上の結果より、前節で述べた研磨作業の経過に伴う研磨布紙の切れ味劣化現象は、砥粒

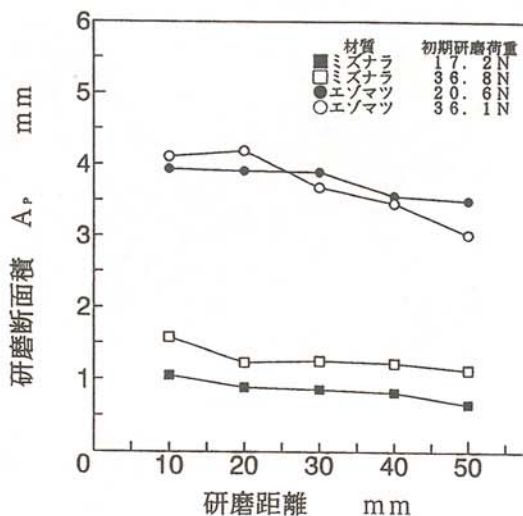


図8. 研磨断面積の経時変化

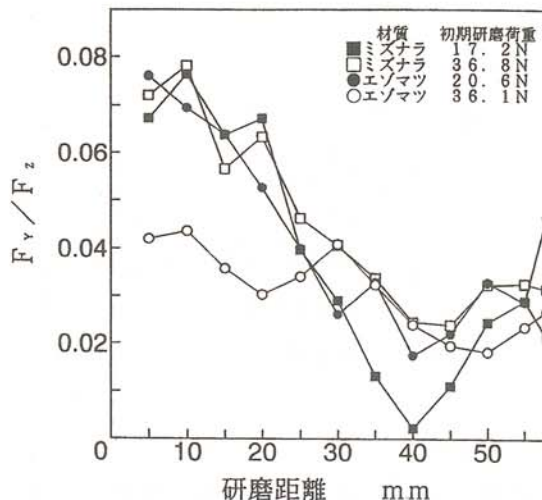


図9. 研磨分力比の経時変化



切れ刃の摩滅による逃げ面の増大、更には、新しい切れ刃の露出による有効切れ刃数の増加によるものと考えることができる。

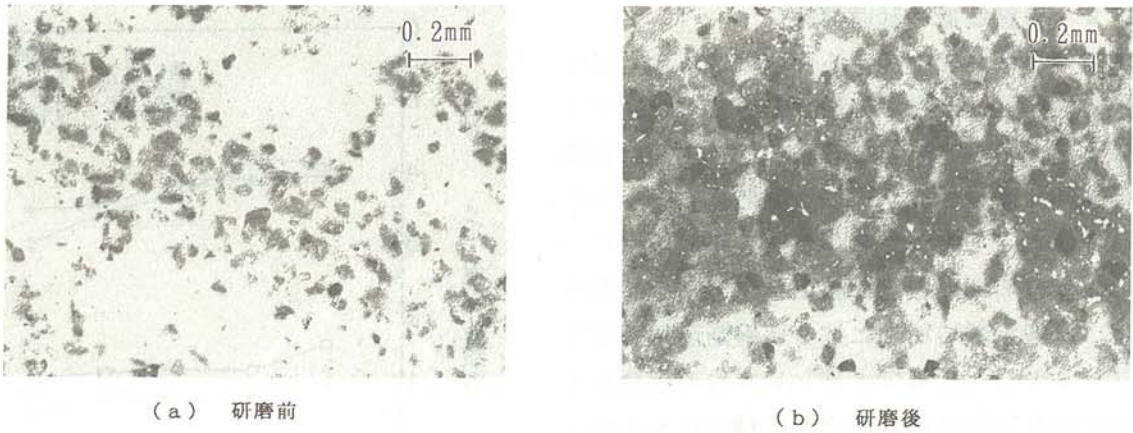


図10. 研磨布紙作業面の観察

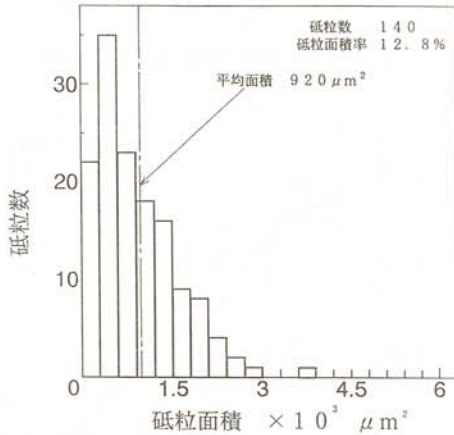


図11. 研磨前の砥粒逃げ面面積

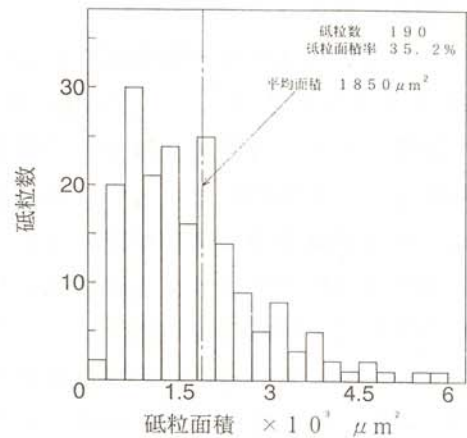


図12. 研磨後の砥粒逃げ面面積

## 5. まとめ

力覚センサによる木材のNC研磨システムを構築するための基礎的実験として、研磨布紙を用いた木材の研磨機構を実験的に解明した結果、以下の点が明らかとなった。

- (1) 工具・工作物間の接触面積は研磨荷重に対して非線形挙動を示す。同一研磨荷重下では、工作物が軟らかくなるほど接触面積は増大する。
- (2) 実験に用いたような弾性支持工具の場合、研磨圧力がある値、すなわち研磨開始圧力を超えることによってはじめて研磨作用が現われる。この研磨開始圧力は、硬い工作物ほど高い値を示す。
- (3) 研磨距離の増加に伴い研磨布紙の性能は急速に劣化する。特に、研磨分力比の低下が著しい。この現象は、砥粒逃げ面面積の増加および有効切れ刃数の増加によって生ずる。

## 参考文献

- (1) 松井正己、田牧純一：定荷重研削に関する研究（第2報）、精密機械、Vol. 47., No. 3, pp344-349, (1981).

# 景観材料用カラーセラミックス溶射皮膜の開発

## Development of Thermally Sprayed Colour Ceramics for Scenery Sight Materials

二俣 正美 (北見工業大学工学部機械システム工学科)  
富士 明良 (北見工業大学機械システム工学科)  
中西 喜美雄 (北見工業大学工学部機械システム工学科)  
鮎田 耕一 (北見工業大学工学部土木開発工学科)  
嶋下 泰久 (北辰土建株式会社)

Masami FUTAMATA(Dept.of Mechanical Eng., Kitami Inst. of Tech.)  
Akiyoshi Fuji (Dept.of Mechanical Eng., Kitami Inst. of Tech.)  
Kimio NAKANISHI(Dept.of Mechanical Eng., Kitami Inst. of Tech.)  
Koichi AYUTA(Dept.of Civil Eng.,Kitami Inst. of Tech.)  
Yasuhisa KAMOSHITA(Hokushin Civil Eng. and Construction Co., Ltd.)

Key words: colour ceramic, spraed coating, scenery sight material,  
surface treatmen, thermal sprayed coating

### 1. はじめに

成膜技術の一つである溶射法は、防錆・防食、耐熱、耐摩耗特性の改善など広範に用いられ、今日では新素材・機能材料の創製あるいは高機能表面改質技術として新規分野での応用が期待されている。

筆者らは、溶射皮膜をコンクリート構造物の耐久性の向上のみならず、同時にその色彩を意匠性の改善さらには景観物・景観材料の開発に応用するとの立場から、密着強度・耐透水性の検討など実験室内での各種試験を実施するとともに、試験施工した実構造物を対象に自然環境下での観察を系統的に行い、溶射法の適用が有効であることを明らかにした<sup>1-7)</sup>。しかし、溶射したままの金属皮膜では色の数に限界があり、また使用環境条件によっては色彩が極端に変化するものもある。そこで本研究では、溶射皮膜の耐候性の向上と多色化を目的に試作したカラーセラミックス皮膜について、促進暴露試験の結果から検討を加えている。

### 2. 耐候性試験の結果

溶射皮膜の促進暴露試験にはJIS D 0205に準拠した紫外線蛍光灯式耐候性試験機(スガ試験機、DPWL-5R型)を用いた。試験は4時間の紫外線照射、4時間の暗黒(紫外線照射停止)・湿潤(暗黒で湿度98%、温度 $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ )の8時間を1サイクルとして300サイクル(2400時間)まで行い、15サイクルごとに色彩色差計によって色差の測定を行った。

実験に供した皮膜は、表1に示す主成分を有する6種類のカラーセラミックス粉末をフレーム

溶射法によってアルミニウム基板(寸法:100×50×5mm)上に厚さ約300 $\mu\text{m}$ に被覆したものである。なお、アルミニウム、アルミニウムブロンズ、亜鉛、銅の4種類の金属皮膜について同

表1 カラーセラミックス粉末の主成分

	主成分
ホワイト	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ピンク	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Co
サーフグリーン	SiO <sub>2</sub> Ca
ロイヤルブルー	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Co
ダークグレー	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ti V Ba
チャコールグレー	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Cr Mn Fe

表2 色差の程度の基準

色差の程度の評語	ΔE*ab
極めてわずかに異なる	0~0.5
わずかに異なる	0.5~1.5
感知し得るほどに異なる	1.5~3.0
著しく異なる	3.0~6.0
極めて著しく異なる	6.0~12.0
別の色系統になる	12.0以上

一条件で対照試験を実施し、両者の比較を行った。溶射皮膜中には通常、10%程度の気孔が存在するので高分子系樹脂材料による封孔処理を必要とすることがあるが、ここでは封孔処理は行っていない。

図1に色彩の表記方法としての色調図を示す。色彩は明度L\*、色相と彩度を示す色度a\*、b\*によって表され、a\*は赤方向、-a\*は緑方向、b\*は黄方向、-b\*は青方向を意味する。色差は試験開始前・後の各皮膜表面での座標L\*、a\*、b\*値の差をΔL\*、Δa\*、Δb\*とすると、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \text{色差} &= \Delta E^* a b \\ &= \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2} \end{aligned} \quad \dots (1)$$

(1)式で求められた色差の変化は、表2のように6段階に分類して評価される。

図2に、カラーセラミックス皮膜(a)、金属皮膜(b)についての色差の変化と試験サイクル数との関係、及び、図3(a)、(b)に試験開始前と300サイクルの試験終了時における各皮膜の表面写真を示す。

図2に見られるように、色差が50サイクル前後までに急激に変化するものもあるが、それ以上のサイクルでは各皮膜ともにほとんど変化せず飽和する傾向を示している。色差の変化は、カラーセラミックス皮膜ではサーフグリーン、金属皮膜ではアルミニウムブロンズと銅で特に大きく、表2を基準とする評価ではいずれも『別の色系統』となっている。これら皮膜の色差の変化は、X線回折分析の結果から、サーフグリーンセラミックスでは粉末中のカルシウムと空气中的炭酸ガスとの反応によって白色の炭酸カルシウムを生成し、またアルミニウムブロンズと銅では酸化反応によって黒色化したことが原因と判断される。一方、ホワイト、ピンク、ロイヤルブルー、ダークグレー、チャコールグレーの各セラミックス皮膜、及びアルミニウム、

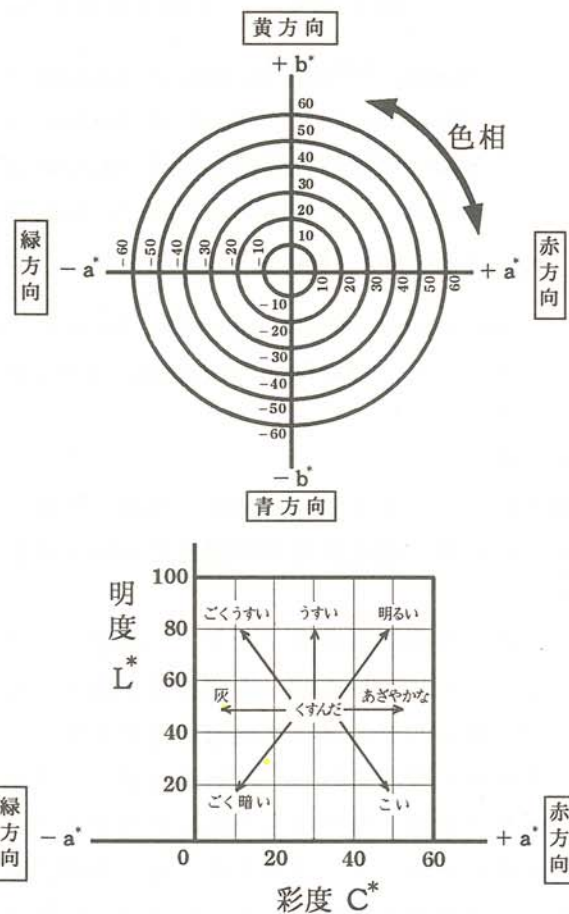


図1 色調図

亜鉛皮膜については、明度の変化が比較的大きいことによって色差自体には変化が現れているが、色度及び色系統についての大きな変化はなく、したがって有望な景観材料の一つと考えられる。

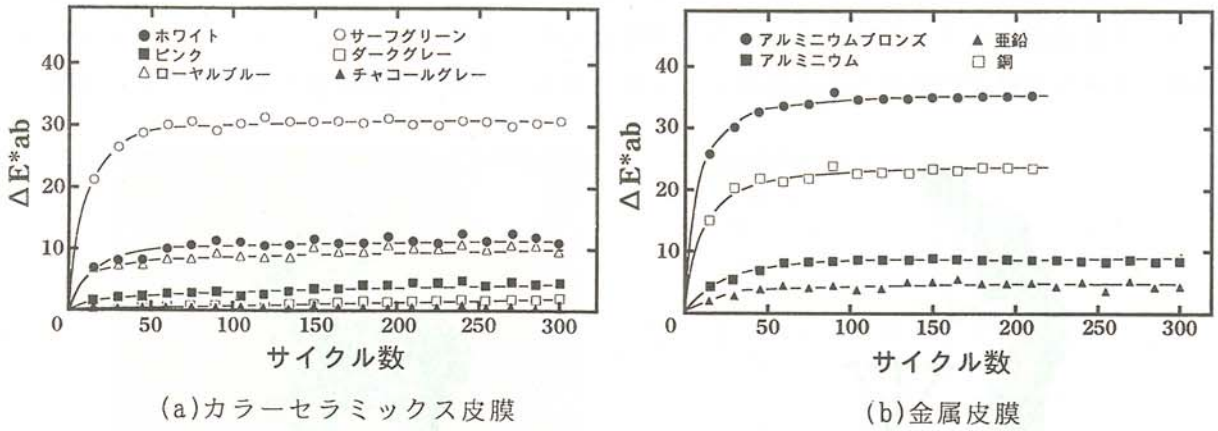


図2 皮膜の色差の変化

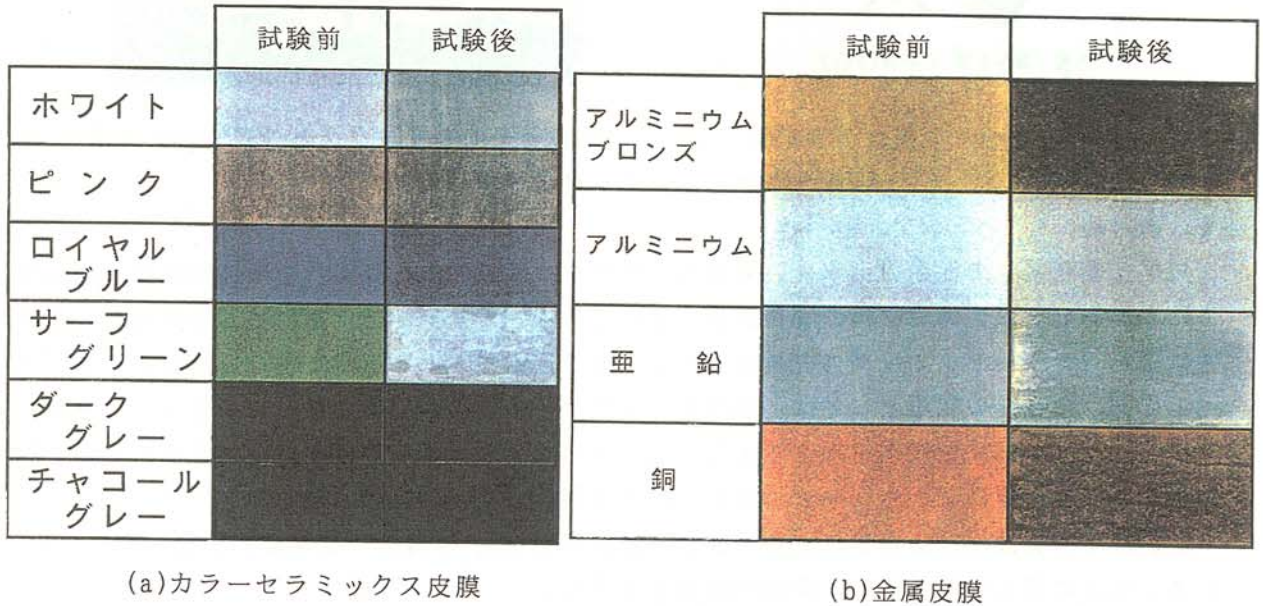


図3 試験前と300サイクル試験後の色の变化

実験で使用した紫外線蛍光灯式耐候性試験機から照射される光は、図4に示すように太陽光に比べ紫外線領域での強度が極度に大きい。このため、例えば300サイクル試験の結果が自然環境下での何年分に相当するかについては一概にいえないが、純銅板についての対照試験では50サイクルの時点で既に全面が真っ黒に変化することから、少なくとも10年単位の期間と考えることができる。

### 3. カラーセラミックス皮膜の応用

コンクリート板（寸法：300×300×50

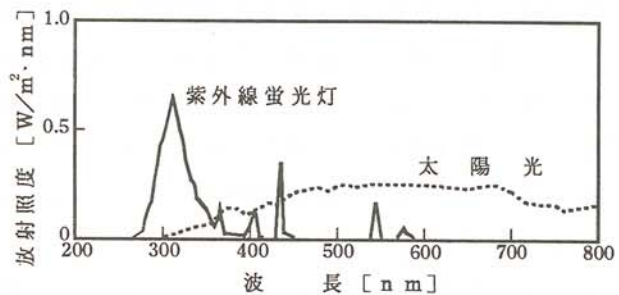
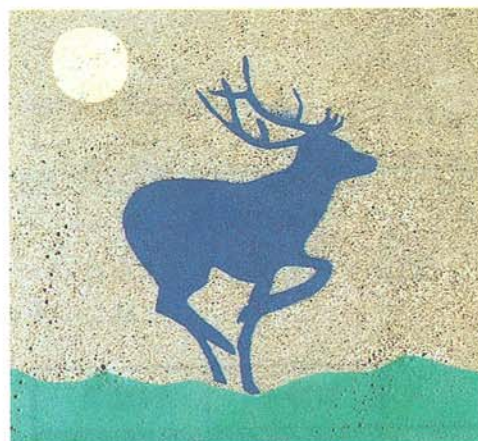


図4 紫外線蛍光灯式耐候性試験機の光の強度

mm) に、カラーセラミックス皮膜で図柄を描いた例を図5に示す。(a)はローヤルブルー、ピンク、ダークグレー、サーフグリーンの各セラミックス皮膜、(b)はローヤルブルー、サーフグリーンの各セラミックス皮膜とアルミニウムブロンズ皮膜を併用している。カラーセラミックス皮膜は、金属皮膜と同様、かなり細かな部分にも施工が可能であり、色数も10種類以上を得ており、金属皮膜と併用すれば色彩はさらに豊富なものとなる。また、コンクリートのみならず、金属、木材など種々の基材への現地施工も可能であり、土木・建築分野での応用が期待できる。



(a)カラーセラミックス皮膜



(b)カラーセラミックスと金属皮膜の併用

図5 カラーセラミックス材料の施工例

#### 4. まとめ

規格と機能重視の従来の土木・建築物用材料から、地域特性と調和した個性的景観を創出するにふさわしい景観構成材料の開発が求められている。本研究では、溶射技術を応用した耐候性に優れたカラーセラミックス皮膜を試作し、その適用が大いに期待できることを示した。実用化に向けた今後の課題としては、基材がコンクリートの場合にはエフロレッセンス（白華）の防止対策、凍結・融解作用による劣化が生じる寒冷地では耐候性に優れた封孔剤の選定・開発が必要であり、なによりもユーザの溶射に対する理解が不可欠と思われる。

なお、本研究は文部省科学研究費補助金（試験研究(B)、平成5～7年度）を受けて行われている。ここに期して関係各位に深甚の謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 二俣正美、中西喜美雄：溶射法によるコンクリートの表面改質について、溶接学会全国大会講演概要第41集、PP.226-227、(1987)。
- 2) 二俣正美、富士明良、中西喜美雄、鮎田耕一、鴨下泰久：溶射法によるコンクリートの表面改質について（第2報）、溶接学会全国大会講演概要第43集、PP.326-327、(1988)。
- 3) 二俣正美、富士明良、中西喜美雄、鮎田耕一、鴨下泰久：コンクリートへの溶射皮膜の形成とその耐久性に関する研究、寒地技術シンポジウム'88講演論文集、PP.479-484、(1988)。
- 4) 二俣正美、富士明良、中西喜美雄、鮎田耕一、鴨下泰久：溶射法によるコンクリートの表面改質について（第3報）、溶接学会全国大会講演概要第47集、PP.264-265、(1990)。
- 5) 二俣正美、中西喜美雄、富士明良、鮎田耕一、鴨下泰久：溶射技術の景観物・景観材料開発への応用、寒地技術論文・報告集、Vol.10、pp.701-705、(1994)。

# 住宅用光発電—新型蓄電池機能付 系統連系システムの研究開発

Study on Grid Connected Photovoltaic System for Domestic Building  
with Newly Developed Batteries

山城 迪 (北見工業大学電気電子工学科)  
仲村宏一 (北見工業大学電気電子工学科)  
手塚博文 (京セラ (株) ソーラーエネルギー事業部)  
柿添重光 (京セラ (株) ソーラーエネルギー事業部)

Susumu YAMASHIRO (Kitami Institute of Technology)  
Koichi NAKAMURA (Kitami Institute of Technology)  
Hirofumi TEZUKA (Kyosera Corporation)  
Shigemitsu KAKIZOE (Kyosera Corporation)

Key words: solar enegy, photovoltaics, grid connected PV, economic estimation

## 1. まえがき

資源・エネルギーセキュリティの確保、環境対策など、わが国が抱える重要課題への対処において太陽光発電 (PV) への期待は年々高まってきているが、経済性の点で以前として難点があり、その普及が遅れているのが現状である。

このような状況下で、1994年度より、光発電の余剰電力を系統に送電する逆潮流が認められ、売電による経済的メリットを取入れた住宅用PVシステムの導入・促進が図られる機運にあるが、蓄電池を備えた住宅用PVシステムの経済性に関する研究報告例はほとんど見当たらない。

本研究では、昨年度の研究成果を踏まえて、蓄電池機能付き住宅用PVシステムの経済性およびエネルギー効率評価の観点から、システム内でのエネルギーの流れを量的・時間的に制御する運用方式と経済評価方式を導き、かつ、年間を通したPVシステムのシミュレーションによる検討結果についての概要を報告する。

## 2. 住宅用PVシステムの構成と運用方式

逆潮流による系統への売電と夜間帯での系統からの買電を行う住宅用PVシステムは、一般に、太陽電池、直流-交流変換装置、電力貯蔵装置としての蓄電池によって構成されるが、ここでは、図1に示す二通りのシステム構成を考えている。

これらのPVシステムに対して、一日の運転時間帯を、昼間帯 (7:00 - 23:00) と夜間帯 (23:00 - 7:00) とに区分し、以下の運用条件を満足する運用を考える。即ち、

(1) 住宅負荷へはPVシステムと系統から電力を供給し、PVアレイの出力が負荷を上回る場合は余剰電力として系統へ売電する。

(2) 蓄電池は所定の放電深度範囲内で運用可能とし、PV出力が負荷より小さい場合は不足分を補うように放電する。また、夜間帯終了時点では満充電状態になっているように充電する。ただし、昼間帯では系統からの充電は行わない。

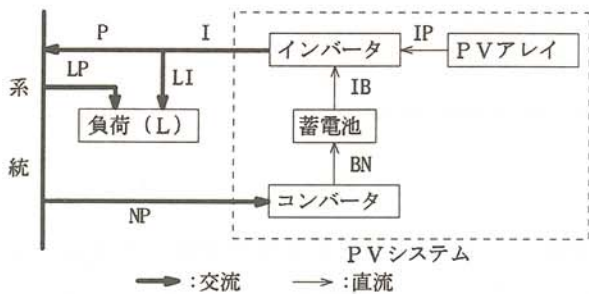
この運用条件を満足する運用方式を「運用1」とし、これは図1-(a)に対応する。

一方、図1-(b)のシステムについては、運用条件(1)、(2)に加えて、

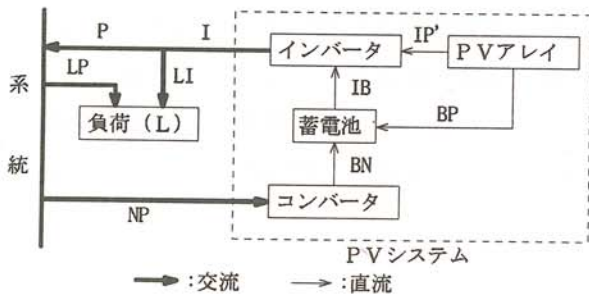
(3) PVアレイからの蓄電池への充電は原則として行わない。

を条件とし、このような運用を「運用2」とし、これは図1-(b)に対応する。

これら二つの運用の詳細は、図2、図3にそれぞれ要約することができる。

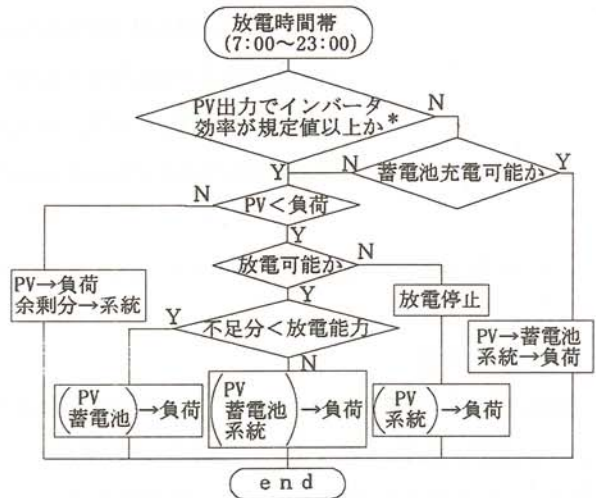


(a) PVからの充電なしの場合 (運用1)



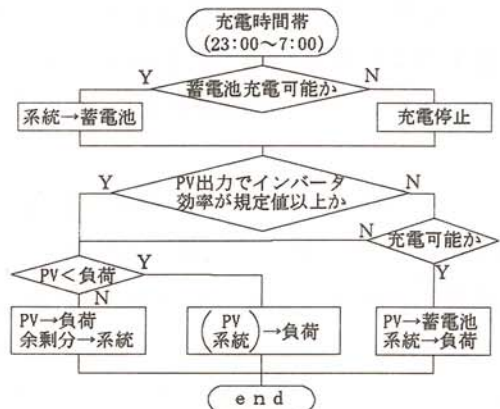
(b) PVからの充電ありの場合 (運用2)

図1 住宅用PVシステムの構成



\* 運用1の規定値は0%とする。 ※ →は電力の流れを表す。不足分=負荷-PV。

図2 昼間帯 (放電時間帯) の運用



※ →は電力の流れを表す。

図3 夜間帯 (充電時間帯) の運用

### 3. PVシステムの経済性およびエネルギー効率の評価

太陽電池をはじめとするPVシステムの構成要素は耐用年数が長く、システム建設時に投入された費用の回収期間も長期にわたることになる。従って、PVシステムの経済性を評価する際には、利子率などに依存する時間的要素を考慮して、システムの建設や運転に係る毎年の経費を現在時点等に換算して評価するなどの方法が必要である。

#### (a) 住宅用太陽光発電システムの均等化発電コスト

ここでは、PVシステムの単位出力当たりの現在価値により、システムの建設コストを評価し、かつ、系統からの買電量の減少や逆流による売電量など運用上のメリットによる発電コスト低減効果も考慮した経済評価の算定式を導いた。即ち、消費電力L (kWh) の住宅負荷からみた、システムの均等化発電コストは次のようになる。

$$\bar{R} = \frac{\bar{\delta} \cdot LI + \bar{\gamma}_2 \cdot LP}{L} \quad (\text{円/kWh}) \quad (1)$$

ここで、LIは図1で示す、PVシステムから住宅負荷への電力供給量で、LPは系統から負荷への供給量である。なお、詳細については文献(1)を参照されたい。

#### (b) 蓄電池導入の経済性評価

現在稼動中の逆流可能な住宅用PVシステムは、蓄電池を設置していないが、これは、蓄電池の価格や保守費などの経済性の面から導入の可能性が薄いことによるものと思われる。しかしながら、安定した電力供給源としてPVシステムが機能するには、蓄電池をはじめとする電力貯蔵装置の導入が必要であり、蓄電池導入のための経済的設置容量に関する条件を導いた。

$$E = \left( \frac{NP \cdot \eta_c \eta_{bc}}{365} \right) \cdot \left( \frac{1}{\beta} \right) = \frac{\eta_c \eta_{bc} \{C_{B4} + [C_{\alpha}]_{B4}\}}{365 \cdot \beta (\gamma_2 \cdot \eta_c \eta_b \eta_l - \gamma_3) \sum_{k=1}^n \left( \frac{1+r}{1+i} \right)^k} \quad (2)$$

詳細は文献(1)に譲るとして、上式から、蓄電池導入の経済性は、蓄電池の設備費、保守費、耐用年数、利子率、売電電力価格、蓄電池の許容充電範囲、周辺構成機器の効率など、多数の要因に依存することになる。

#### (c) エネルギー効率の評価

エネルギー有効利用の面から運用方式の評価を行うために、PVシステムのエネルギー効率を図1に対して次のように定義した。

$$\eta = \frac{I}{NP + IP} \times 100(\%) \quad (3)$$



#### 4. シミュレーション結果

一年間を夏期，冬期，およびその中間期の3期間に分け，図4の負荷およびPV出力を想定した運用のシミュレーションを行った．表1は住宅用PVシステムに用いた各種データである．

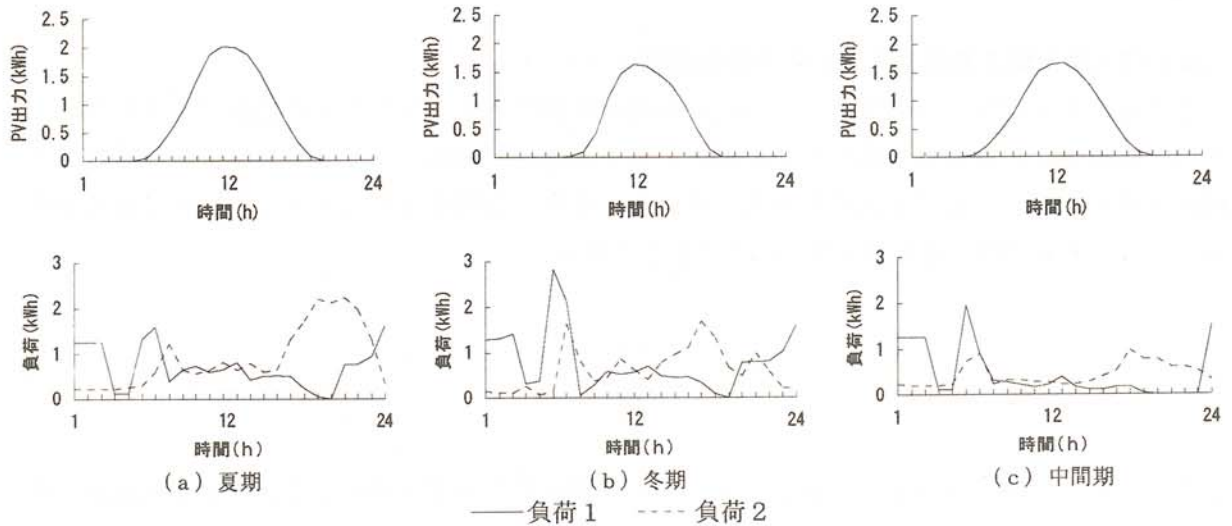
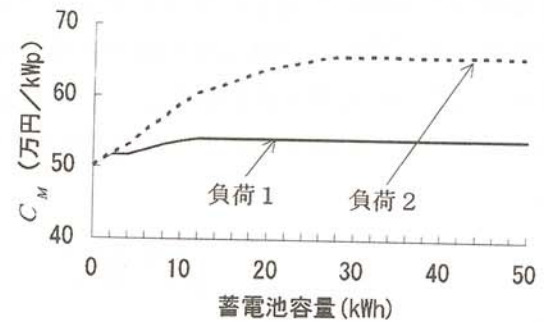


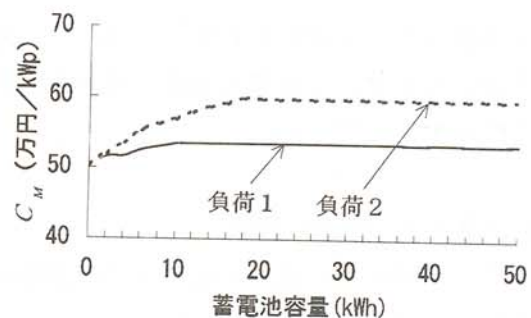
図4 PV出力特性（3 kW）および住宅負荷

表1 システムデータ一覧

項目	値
PVモジュール価格	$60 \times 10^3$ (円/ $m^2$ )
BOSの面積比例コスト	$20 \times 10^3$ (円/ $m^2$ )
BOSの出力比例コスト	$200 \times 10^3$ (円/kWp)
蓄電池設置コスト	$15 \times 10^3$ (円/kWh)
保守費比率( $\alpha$ )	2 (%)
利子率( $i$ )	6 (%/年)
エスカレーション率( $e$ )	2 (%/年)
蓄電池コスト上昇率( $r$ )	2 (%/年)
残存価値率( $s$ )	0.1
蓄電池充放電効率( $\eta_b$ )	81 (%)
蓄電池充電効率( $\eta_{sc}$ )	88 (%)
蓄電池放電効率	92 (%)
コンバータ効率	92 (%)
PVアレイの面積	10 ( $m^2$ /kWp)
商用電力単価( $\gamma_2$ )	24 (円/kWh)
売電単価(逆潮流)( $\gamma_1$ )	24 (円/kWh)
深夜電力単価( $\gamma_3$ )	8 (円/kWh)
蓄電池運用範囲	残存容量 (40%~90%)



(a) PV定格3.0(kWp)：運用1の場合



(b) PV定格3.0(kWp)：運用2の場合

図5 運用上のメリット（現在価値： $C_M$ ）

図5に、PVシステムからの逆潮流による売電等の運用上のメリットを、また、PVシステムの均等化発電コストを図6に示す。例えば、図6を見ると、運用期間20年の均等化商用電力コストが29.4(円/kWh)に対して、住宅用PVの発電コストは売電によるメリットを考慮しても約3倍程度と高価であることが分かる。従って、住宅用PVが商用電力と経済的に競合するためには、現在の価格を約1/3まで低減することが必要となる。

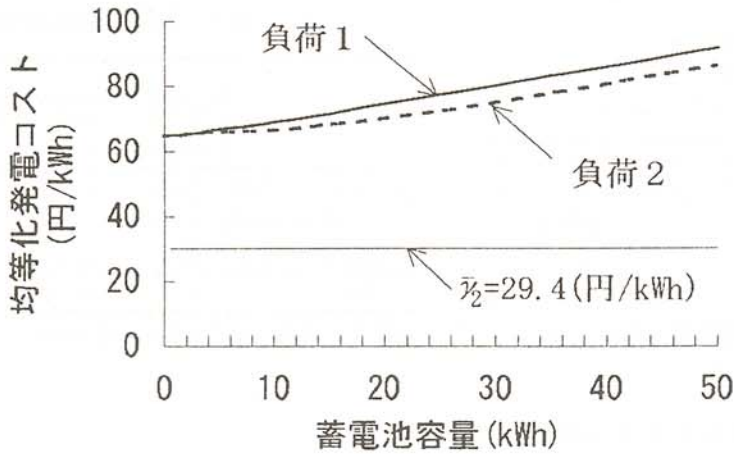


図6 均等化発電コスト (PV定格: 3KW)

一方、蓄電池導入の経済性は現状では、ほとんど採算が採れないが、仮に蓄電池設置コストを現状のおよそ1/2の1万円/kWhとすると、導入に際する経済的分岐点となる設置容量は表3のようになる。例えば、負荷2で3kWpのPVアレイを用いる場合、蓄電池導入による経済効果が表れるためには、蓄電池の設置コストは、 $11.5 \times 10^3$ 円/kWh以下でなければならないという結果になった。

表3 蓄電池設置容量の経済的分岐点 (運用1)

PV定格 (kWp)	負荷1 5266 (kWh/年)	負荷2 5266 (kWh/年)
2.0	2.8	13.3
3.0	2.3	12.3
4.0	0.9	11.5
5.0	0.7	10.9

(注: ここでは蓄電池設置コストを $10 \times 10^3$ 円/kWhとして試算した.)

最後に、PVシステムのエネルギー効率とエネルギーフローの一例を図7および表4に示す。図7から、深夜電力の利用量の少ない負荷1の方が効率よく、また運用方式の点からみると、PV出力を一部蓄電池に貯える「運用2」の方が効率が高い。表4からは、住宅負荷の約31%はPVアレイから、43%は系統から直接、また、22%が蓄電池を経由して電力供給されることが分かる。また、PV出力の49%が系統への売電に、41%が負荷へ流れている（「運用2」の場合）。

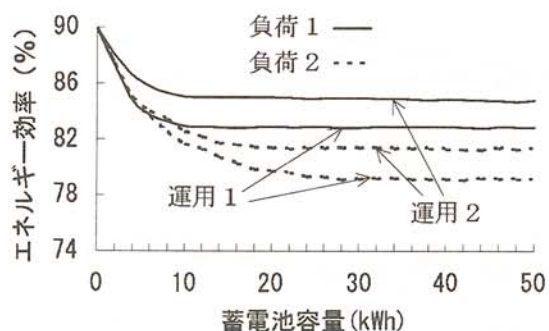


図7 システムのエネルギー効率

表4 負荷への供給電力

項目	運用1		運用2	
	電力量 (kWh/年)	比率 (%)	電力量 (kWh/年)	比率 (%)
PVアレイ→負荷	1840	34.9	1849	35.1
系統→負荷	1949	37.0	2284	43.4
深夜電力→負荷	1477	28.1	1133	21.5
負荷(L)	5266	100.0	5266	100.0

(注: PV定格3kWp, 蓄電池容量10kWh, 負荷2の場合)

## 5. おわりに

逆流可能な住宅用太陽光発電システムの運用方式と経済評価法を開発し、かつ、システムのエネルギー効率に関する評価・検討を行った。シミュレーション結果を要約すると、

- (1) 経済性の面では、PVアレイ出力を蓄電池に貯えない「運用1」が、また、エネルギー効率の面では、貯える「運用2」が優れている。
- (2) 系統への売電や系統からの買電節約を考慮した運用上のメリットにより、PVシステムの発電コストはこれらのメリットを考慮しない場合に比べ、約42%程度安くなる。
- (3) 均等化発電コストによって、商用電力とPVシステムの経済性を比較すると、現状ではPVの導入には無理があり、およそ1/3の価格低下が必要である。

本研究は、昨年度からの継続として行われたものであり、システム解析結果の検証試験を地域共同センター大実験室で実施中であり、その結果については別の機会に報告したい。

## 参考文献

- (1) 山城迪, 小山貴之, 仲村宏一, 手塚博文, 柿添重光: 蓄電池機能を有する住宅用太陽光発電システムの運用と経済評価, 電気学会論文誌 Vol. 116-B, No. 11, (1995, 掲載予定)。
- (2) 京セラ(株) ソーラーエネルギー事業部: 「太陽エネルギーへの挑戦」, 清文社。(1994)。

# 目 次

## 客員教授論文

- 工業用純Ti摩擦圧接継手境界部の硬さ特性と超音波伝搬特性  
岩館忠雄（（株）日本製鋼所 研究開発本部 技術研究所長）・・・ 1
- 太陽熱利用地下蓄熱に関する実用化開発  
大城英行（シロキ工業（株）ソーラー事業本部副本部長 ソーラー技術部長）・・・ 7

## 共同研究

### 区分A

- 真空二重ガラス管を素材とする新ソーラーシステムの開発  
金山公夫・馬場弘・遠藤登・梅津将広・川上英樹・趙春江・・・ 11
- 連続バイオリクターによるたまねぎ食酢製造のスケールアップ技術開発  
小林正義・菅野亨・山口文・富田弘毅・斉藤貴則・堤平・・・ 17

### 区分B

- コンクリート製品の高品質化に関する研究（第2報）  
鮎田耕一・桜井宏・藤村満・・・ 23
- コンクリートの合理化施工に関する研究（第2報）  
鮎田耕一・桜井宏・佐々木元・・・ 27
- 積雪寒冷地における通年施工に関する研究（第2報）  
鮎田耕一・桜井宏・水元尚也・・・ 33
- 氷海域海洋コンクリート構造物の耐久設計と  
耐凍害性向上に関する研究（第2報）  
鮎田耕一・桜井宏・木村伸之・・・ 39
- 知的教育支援システムの研究  
ー演習用プログラム作成支援システムNICEー  
大鎌広・阿部祐樹・藤原祥隆・後藤寛幸・松西年春・・・ 43
- 省エネルギータイプロードヒーティングの開発  
菅原宣義・保苺和雄・土方正範・熊谷親・小家正善・・・ 49
- 地盤の凍上対策に関する研究  
鈴木輝之・沢田正剛・山下聡・鹿毛学・・・ 53
- 力覚センサを利用したNC研磨技術  
二俣正美・田牧純一・鎌田英博・・・ 59
- 景観材料用カラーセラミックス溶射皮膜の開発  
二俣正美・富士明良・中西喜美雄・鮎田耕一・鴨下泰久・・・ 65
- 住宅用光発電ー新型蓄電池機能付系統連系システムの研究開発  
山城迪・仲村宏一・手塚博文・柿添重光・・・ 69

## ※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。

北見工業大学 地域共同研究センター  
研究成果報告書 第2号

---

発行日 平成7年7月1日

編集 北見工業大学地域共同研究センター  
運営委員会・編集小委員会

委員長 鮎田耕一（地域共同研究センター長（併）・土木開発工学科）

委員 内島邦秀（土木開発工学科助教授）

馬場 弘（機械システム工学科助教授）

宇都正幸（地域共同研究センター助教授）

発行者 北見工業大学地域共同研究センター  
北海道北見市柏陽町603番地

TEL 0157-26-4161

FAX 0157-26-4171

印刷 (株) 北 海 印 刷

---