

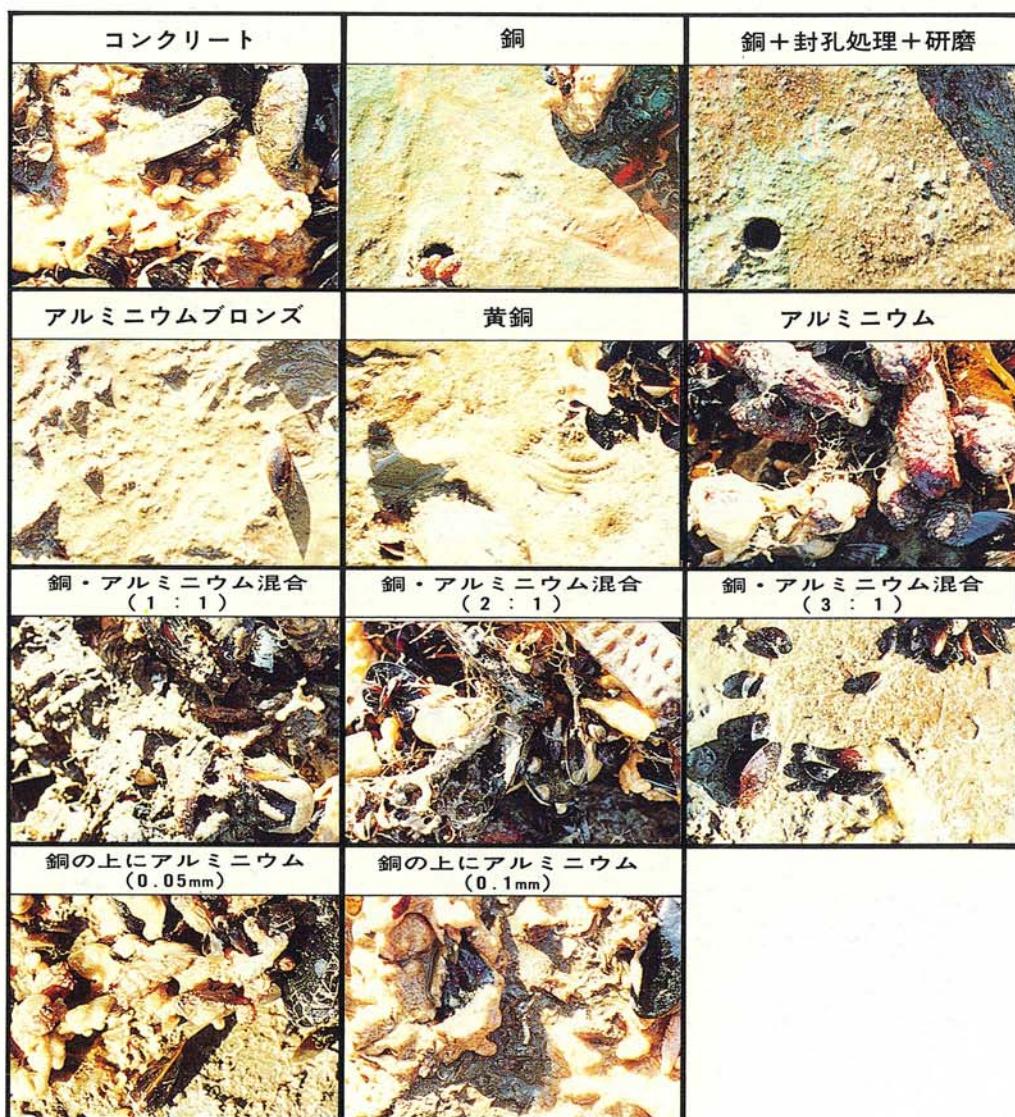
北見工業大学 地域共同研究センター 研究成果報告書

第1号

MEMOIRS OF THE COOPERATIVE RESEARCH CENTER
KITAMI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

NO.1

1994



北見工業大学地域共同研究センター

表紙写真の説明：共同研究「景観材料及び水中生物付着防止への溶射法の応用」

写真は、水中生物の付着が溶射皮膜の材質に対し極めて選択性的であることを示す一例であり、銅系皮膜への付着が著しく少ない。本研究の成果は、使用禁止された有機スズ系化合物に代わる新しい技術として、海洋固定構造体・移動体等広い分野での応用が期待されている。（本文83ページ参照）

目 次

区分A

ソーラーカーの性能向上に関する研究	金山公夫・坂本弘志・常本秀幸・山城迪・馬場弘・沢田正剛・遠藤登・手塚博文	… 1
実構造物を集熱面とするソーラーシステムの研究開発	…………… 金山公夫・二俣正美・馬場弘・遠藤登・鴨下公一・佐藤俊明	… 7
自然対流による集熱・暖房システムの寒冷地技術の開発	…………… 金山公夫・馬場弘・遠藤登・東誠之	… 13
食品用気液透過制御機能性膜の研究開発	…………… 小林正義・花田勝敏・菅野亨・高橋誠恵・長内伸一	… 19

区分B

コンクリート製品の高品質化に関する研究	…………… 鮎田耕一・桜井宏・藤村満	… 25
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	…………… 鮎田耕一・大島俊之・桜井宏・木村伸之	… 31
積雪寒冷地における通年施工に関する調査研究	…………… 鮎田耕一・鈴木輝之・大島俊之・桜井宏・水元尚也	… 37
コンクリートの合理化施工に関する研究	…………… 鮎田耕一・桜井宏・佐々木元	… 43
常呂川水系水質調査研究	… 伊藤純一・小俣雅嗣・桜田剛・松崎健一・岡田和広	… 49
公害防止調査研究	… 伊藤純一・小俣雅嗣・桜田剛・松崎健一・岡田和広	… 55
磁気処理法による水道用鋼管の防錆・防食	… 海老江邦雄・大越嘉一	… 59
ソーラーエネルギーによる河川浄化装置の開発	…………… 金山公夫・馬場弘・遠藤登・斎藤正典・森本晴夫・熊谷毅生	… 65
衛星データによる北方領土四島の自然環境調査—ランドサット TMデータによる土地被覆分類—	… 佐渡公明・広田昌一・大原健一	… 71
溶射法の応用による木材の表面改質	… 二俣正美・富士明良・中西喜美雄・伊藤廣	… 77
景観材料及び水中生物付着防止への溶射法の応用	…………… 二俣正美・富士明良・中西喜美雄・鮎田耕一・鴨下泰久	… 83
住宅用光発電—新型蓄電池機能付系統連係システムの研究開発	…………… 山城迪・仲村宏一・手塚博文・柿添重光	… 89

※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。

ソーラーカーの性能向上に関する研究

Cooperative Study on Improving the Performance of a Solar Car

金山公夫 (北見工業大学工学部機械システム工学科)
坂本弘志 (北見工業大学工学部機械システム工学科)
常本秀幸 (北見工業大学工学部機械システム工学科)
山城 迪 (北見工業大学工学部電気電子工学科)
馬場 弘 (北見工業大学工学部機械システム工学科)
沢田正剛 (北見工業大学工学部土木開発工学科)
遠藤 登 (北見工業大学工学部機械システム工学科)
手塚博文 (京セラ株式会社)

Kimio KANAYAMA (Dept. of Mech. Eng., Kitami Inst. of Tech.)
Hirosi SAKAMOTO (Dept. of Mech. Eng., Kitami Inst. of Tech.)
Hideyuki TUNEMOTO (Dept. of Mech. Eng., Kitami Inst. of Tech.)
Susumu YAMASIRO (Dept. of Elect. Eng., Kitami Inst. of Tech.)
Hiromu BABA (Dept. of Mech. Eng., Kitami Inst. of Tech.)
Seigo SAWADA (Dept. of Civil Eng., Kitami Inst. of Tech.)
Noboru ENDOH (Dept. of Mech. Eng., Kitami Inst. of Tech.)
Hirofumi TEZUKA (KYOCERA CORPORATION)

Key words:solar energy, PV-cell, performance, solar car

1. まえがき

1988年から3年間、北見工業大学と京セラ株式会社が「高性能太陽電池式電気自動車（ソーラーカー）の研究開発」をテーマに共同研究を実施し、3台の競技用ソーラーカーを作成し、国内外のソーラーカー大会に出場して公式な性能評価を得てきた。その後平成3年度および平成4年度にはこれらのソーラーカーの性能向上を目的に、さらに2年間共同研究を継続し、「ソーラーカーレース鈴鹿'92」に参加することを目標に、コース状況、日射量および改良後の車の諸元等から走行モードおよび性能を事前にシミュレーション計算を行なって、性能の予測と走行のための目安を得ることとした。その結果と実際の競技における周回当たりの所要時間および走行速度との比較、検討を行なった。対象となったソーラーカーは1号機「SEV-1」と3号機「Blue Eagle」の2台で、主な改良点は大会規約に合わせた変更のほか、車体や足周りの補強と太陽電池、制御系統の性能向上およびそれによってもたらされる重量増は部品装置の軽量化で相殺するよう工夫した。

2. 性能向上対策

性能向上のために以下のような対策を行なった。SEV-1は①Todayクラスのカテゴリーに入るため鉛電池用いることを義務付けられ、重量がこれまでのNi-Zn電池($1.55 \times 12 = 18.6\text{kg}$)の約4.5

倍の84kgに増加した。②これを補うため従来の試作の制御装置すなわちMPPTおよびモータードライバーのマイクロ化および回路の改善によって寸法を縮小し、重量を1/4の5kgに軽量化した。③耐荷重性を増大させるためにフレームの補強に心がけ、特に前輪車軸の片持ぱり支持にアーチ型アームを付加して補強した。④重量増によって全体に車体が沈み、車高が規定の1mを切ったので、キャノピーの膨らみを増し、頭部を高くした。Blue Eagleに関しては、①既に4000kmの走行履歴があり、アルミフレーム、および足周りが老朽化したのでフレームの溶接ヶ所の点検、補強を行ない、②モータードライバーに回生回路を組み込み下り坂等での惰性走行時に限界速度を超えた場合の制動エネルギーの回収を行なった。

3. レースの概要

公表された大会規定のうち主なものを以下に示す。(a) Todayクラス(限定クラス)：ソーラーパネルの総発電量が800kW以下で鉛蓄電池を搭載したものと、(b) Tomorrowクラス(自由クラス)：車体サイズは全長6m以下で車幅2m以下、高さ1~1.6m、車体重量は350kg以下である。蓄電池はTodayクラスが2kWh(1時間率)以下の鉛蓄電池、Tomorrowクラスが2kWh(1時間率)以下であればタイプは自由。レースは2日間で述べ10時間の耐久レースで、決勝の第1日目の8月8日(土)は第1ヒート9:00~11:00の2時間、第2ヒート13:00~16:00の3時間、第2日目の8月9日(日)第3ヒート9:00~12:00の3時間、第4ヒート13:00~15:00の2時間である。鈴鹿サーキット国際レーシングコースは図1に示すように22ヶ所に大小曲率のカーブがあり、最大7.8%の登り勾配を持つ非常に変化に富んだコースである。シミュレーションではコース1周を幾つかの区間に分け、区間毎に距離、勾配、曲率半径、曲がる方向を図から読み取ってコースデータとする。

4. 計算方法

走行モードのシミュレーション計算の方法は前回¹⁾と同じであるが、異なる点は次の4点である。すなわち、1) レギュレーションに合わせてソーラーカーは改造されていること、2) スピードレースでなく、一定時間内の耐久レースであること、3) レーシングコースのためカーブが多いこと、および4) 日射量のほか、カーブでのバンクなどのコースに関する詳細なデータが不足していることである。

4. 1 日射量と発電量

気象庁月報により、名古屋の過去10年間の8月1日~15日の日照時間から、経験式を用いて水平面全天日射量および法線面直達日射量の1日平均値を算出する。日射量の月平均値をH_{HT}およびH_{ND}を太陽高度で比例配分して時間平均値I_{HT}およびI_{ND}を求めて日射データとする。

一方、ソーラーパネルはソーラーカーの上部に曲面で張りつけられており、場所により傾斜角が異なるのでこれを幾つかに分割し、各要素について入射する日射量を算出する。その際、ソーラーカーは方位角α、勾配sの道路を走行するとすると、パネル要素は座標変換によって水平面に対する傾斜角θ'および真南に対する方位角α'を求めて、これへの傾斜面日射量を求ることになる。図2にSEV-1およびBlue Eagleの平面図、分割されたパネル要素およびそれとの傾斜角と方位角を示す。

よって、パネルに入射する傾斜面日射量I_Pは、要素への入射量をI_{PJ}とすると

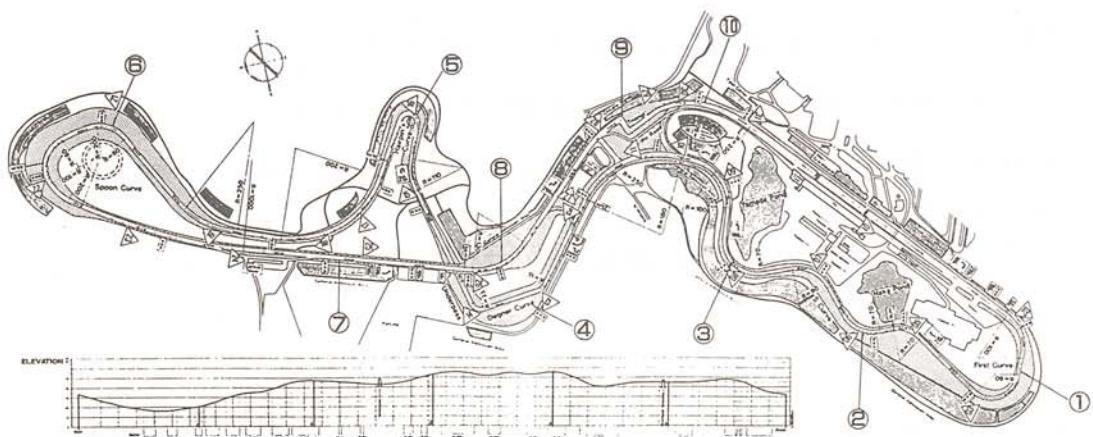


図1 鈴鹿サーキットコース (1周5.864km)

SEV-1

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta (^{\circ})$	11	5	0	24	18	6	8	18	24	12
$\beta (^{\circ})$	0	0	0	-90	-90	180	180	90	90	180
AR(m)	0.96	0.32	0.02	0.16	0.16	0.32	0.32	0.16	0.16	1.26

BLUE EAGLE

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
$\theta (^{\circ})$	20	20	8	8	4	4	0	0
$\beta (^{\circ})$	90	-90	90	-90	90	-90	180	180
AR(m)	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	0.70	0.73

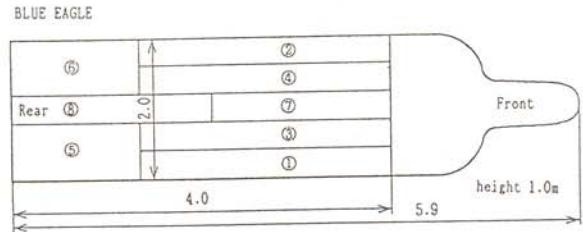
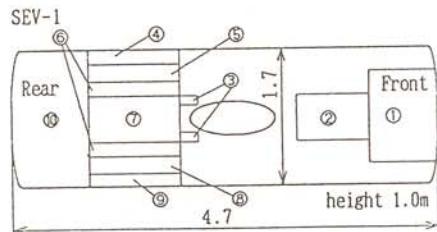


図2 ソーラーカーおよび太陽電池アレー各要素の形状と寸法

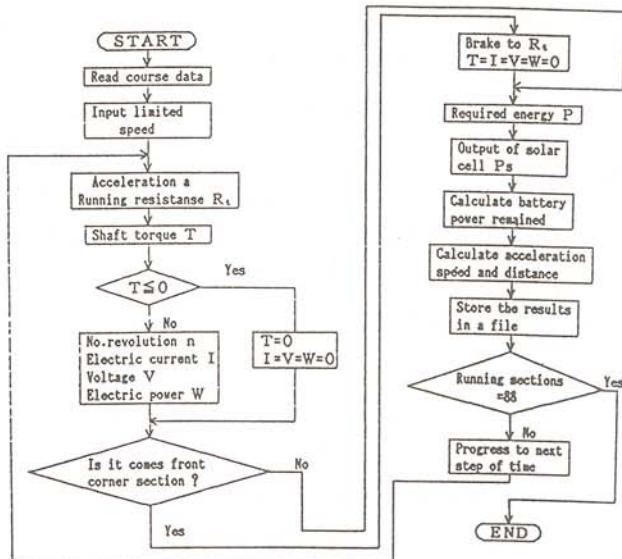


図3 計算のフローチャート

$$I_P = \sum I_{PJ} \quad (1)$$

$$I_{PJ} = I_{ND} \cdot \cos i + (I_{HT} - I_{ND} \cdot \sin h)(1 + \cos \theta')/2 \quad (2)$$

$$\cos i = \sin h \cdot \cos \theta' + \cos h \cdot \sin \theta' \cdot \cos(A - \alpha') \quad (3)$$

ここで、 I_{HT} :水平面全天日射量 W/m^2 , I_{ND} :法線面直達日射量 W/m^2 , h :太陽高度 $^\circ$ 、 A :太陽方位角 $^\circ$ 、 i :パネル要素の法線と日射の入射方向とのなす角 $^\circ$ 。したがって、発電量 $G(W)$ はソーラーパネルの要素面積を $A_{RJ}(m^2)$ 、発電効率を η_P とすると式(4)で得られる。

$$G = \eta_P \sum I_{PJ} \cdot A_{RJ} \quad (4)$$

4. 2 走行エネルギー

走行中にソーラーカーに作用する全走行抵抗 $R(N)$ は、ころがり抵抗 R_r 、加速度抵抗 R_g 、登坂抵抗 R_c 、空気抵抗 R_a の和である。いま鈴鹿のような大小多くのカーブで構成されたコースにおいては、コーナリングフォースを考慮しなければならないが、曲線通過時の遠心力を打ち消すようにバンクが設けられているので、この分は無視してよい。しかし、小曲率のコーナーにおいては安全走行のためブレーキを掛けて20km/h程度に減速しなければならない。
すなわち

$$R = R_r + R_g + R_c + R_a \quad (5)$$

車が走行するためにはこの抵抗に打ち勝つだけの駆動力 $F_3(=R)$ が必要である。故に走行のための所要エネルギー $P_t(W)$ は

$$P_t = \frac{F_3}{\eta_t} = \xi_r \cdot \frac{T_m \cdot V}{r_t} \cdot \frac{\eta_d}{\eta_t} \quad (6)$$

ここで、 T_m :モーター軸トルク $N \cdot m$ 、 r_t :タイヤ半径 m 、 ξ_r :歯数比、 η_d :駆動効率、 η_t :総効率。

4. 3 走行モードのシミュレーション

計算を行なうに当たり、コースを53に区間に分け、各区間の勾配、方向及び時間から各地点におけるソーラーカーの太陽電池出力、速度、走行距離、モーター軸トルク、供給エネルギーおよび総効率を算出し、最後に所要時間、バッテリー残量および太陽電池依存率を算出する。図3に計算のフローチャートを、表1にSEV-1およびBlue Eagleの諸元を示す。

走行モードの最適化の第1近似として、エネルギーを供給して走る区間では一定の限界速度を設定し、各ヒートを走破するのにバッテリー容量の60%を残して終了するものとする。走行中の運転テクニックは下り坂の区間で速度が限界速度以上になるまで惰性で走り、下り区間を過ぎると再び限界速度まで加速するものとする。日射量は各ヒート走行時間帯の値を用い、その値の100%が快晴、60%が曇りに対応させ、風雨の影響は無いものとした。

4. 4 計算結果

図4に快晴時決勝第1ヒートにおけるSEV-1およびBlue Eagleのエネルギー消費量を限界速度との関係で示す。ただし、SEV-1はスタート時1周目を、Blue Eagleは2周目以降のものである。いずれも消費エネルギーは限界速度の増大とともに増加し、うちバッテリー持ち出し量して限界速度は30~40km/hにあると思われる。今仮に、SEV-1は35km/h、Blue Eagleは37km/hに

表1 ソーラーカーの諸元

	SEV-1	BLUE EAGLE
weight of car [kg]	220	165
coefficient of rolling resistance	0.008	0.005
coefficient of drag force	0.19	0.139
front projected area [m ²]	0.7828	0.975
efficiency of speed control	0.92	0.95
efficiency of driving unit	0.85	0.95
efficiency of motor [%]	When $0 \leq T \leq 12.5$ [kg·cm] $\eta_m = 11.253 + 23.677 \cdot \ln(2T + 0.622)$ When $T > 12.5$ [kg·cm] $\eta_m = 93.928 - 1.841 \cdot \ln(2T)$	
mass inertia [kg]	10.0	5.0
friction coefficient	0.8	0.8
rating output of motor [W]	750	2000
rating torque of motor [kg·cm]	35	69.6
gear ratio [No. of gear/12]	2.83	5.33
diameter of tire [mm]	500	880
rating output of solar cell [W]	797.7	1370

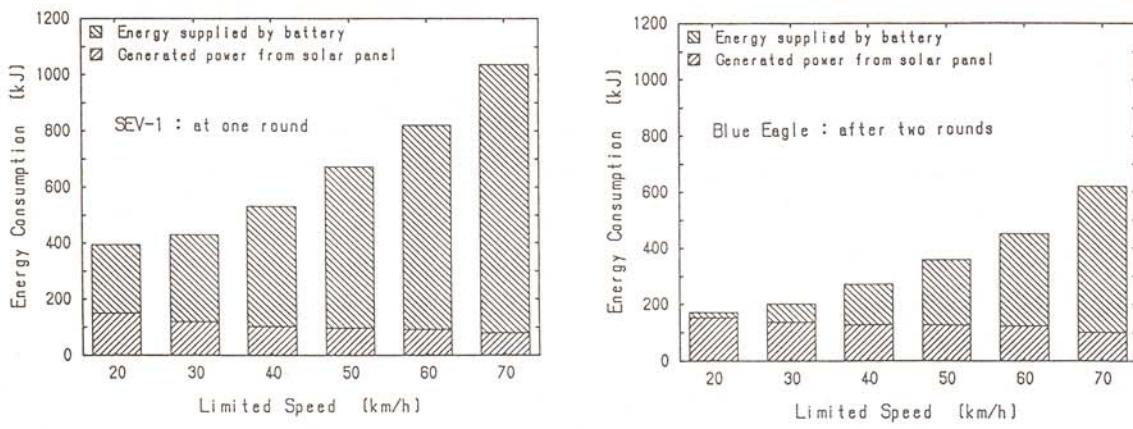


図4 エネルギー消費量と限界速度

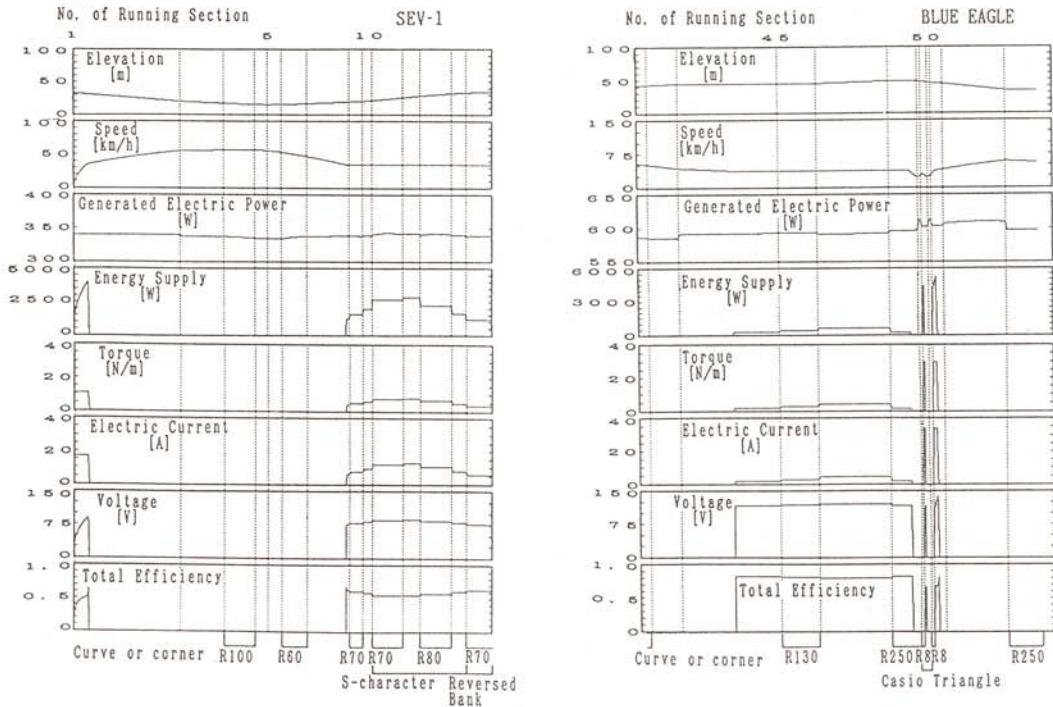


図5 各要素量の走行時の変化

表2 限界速度に対する所要時間と消費エネルギー

SEV-1 : Limited speed 35 km/h

N. of Round	Lap Time	Energy Consumption (kJ)	Generated Power (100%) (kJ)
1	0:09:21	459.836	109.804
2	0:08:59	423.226	106.748
:		same as above	
14	0:08:59	423.226	133.989
TOTAL	2:06:08	5961.774	1703.987

Blue Eagle : Limited speed 37 km/h

1	0:08:48	275.847	132.647
2	0:08:17	248.679	128.599
:		same as above	
15	0:08:17	248.679	152.177
TOTAL	2:04:46	3757.353	2131.093

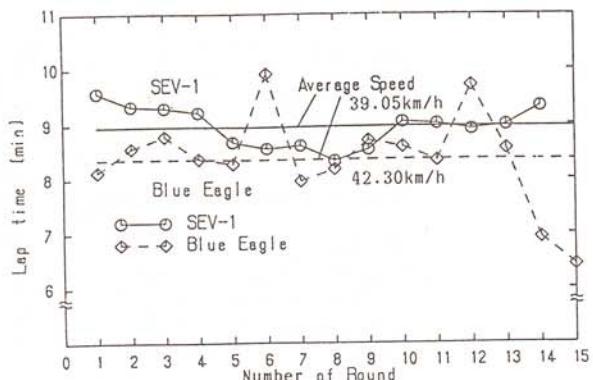


図6 第1ヒートの競技結果

設定して、コース区間毎の要素量の変化をパターンにして図5に示す。

ただし、SEV-1は特にコーナにおけるスピード変化や、供給エネルギーの関係がよく理解できる。また、上記限界速度によって第1ヒートを完走した場合、表2に示すようにSEV-1は14周(2'06'08)し、Blue Eagleは15周(2'04'46)できることになる。

それに対して、実際の競技におけるデータは図6に示すように周回毎には変動はあるが、周回数および全所要時間においてはほぼ計算値に近い結果であることが分かる。したがって、全供給エネルギーに占める太陽電池発電量は計算より少なく、バッテリーからの持ち出し量は多い結果になった。図6において、Blue Eagleはバッテリー残存量を考慮して6周目毎に速度を落として走行したのに対してSEV-1は計測器の不備でそれができなかった。

5. むすび

改良されたソーラーカーをもってソーラーカーレース鈴鹿'92に参加する当たり、前もって走行モードのシミュレーション計算を行なった。今回予備走行を体験してコースの状況が理解できたので、それをもとに詳細な計算を行なって合理的な結果が得られた。その後のヒートも含めて実際のレースにおいてもこれにはほぼ近い走行ができた。すなわち、決勝に残った45台中Blue Eagleは77周（平均速度44.3km/h）し3位に、またSEV-1は47周（平均速度29.9km/h）して19位であった。この種のシミュレーション計算は、正確な入力データが入手できれば、かなりの精度で走行モードの予測ができることが分かり、性能評価には有効な手段と考えられる。

参考文献

- (1) 金山公夫、馬場弘、遠藤登ほか：平成3年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集、pp.317~320、(1991)

実構造物を集熱面とする ソーラーシステムの研究開発

Development of a Solar System Using Actual Structure as Collecting Surface

金山公夫 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

二俣正美 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

馬場 弘 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

遠藤 登 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

鴨下公一 (協同組合テクノ北見 21)

佐藤俊明 (協同組合テクノ北見 21)

Kimio KANAYAMA (Dept. of Mech. Eng., Kitami Inst. of Tech.,)

Masami FUTAMATA (Dept. of Mech. Eng., Kitami Inst. of Tech.,)

Hiromu BABA (Dept. of Mech. Eng., Kitami Inst. of Tech.,)

Noboru ENDOH (Dept. of Mech. Eng., Kitami Inst. of Tech.,)

Kouichi KAMOSHITA (Cooperative Society Kitami 21)

Tosiaki SATOH (Cooperative Society Kitami 21)

Key words: solar collector, asphalt pavement, hot water supply

1. まえがき

本研究は、自然エネルギーの有効利用に関する実用化の研究で、アスファルト舗装面が日射を受けて吸収し、高温になる事実に着目し、実際のアスファルト路面を太陽熱集熱面に用い、内部に設けられたコイル状パイプに熱媒を循環させて集熱し、地下に設けられた大型水槽に蓄熱した後、民生用あるいは産業用の熱源として利用するための実証試験である。

アスファルト舗装集熱システムの特徴は、先端の新技術やハイテクを用いることなく、既往の技術を組み合わせて、実際の路面や構造物を集熱面としてオンサイトで利用する点である。性能的には市販のソーラーシステムに劣るが、太陽熱を安価に大量に集熱・蓄熱するための実規模システムである。ここで得られた温水は各種公共施設や事業所への熱供給を目的とし、建物への暖房給湯、温水プール、スポーツ施設、簡易温泉、洗車場への給湯などが対象となる。

本報告は平成2年度¹⁾および平成3年度²⁾に引きつづき、平成4年4月1日から同9月30日までの春から初秋にかけての測定結果をまとめ、その性能解析と評価を行なったものである。

2. システムの概要

図1はアスファルト舗装集熱面の平面を示す。総面積は420m²で全体をE～Oに11分割されている。アスファルト舗装集熱面の構造は約200mmの切り込み砂利層の上に断熱材を置き、

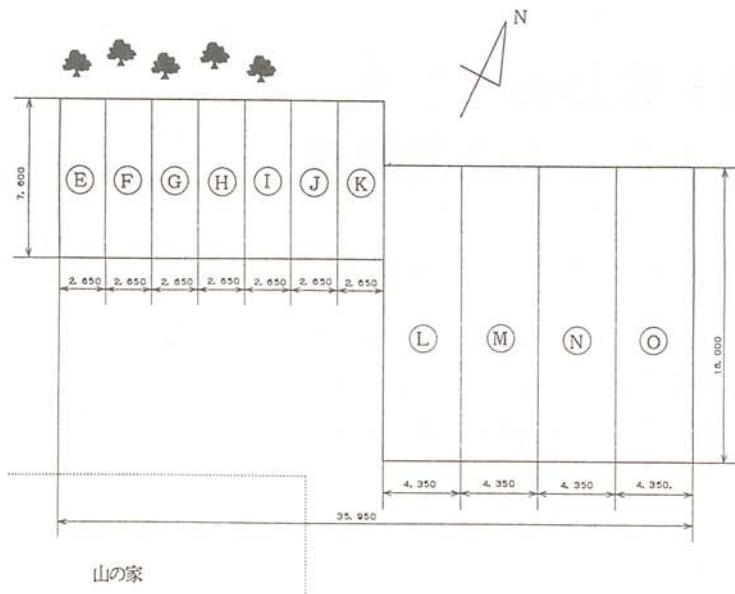


図1 アスファルト舗装集熱面の平面

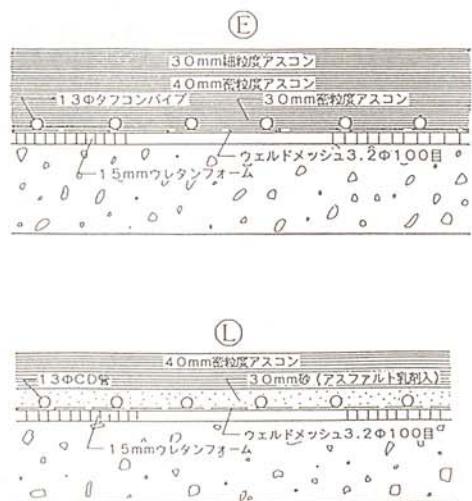


図2 アスファルト舗装E面およびL面の構造

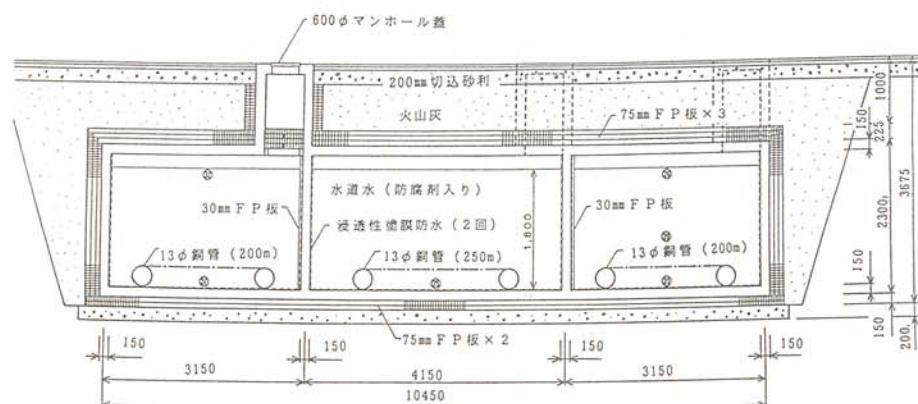


図3 蓄熱槽の構造

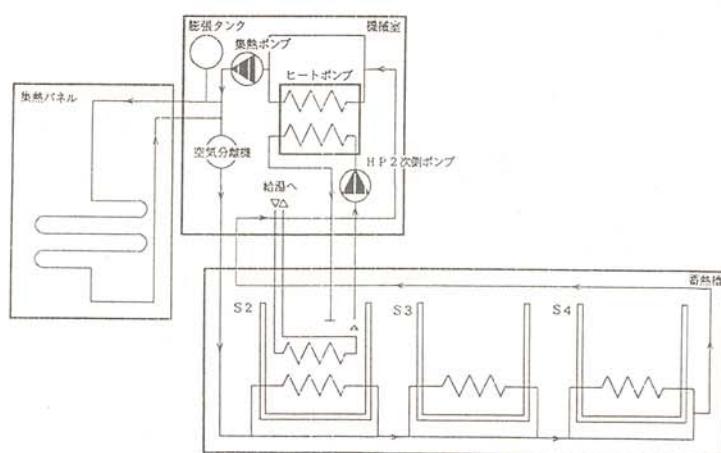


図4 システムフロー

その上に順にウェルドメッシュ、アスファルト乳材入りの砂を敷き、表面を密粒度アスコンで固めたものである。EおよびF面は密粒度アスコン内に直接パイプを配管してあるが、他の面はアスファルト乳材入りの砂の中にパイプを埋めてある。図2にE面およびL面の断面を示す。蓄熱槽は地中深さ3.765mのところに配置され、高さ2.3m、幅10.45m、奥行き10.15mの大きさのものを3槽に分けて180tの水道水を貯水している。蓄熱層の構造は図3に示すが、周囲は十分な断熱が施されている。

今年度はアスファルト集熱・蓄熱システムの集熱性能および集熱量の増大をはかるためにヒートポンプを組み入れ、集熱面温度および3槽の水温を検出して効果的に稼働するように制御されている。システム系統を図4に示す。

3. 実験結果および検討

3. 1 アスファルト舗装集熱面の熱収支と集熱効率

図5. 1～2は平成4年5月および8月の1日毎のアスファルト舗装面全面の集熱量、放熱量、日射入熱量、集熱効率、外気温度および第2蓄熱槽（高温）の水温の推移を表わしている。ただし、4月1日から15日まではシステムが稼働していないので除いてある。図5. 1の5月の結果は日射量が大きいが外気温度が低いので集熱量と集熱効率がそれ程高くなく、しかし蓄熱槽温度は5月1日が12℃で低かったのが31日には39℃まで大きく上昇している。それに対して図5. 2の8月の結果は日射量はあまり大きくないが外気温度が高いために集熱量と集熱効率が高く、蓄熱槽温度は常時約50℃を維持している。これは給湯には十分な温度で50℃以上の日には隣の施設に給湯を行なっている。図において集熱量が負になる日もあるがこれは制御の不良で集熱ポンプが夜間も作動したため放熱になったことを示している。

図6. 1～2は5月9日および8月22日の1時間毎の日射量、集熱量、集熱効率および各部の温度の推移を示す。5月9日は快晴日で日射の入射と集熱の開始には2～3時間の遅れがある。これは集熱路面の熱容量が大きいためで、逆に午後に日射が減少しても大きな集熱が得られ、日射が陰っても若干集熱を行なっている。この時間帯の集熱効率は見掛け上100%以上になる。1日の蓄熱槽温度の上昇は3℃くらいで大きいが、水温が26℃くらいなのでまだ給湯は行なっていない。8月22日は晴天日で集熱量、集熱効率ともに高く、路面温度は最高52℃に達している。したがって蓄熱槽温度も50℃弱を維持し給湯には十分な温度であり、朝方と夕方から夜にかけて大量の給湯が行なわれている。また日射の無い時間帯にヒートポンプが作動して低温の蓄熱層から熱を移動させ高温の蓄熱層の温度を維持している。

表1には4月～9月のこれらの各測定値の月平均値を示す。

3. 2 成績係数

表2に集熱路面の成績係数(COP_c)、ヒートポンプの成績係数(COP_h)およびシステム成績係数(COP_s)を示す。期間平均で考察すると、集熱路面の成績係数 COP_c は8.46であるが、これは集熱の制御不良時の値を除くと13.96となる。また9月の COP_c は0.59と極めて低い値となっているが、これは制御不良の日が多くたためである。ヒートポンプの成績係数 COP_h は3.65でヒートポンプの平均的な性能値3.0～3.5を上回っている。システム成績係数 COP_s はヒートポンプの消費電力が集熱のための消費電力より断然大きいために COP_h に近い値となり、このようなシステムではヒートポンプの性能がシステム全体の性能に大きな影響を与えることが分かる。

3. 3 蓄熱槽の熱損失

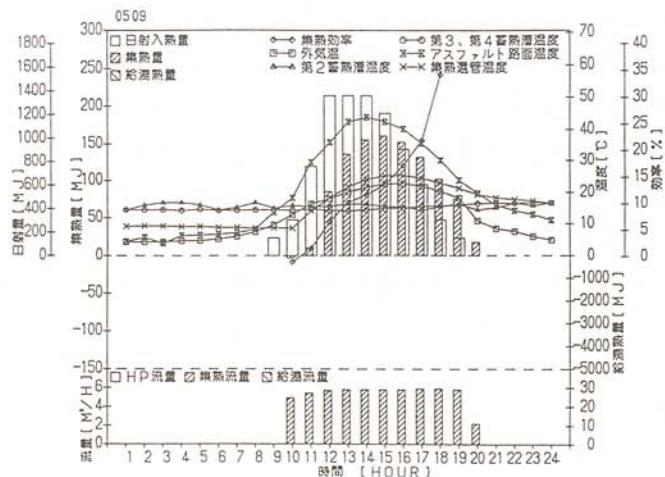


図5.1 アスファルト舗装面の集熱量、放熱量、日射入熱量、集熱効率、外気温度および第2蓄熱槽温度の変化(平成4年5月)

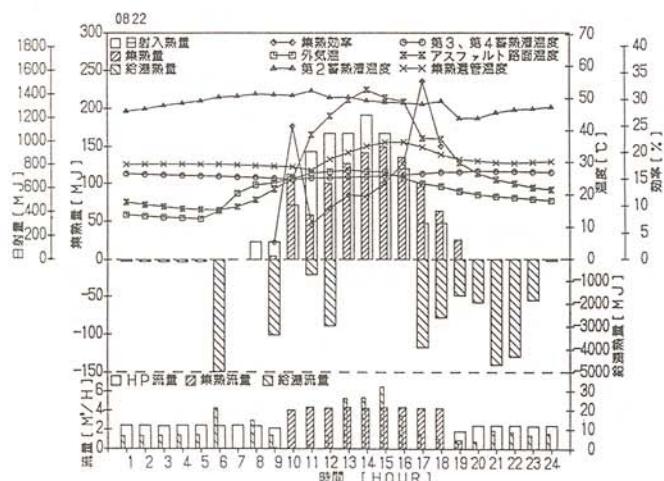


図5.2 アスファルト舗装面の集熱量、放熱量、日射入熱量、集熱効率、外気温度および第2蓄熱槽温度の変化(平成4年8月)

表1 測定期間(4月から9月)の各測定値の平均値

	アスファルト 集熱量 [MJ]	アスファルト 放熱量 [MJ]	日射入熱量 [MJ]	集熱効率 [%]	平均 外気温度 [°C]
4月	134.37	17.05	3163.82	8.50	4.45
5月	395.54	55.59	5640.89	6.03	10.34
6月	187.43	5.76	5662.65	3.21	14.85
7月	258.13	42.74	5250.86	4.10	18.98
8月	510.73	119.17	4656.04	8.10	19.26
9月	188.89	108.04	3343.54	0.31	13.36

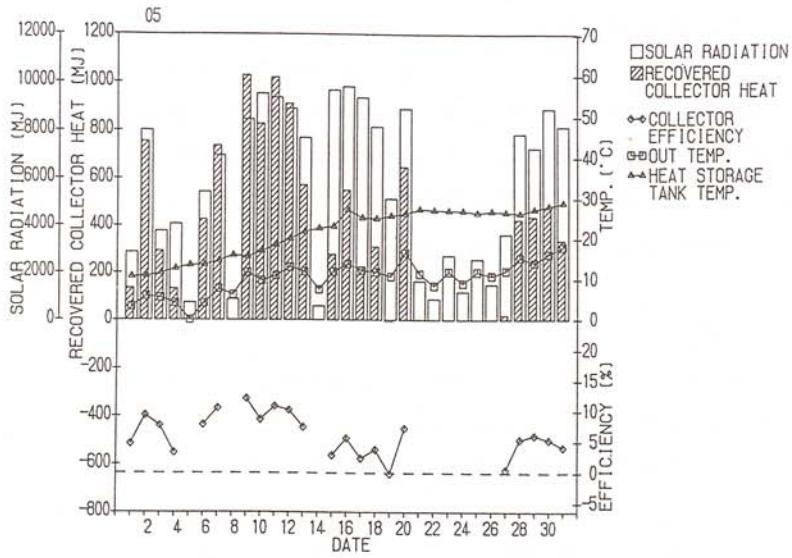


図 6. 1 時間毎の日射量、集熱量、集熱効率及び各部の温度の変化(5月9日)

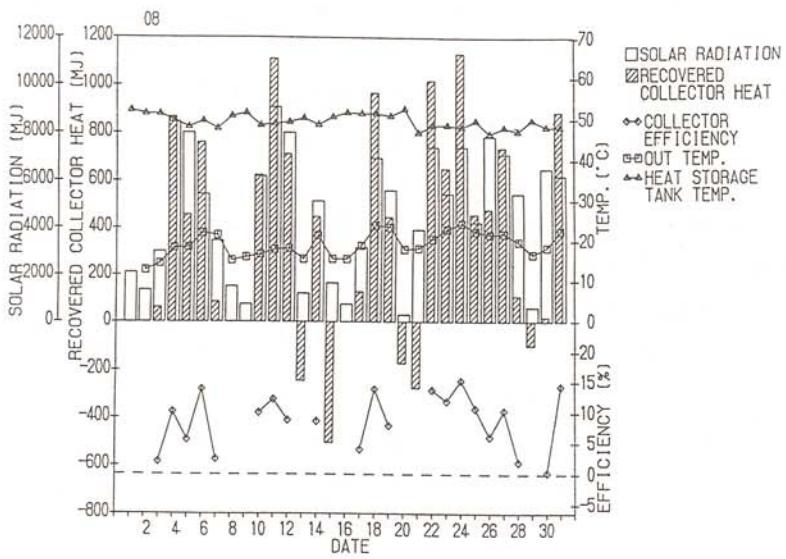


図 6. 2 時間毎の日射量、集熱量、集熱効率及び各部の温度の変化(8月22日)

表 2 各種の成績係数

	C O P _c	C O P _H	C O P _s
4月	5.32	—	5.32
5月	10.65	—	10.65
6月	12.80	3.31	3.74
7月	8.42	3.39	3.73
8月	10.69	3.87	4.17
9月	0.59	3.68	3.52
合計	8.46	3.65	4.02

蓄熱槽の熱損失は、集熱量やヒートポンプの入、出熱量に比べると1日平均16.66MJで小さい値である。これは蓄熱槽の断熱が良いことと測定時期が主に夏であり、蓄熱槽と槽周囲との温度差が少なかったためと思われる。4月には蓄熱槽温度が6℃前後の低い値で、槽周囲温度がそれより高いため、逆に蓄熱槽の外部から槽内への若干の入熱が見られる。しかし、システムの通常稼働時間内で蓄熱槽の平均温度は、高温蓄熱槽では50℃前後、低温蓄熱槽では30℃くらいで、このときは外部への出熱として熱損失になる。もし本システムを冬期に融雪のための熱源に使用する場合は熱損失は無視できなくなる。

4. むすび

アスファルト路面集熱システムの実験は3年間の时限付きで、平成4年度が最終年度である。その間、集熱面への集熱ポンプの手動発停からスタートし、これにヒートポンプを導入し、蓄熱槽の分割化、配管系統や制御方法の変更など、年々改良を加えながら性能向上に努めてきた。また、実験条件は、初年度は秋口から実験をスタートした関係で負荷は設けず、地下タンクへの集・蓄熱および放熱と一部冬期間の融雪を行なうなど、本システムの基本的性能の把握に重点をおいた。

2年目は春から夏にかけて集熱し、その後システムの高度化と性能アップを目指してヒートポンプを組み込み、集熱量の増大と負荷への熱供給を含めた実用化のための予備実験を行なった。

3年目の平成4年度は、前年のアスファルト集熱とヒートポンプとのシステム系統および制御法をより合理的に改善し、春から夏の集熱・蓄熱および夏の負荷への熱供給など実用を意識した実験を行なった。その結果、システムは概ね良好に作動したが、原因不明の制御不良がしばしば発生し、集熱ポンプの誤作動により放熱量が増大し、ヒートポンプを付加した効果が必ずしも十分發揮できずに終わった。

4月から9月の実験期間を通じて、誤作動による損失熱量は集熱量の21.8%に達し、これが無ければ期間平均の集熱効率は5.62%、8月の最高値で10.7%、またシステム成績係数も約5.0が可能となり、本システムの性能としては一応の目標に達したものといえよう。現場での大規模実証試験は、実験室でのコンパクトな実験とは異なり、自然の気象変化をまともに受けるため予期できない現象やハプニングがあり、本装置の制御不良もそのような原因によるものと推察される。

今後は、システム系統および制御法を簡素化し、気象および負荷など使用条件にあった合理的なシステム設計と稼働プログラムを作定し、さらに性能向上をはかるとともに、実用面での種々のバリエーションを模索しつつ事業化に向かって推進すべきであろう。

参考文献

- (1) 金山公夫；平成2年度「アスファルト舗装を利用した新ソーラーシステム」報告書
- (2) 金山公夫；平成3年度「アスファルト舗装を利用した新ソーラーシステム」報告書

自然対流による集熱・暖房システムの 寒冷地技術の開発

Development of Cold Regional Technics on Collecting -Heating System
by Natural Convection

金山公夫 (北見工業大学工学部機械システム工学科)
馬場 弘 (北見工業大学工学部機械システム工学科)
遠藤 登 (北見工業大学工学部機械システム工学科)
東 誠之 (株式会社 アズマ)

Kimio KANAYAMA (Dept. of Mech. Eng., Fac. of Eng.,
Kitami Inst.of Tech.,)
Hiromu BABA (Dept. of Mech. Eng., Fac. of Eng.,
Kitami Inst.of Tech.,)
Noboru ENDOH (Dept. of Mech. Eng., Fac. of Eng.,
Kitami Inst.of Tech.,)
Seisi HIGASI (Corperation AZUMA)

Key word: solar collector, natural convection, cold region technics

1. まえがき

北海道における太陽熱利用には強制循環式のリーラー式が主として用いられているが、装置が複雑で価格も高く、全道的な普及に至っていない。そこで本研究では温暖地で普及している単純な自然循環式集熱器、すなわち太陽温水器の適用を考えて、凍結防止の構造を取り入れた寒冷地型太陽温水器の開発をめざし、まず既往の装置の集熱および保温性能を明らかにした。

装置は1993年1月に設置され、予備実験を経た後、正規の実験に入った。装置の性能は貯湯槽の水温を重点に評価し、これと各要素との関連を検討した。晴天日の実験結果を対象に検討したが、その結果は一般的の天候日にも適用できる。

記号および性能値
 q_J : 日射量 W/m^2 , q_c : コレクタ-集熱量 W , θ_p : 集熱板の温度 K , θ_a : 外気温度 K , θ_s : 貯湯槽温度 K , θ_g : ガラス板温度 K , θ_A : 集熱器内の空気温度 K , θ_c : 集熱板温度 K , ε_p : 集熱板のふく射率 ($=0.9$), ε_g : ガラスのふく射率 ($=0.9$), τ_g : ガラスの透過率 ($=0.85$, 厚さ $\delta=3\text{mm}$), α_p : 集熱板の吸収率 ($=0.94$), A_c : 集熱面積 ($=7.64\text{m}^2$), η_c : 集熱効率, C_w : 水の比熱 ($=4.187 \text{J/g}\text{°C}$), M_w : 水の質量 g , t : 時間 h または s , σ : ステファン・ボルツマン定数 ($=5.67 \times 10^{-8} \text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$)。

2. 装置の概要

装置は給水タンク（水量8リットル）、ボルバル付き貯湯槽（252リットル）、集熱パネル（9リットル×4枚）、給水および排水ホースからなる自然循環式省エネ型のものである。パネルの集熱板はプレス・シーム溶接の構造であり、表面に黒色塗装が施された安価なものである。装置は本学の自然エネルギー実験室の屋上に真南に向けて設置され、傾斜角は50°である。装置の外観を写真に示す。

3. 測定結果と検討

3. 1 貯湯槽の保温性

貯湯槽は厚さ50mmの発砲スチロールで断熱されている。水温が日射に影響されないように夜間に貯湯槽温度の低下を測定した。温度低下の傾向は全て直線的であり、図1はその代表例を表わす。温度低下の速度を U_e とすると

$$\frac{d\theta_s - \theta_a}{dt} = \int_0^{\theta_s - \theta_a} (d^2 U_e / dt dX) dX = \int_0^{\theta_s - \theta_a} -0.0098 dX = -0.0098(\theta_s - \theta_a) \text{ (°C/h)} \quad (1)$$

の実験式が得られた。図2はこの関係を表わし、表1には代表的な測定データを示す。

外気温度 θ_a が一定の場合、夜間の貯湯槽温度 θ_s と時間 t との関係は

$$t = \int_{\theta_{s1}}^{\theta_{s2}} \frac{-dU}{0.0098(\theta_s - \theta_a)} = \frac{1}{0.0098} \ln \frac{\theta_{s1} - \theta_a}{\theta_{s2} - \theta_a} \text{ (h)} \quad (2)$$

となる。北海道の冬は寒いが、一晩(12時間)で槽温がどのように変化するか、また凍結する恐れがあるかどうかということは、式(2)により計算された表2に示す貯湯槽温度によって判断される。

3. 2 パネルの熱損失¹⁾

パネルの熱損失はパネル裏面からの熱損失 q_{back} および正面からの熱損失 q_{top} の和で表わされる。

$$q_{loss} = a \cdot A_c (\theta_c - \theta_a) + b \cdot A_g \cdot \sigma (\theta_p^4 - \theta_a^4) \text{ (W)} \quad (3)$$

ここで、aはパネル本体の対流熱損失係数、bは集熱板のふく射率である。両者とも集熱装置固有の定数であり、未知の場合、実験によって決めなければならない。また、本装置は対流熱損失がパネル内の空気温度と密接な関係があり、いま θ_c が空気温度 θ_A に等しいとみなして $\theta_c = \theta_A$ とすると、熱平衡式は式(4)の通りである。

$$q_c = q_s \cdot \tau_g \cdot \alpha_p \cdot A_c - a \cdot A_c (\theta_A - \theta_a) - b \cdot A_c \cdot \sigma (\theta_p^4 - \theta_g^4) \text{ (W)} \quad (4)$$

ここで、 θ_p 、 θ_A および θ_g は日射量 q_s と槽温 θ_s に影響され、 θ_s が最高温度になるまでの各温度は、

$$\left. \begin{aligned} \theta_p &= \theta_s + 0.0015q_s \cdot d\theta_s/dt && (\text{K}) \\ \theta_A &= 0.98\theta_p + 0.02\theta_a && (\text{K}) \\ \theta_g &= 0.68\theta_p + 0.32\theta_a && (\text{K}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

の関係がある。



写真 実験装置の外観

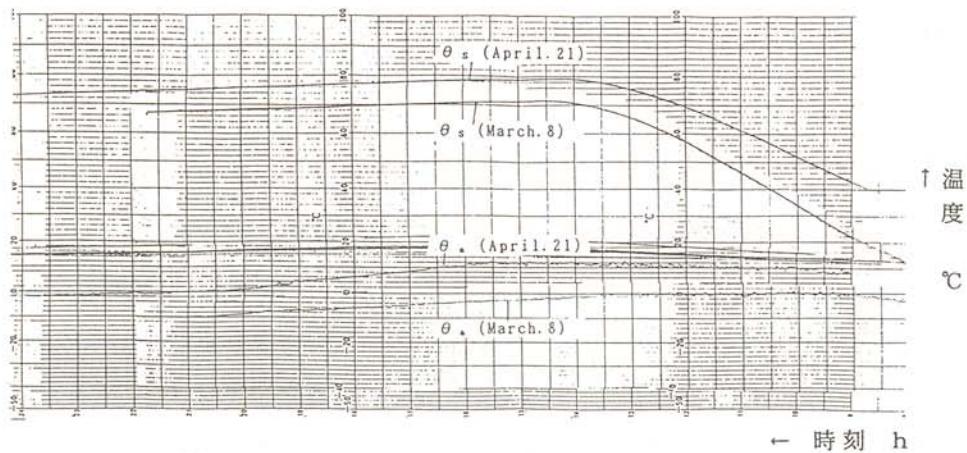


図1 貯湯槽の温度変化の典型的測定例

表1 代表的な測定例

月 日	H. 5. 3/8	4/13	4/14	4/17	4/20	4/21	4/22	4/25
時間帯 h	17-21	18-24	18-24	18-24	18-24	18-24	18-24	18-24
U _θ °C	3	2.5	3	3.7	2.6	4.7	2.7	1.8
θ _s °C	68.5	46	56.5	70	45	75	53	29
θ _a °C	-7.5	3	5.5	0.5	-2.5	1	8.5	0
U' _{x, t}	-0.0099	-0.0097	-0.0098	-0.0089	-0.0091	-0.0106	-0.0101	-0.0103

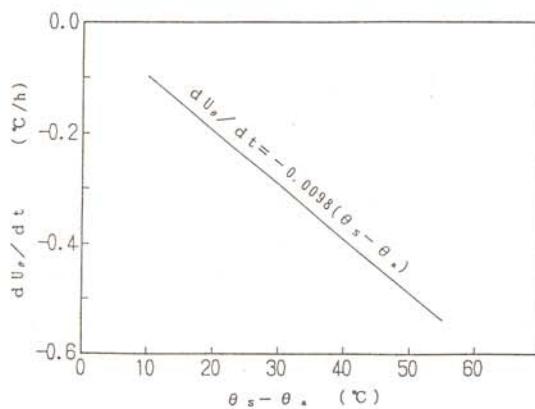


図2 貯湯槽温度の低下割合

表2 一晩（12時間）の貯湯槽温度低下の様子

θ _a	θ _{s1}	353	343	333	323	313	303
243	341	332	323	314	305	296	
253	342	333	324	315	306	297	
263	343	334	325	316	307	299	
273	344	335	326	317	309	300	

いま、実験によって槽温の変化速度 $d\theta_s/dt$ は

$$d\theta_s/dt = 0.0182q_J - (\theta_s - \theta_a)^{0.57} \quad (K/h) \quad (6)$$

となることが分かった。本実験では熱電対で温度測定を行なっているので、実測値から計算できる。また、実験により対流熱損失は $(\theta_A - \theta_a)^{0.95}$ に比例しているので、式(4)を書き直して、

$$\begin{aligned} q_c &= q_J \cdot \tau_g \cdot \alpha_p \cdot A_c - a \cdot A_c (\theta_A - \theta_a)^{0.95} \\ &\quad - b \cdot A_c \cdot \sigma (\theta_p^4 - \theta_g^4) - 0.0098C_w \cdot M_w (\theta_s - \theta_a)/3600 \quad (W) \end{aligned} \quad (7)$$

となる。パルの構造と保温材の寸法および物性²⁾を考慮に入れて計算し、係数 a は夏に約 3.5、春に約 4.3 および冬には約 5.0 となる。いろいろな測定データを式(7)に代入して計算すると、 b は約 0.84 となる。よって夏の場合

$$\begin{aligned} q_c &= 6.104q_J - 26.74(\theta_A - \theta_a)^{0.95} \\ &\quad - 36.39\{(\theta_p/100)^4 - (\theta_g/100)^4\} - 2.872(\theta_s - \theta_a) \quad (W) \end{aligned} \quad (8)$$

となる。

パルの温度低下の早さが槽温低下よりずっと速く、パルの位置が貯湯槽の下部にあって密度の大きい冷水が上昇流とはならず、対流熱交換は生じない（貯湯槽の水温はパルの温度低下に影響しない）。したがってパルは温度低下に際して独立のシステムと見なされる。このときパル内の温水が再ふく射と対流熱伝達によって放熱し、 $d t$ の時間にパル温度は $d\theta_p$ 低下する。すなわち

$$\begin{aligned} d\theta_p/dt &= [b \cdot A_c \cdot \sigma (\theta_p^4 - \theta_g^4) \\ &\quad + a \cdot A_c (\theta_A - \theta_a)^{0.95}] / (C_w \cdot M_w) \quad (^{\circ}C/S) \end{aligned} \quad (9)$$

となる。ただし、 M_w はパル内の水量 (=36リッター)。式(9)が日射がなくなった時のパルの温度低下の速さである。いうまでもなく、これはパル内の各温度と外気温とも関係があり、変数である。いま、パルの温度が θ_a 間で低下するのにどのくらいの時間が掛かるかを知りたい。そこで式(9)を数値積分によって求める。すなわち

$$t = \sum_{\theta_s}^{\theta_a} \frac{\Delta\theta}{(d\theta/dt)} \quad (s) \quad (10)$$

式(10)に式(9)を代入し $\Delta\theta$ を 5°C にとって計算した結果、4~5時間でパル温度が $353\text{K}(80^{\circ}\text{C})$ から $273\text{K}(0^{\circ}\text{C})$ に低下することが分かった。冬の夜は容易にこの状態に至たり、内部の水が凍結してパルがパンクする原因となるので、速やかに水抜きをしなければならない。

3. 3 集熱効率³⁾

集熱効率は式 $\eta_c = q_c / (q_J \cdot A_c)$ に式(7)を代入して

$$\eta_c = \tau_g \cdot \alpha_p$$

$$-\frac{a \cdot (\theta_A - \theta_a)^{0.95} + b \cdot \sigma (\theta_p^4 - \theta_g^4)}{q_J} - \frac{0.0098C_w \cdot M_w (\theta_s - \theta_a)/3600}{q_J \cdot A_c} \quad (11)$$

となる。式(5)において、集熱の開始時の初期条件を $\theta_s = \theta_p = \theta_A = \theta_g = \theta_a$ とし、 η_c

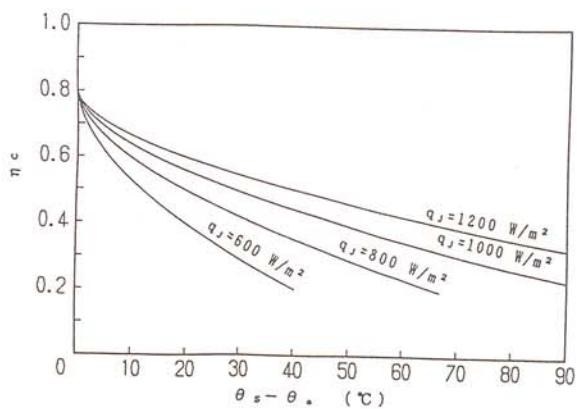


図3 各日射量に対する η_c および $(\theta_s - \theta_a)$ の関係

は最大で $\tau_s \cdot \alpha_p$ となり、 q_J が一定の場合、 θ_a 以外の各温度の増大にしたがって低下する。 θ_p 、 θ_A 、 θ_g および θ_s は q_J と関係があり、また式(6)を用いて集熱量 q_c は

$$\begin{aligned} q_c &= (C_w \cdot M_w / 3600) \cdot (d\theta_s / dt) \\ &= 4.186 \times 288 \times 10^3 / 3600 [0.0182 q_J - (\theta_s - \theta_a)^{0.57}] \\ &= 6.1 q_J - 335 (\theta_s - \theta_a)^{0.57} \end{aligned} \quad (12)$$

となり、式(12)を式(11)に代入して

$$\begin{aligned} \eta_c &= [6.1 q_J - 335 (\theta_s - \theta_a)^{0.57}] / (7.64 q_J) \\ &= 0.8 - 43.8 (\theta_s - \theta_a)^{0.57} / q_J \end{aligned} \quad (13)$$

を得る。式(13)をグラフに示すと図3の通りである。 η_c を高めるには人為的に $(\theta_s - \theta_a)$ を低下させればよい。そのための利用法としては正午ごろタク内のお湯を一度排出して別途に貯え、もう一度給水して集熱する二段集熱方式を採用することである。

4. むすび

実験の結果、以下のような結論を得た。

- (1) 貯湯槽の保温性が比較的優れており、真冬に外気温度が-30°Cになつても、初期槽温が30~80°Cの時、一晩(12時間)の温度低下は約7~12°Cである。
- (2) 貯湯槽温度と外気温度との差が大きくなるにしたがってパリの熱損失が増大し、集熱量 q_c および集熱効率 η_c が低下する。
- (3) 集熱量を高めるには二段集熱方式を採用するとよい。
- (4) 日射がなくなるとパリの温度低下が速いため、外気温度が氷点以下の時、凍結を避けるため手早くパリの排水を行なわなければならない。

参考文献

- (1) J.Kreider : Principles of Solar Engineering, (1987), Hemisphere Publish., p.203 ~313.
- (2) 日本機械学会 : 伝熱工学資料・改訂第3版、(1975)、pp.296~297.
- (3) 田中俊六 : 太陽熱冷暖房システム、(1977)、オーム社、pp.68~92.

食品用気液透過制御機能性膜の研究開発

Evaluation of the Permeability and Diffusivity of d-limonene Vapor
in the Polymeric Sealant Films

小林正義 (北見工業大学 化学システム工学科)

花田勝敏 (北見工業大学 化学環境工学専攻)

菅野 亨 (北見工業大学 化学システム工学科)

高橋誠恵 (タマポリ株式会社)

長内伸一 (タマポリ株式会社)

Masayoshi KOBAYASHI (Dept. of Chemical System Engineering Kitami Inst. Tech.)

Katsutoshi HANADA (Chemical Environmental Engineering Kitami Inst. Tech.)

Tohru KANNO (Dept. of Chemical System Engineering Kitami Inst. Tech.)

Makoto TAKAHASHI (Tama-poly Co. & Ltd.)

Shin-ichi OSANAI (Tama-poly Co. & Ltd.)

Key Words d-limoenene, permeation, diffusion, vapor

1. 緒言

ポリエチレンを主体とする有機高分子材料は食品包装材料として幅広く使われているが、最も重要な問題の一つに、内容物の芳香成分の膜中への収着がある。これまでに多くの研究がなされており、なかでも今井、Harte、Giacin等(1990)はd-limonene(オレンジジュースの香料成分)がエチレン-ビニルアルコール共重合体(EVOH)の場合、5日間で15[%]、低密度ポリエチレン(LDPE)の場合41[%]の損失があると報告した。

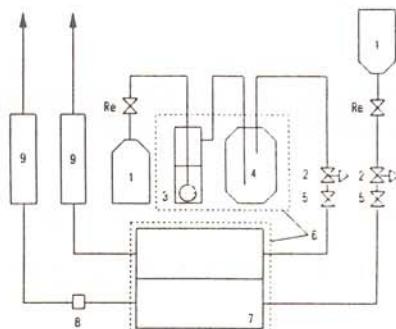
またMohney等(1988)はd-limoneneを用いて高密度ポリエチレン(HDPE)/Sealant Laminateにおけるd-limonene濃度を関数とした透過係数(P)の推測の実験式を求めた。

$$P = 4.9 \times 10^{-3} \exp(0.7C_v) \text{ for HDPE} \quad (1)$$

一般的に透過係数(P)及び拡散係数(D)の測定には長時間の測定が必要であるため、直接実験を行わなくとも膜の物性をパラメータとして P 及び D のおおよその値を推測することができる実験式を提出すると非常に便利である。本研究の目的はポリエチレン系膜における透過係数(P)及び拡散係数(D)の実験式をDSCによる融点(T_{mp})または膜への収着量(q_s)などの関数として算出することである。

Table 1 The Characteristics of the polymeric sealant films.

MATERIAL	STRUCTURE	GSCmp (°C)	THICKNESS (μ m)
LDPE	$(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$	110	60
LLDPE		126	60
HDPE		130	55
EVA5	$(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_m(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$	105	70
EVA7		100	70
EAA33	$(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_m(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$ COOH	-	60
EAA67		-	60
EAA100		-	60
PAN	$(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_m(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$ $\text{CN} \quad \text{Me}$ $(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_n$	-	30



1. Nitrogen gas cylinder
2. Bubble valve
3. Bubbler device with *d*-limonene
4. Glass reservoir for the dampening perturbation
5. Mass flow control valve
6. Water bath
7. Diffusion cell
8. Sampling hole
9. Soap meter
Re. Pressure regulator

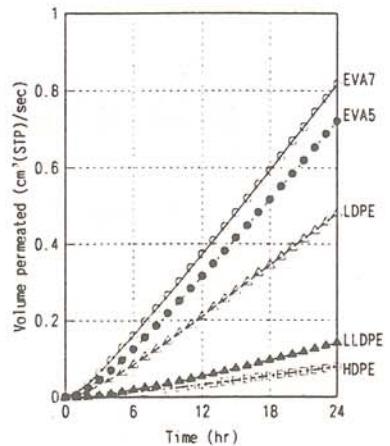
Fig. 2 Transmission rate profile curves for *d*-limonene through the test films at 25°C.

Fig. 1 Scheme of experimental arrangement

2. 実験方法

2-1. 実験材料

用いた*d*-limoneneは和光化学製で純度は95[%]である。膜材料としてはタマポリ株式会社から提供されたポリエチレン系(PE)として5種類、エチレンアクリル酸共重合体、ポリエチレンテレフタレート混合物系(EAA)として3種類、また参照材料としてはバリア性が高いといわれているポリアクリロニトリル系共重合体(PAN)を用いた。Table 1にこれらの膜材料に関する構造等を示す。

2-2. 透過性実験法

Fig. 1に透過実験装置模式図を示す。ステンレス製の拡散セルは上下二つに別れており、間に膜材料を挟みこむ構造である。膜とガスとの有効接触面積は18[cm²]であり、セルは精密な温度制御の可能な恒温槽に入れられた。この際、膜とセルの間にシリコンゴム製のOリング2個をセットし、系内への水の侵入を防いだ。

ここで*d*-limoneneはN₂でバブリングされ0.719[ppm(g/cc)]に調製され、拡散セルの上方に導入され、参考ガスとして純粋なN₂をセルの下方に流し、共に流速を75[ml/min]に固定した。

拡散セル上下両方における*d*-limonene濃度はサンプリングホールからシリングで採取され、島津ガスクロGC-8Aにより分析された。ガスクロ使用カラムはThermon-1500、長さ1[m]、inj, col温度はそれぞれ180、100[°C]で保持時間は約35[sec]であった。

2-3. 収着量測定法

d-limoneneの膜への収着量は昇温脱離実験(TPD)を用いた。50[cm²]に切り取られた膜材料をバイレックス製のガラスにつめ、24[hr]ほど0.719[ppm(g/cc)]に調製された*d*-limonene蒸気と接触させた後、10分間ほど純N₂ガスを流し経路内に付着している*d*-limoneneをフラッシュし、3[°C/min]の割合で膜を180[°C]まで昇温し、膜から脱離してきた*d*-limoneneを分析した。

Table 2 Permeability and diffusivity coefficients of d-limonene in the films at the vapor concentration 0.719 mg/l

Temo (K)	Permeability	Diffusivity
EVA7	298	4,510
	308	8,360
	318	9,240
EVA5	298	4,220
	308	6,380
	318	7,690
LDPE	298	2,320
	308	3,160
	318	6,190
LLDPE	298	830
	308	1,260
	318	2,570
HDPE	296	117*
	298	350
	308	770
	318	1,010

P: $\times 10^{-10}$ [cm³(STP)cm/cm²mgsec]

D: $\times 10^{-10}$ [cm²/sec]

a,b:evaluated values by Mohney et al's equation at 295K.

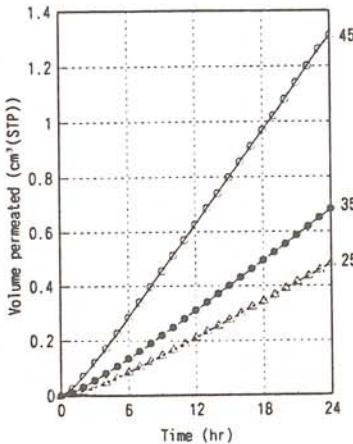


Fig.3 Transmission rate profile curves for d-limonene through LDPE as a function of temperature.

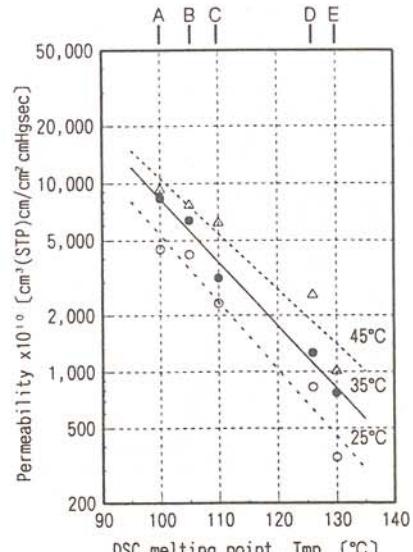


Fig.4 Plots of $\ln P$ vs. DSC melting point for the test films.
A=EVA7, B=EVA5, C=LDPE, D=LLDPE, E=HDPE

3. 実験結果及び考察

3-1. d-limonene透過性

ガスの透過係数(P)はEq.2によって計算された。

$$P = \frac{Q \cdot L}{A \cdot (p_1 - p_2)} \quad (2)$$

拡散係数(D)はCrankとParkら(1968)によるラグタイム法によりEq.3を用いて計算した。

$$D = \frac{L^2}{6\theta} \quad (3)$$

また見掛けの溶解度係数(S)はEq.4より計算された。

$$S = \frac{P}{D} \quad (4)$$

Mohneyら(1988)が示したように、透過、拡散、溶解度の各種係数はd-limoneneの濃度に依存するが、本研究においてはd-limonene濃度を0.719[ppm(g/cc)]に固定し、各種係数を膜の違いによって比較した。

Fig.2及びFig.3は各種膜におけるd-limoneneの透過と、LDPEにおけるd-limonene透過の温度依存性をそれぞれ示している。

ここで得られた透過及び拡散係数をMohneyらと比較しTable2に示す。Mohneyらの実験式による計算ではd-limonene濃度が0.719[ppm(g/cc)]の場合HDPEでの透過係数は 117×10^{-10} [cm³(STP)cm²mgsec]

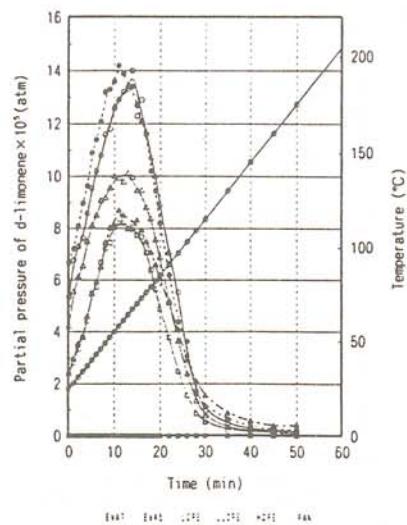


Fig.5 TPD spectra of d-limonene from the tested films at the heating rate of 3°C/min after exposing the films to the d-limonene vapor of 0.719mg/l at 25°C for 24hrs.

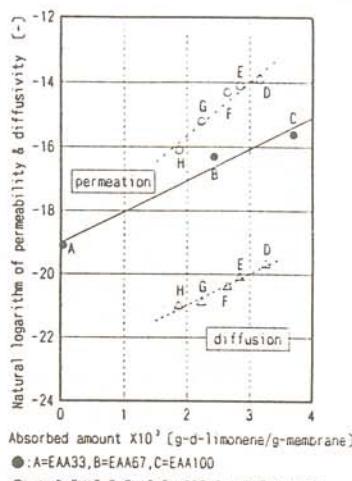


Fig.6 Plots of the $\ln P$ and $\ln D$ for PE-group and EAA-group films vs. absorbed amount of d-limonene.

Table 3 Absorbed amount of d-limonene for various membranes.

Membranes	Absorbed amount
EVA7	3.32
EVA5	2.75
LDPE	2.49
LLDPE	2.14
HDPE	1.94
PAN	0.00969
EAA33	0.0373
EAA67	2.43
EAA100	3.70

Absorbed amount $\times 10^3$ [g-d-limonene/g-membrane].

$P \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{cmHg} \cdot \text{sec}$] であるが、本研究において得られた透過係数の値は 350×10^{-10} [$\text{cm}^3 (\text{ST}) \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{cmHg} \cdot \text{sec}$] であった。これは使用膜材料中の HDPE 含有率の違い (Mohney らは 83% 含有のものを使用) や、測定温度の違い (23°C と 25°C) が原因であると考えられる。

また PAN に関しては透過は認められず、極めてバリア性が高いことが示唆された。

ここで Fig.4 に透過係数 (P) の膜の DSC 融点 (T_{mp}) 依存性を示すが、この直線から透過係数を推測するための実験式が以下のように得られた。

$$P = 2.0 \times 10^{-3} \exp(-8.2 \times 10^{-2} T_{mp}) \quad (5)$$

EVA5 及び EVA7 に関しては酢酸ビニル基がそれぞれ 5, 7 (wt %) 含まれているものの、直線との相関係数は -0.945 であり、PE 系膜と同一直線上に分布することが分かった。これにより、酢酸ビニル基は d-limonene の透過を促進させる事が分かった。

さらに微視的には、膜の構造は結晶部分と非結晶部分に分かれており、PE 系膜においては Michaels と Bixler ら (1961) が示したように、高結晶性膜は膜の融点 T_{mp} も高いと仮定すると、本研究で用いた膜の結晶性の序列は、HDPE > LLDPE > LDPE > EVA5 > EVA7 であり、これは透過係数の序列とは逆の関係となった。

3-2. d-limonene 収着性

0.719 [ppm(g/cc)] の d-limonene 蒸気を 24 [hr] 膜に接触させた後 25°C から 180°C まで $3^\circ\text{C}/\text{min}$ の速度で昇温し、脱離してきた d-limonene の曲線を Fig.5 に示す。この曲線を図上積分し求めた膜中への d-limonene 全収着量を Table 3 に示す。PE 系膜における透過及び拡散係数の収着量依存性を Fig.6 に示す。この直線から以下の実験式が得られた。

$$P = 4.6 \times 10^{-9} \exp(1.8 \times 10^3 q_s) \quad (6)$$

$$D = 9.3 \times 10^{-11} \exp(1.1 \times 10^3 q_s) \quad (7)$$

同様の傾向がEAA系膜においてもFig.6に示され以下の式が得られた。

$$P = 5.6 \times 10^{-9} \exp(9.8 \times 10^2 q_s) \quad (8)$$

見掛けの透過係数はEAA系膜中のPET成分の増加によって減少し、PET膜はd-limonene透過バリアに効果的な膜であることが示唆されている。またPE系膜と比較するとEAA100はEVA7に比べ収着量が大きいにもかかわらず透過係数は小さいことが分かった。これらの結果からd-limoneneにおける透過係数は必ずしも膜中への収着だけに依存しないことが示唆されている。Kwapon gとHotchikissら(1987)によると透過係数は膜の種類や構造等に影響される事が分かっている。

Mohneyら(1988)はHDPEとGlassineに関してHenryの法則に基づいて溶解度係数の計算を行った。

$$C_s = KC_v \quad (9)$$

彼等はd-limonene濃度 $C_v=5.5$ [ppm(g/cc)]で23[°C]の条件で、HDPE83[%]膜において溶解度係数 $K=7.3 \times 10^{-3}$ [g-d-limonene/g-membrane]と求めた。本研究では $C_v=0.719$ [ppm(g/cc)]、25[°C]において $K=2.7 \times 10^{-3}$ [g-d-limonene/g-membrane]と求められた。この違いは使用膜材料の物性や、収着量測定法の違いなどに起因すると考えられる。各種膜に関する K の値は以下の序列となった。

EVA7(4.62×10^{-3})>EVA5(3.82×10^{-3})>LDPE(3.46×10^{-3})>LLDPE(2.98×10^{-3})>HDPE(2.70×10^{-3})

EAA系膜においても同じく、

EAA100(5.15×10^{-3})>EAA67(3.38×10^{-3})>EAA33(5.19×10^{-5})

これらの序列は膜材料のバリア性と逆の関係である。

4. 結言

PE系、EAA系、及びPAN系の異なる3種類の膜材料に対してd-limonene損失のためのバリア性の評価を行い、また見掛けの透過係数の序列がPE系>EAA系>PAN系であることを明らかにした。

また同一系膜内では透過係数は収着量が大きいほど高く、PE系では、EVA7>EVA5>LDPE>LLDPE>HDPE、EAA系膜では、EAA100>EAA67>EAA33であることが分かった。

PAN及びPETに関してはd-limonene収着損失に対する有効なバリア性能をもっていることが分かった。さらに透過係数 P 及び拡散係数 D を推測するための実験式を、PE系、EAA系に関して提出した。

5. 記号一覧

A : 膜とガスとの有効接触面積	[cm ²]
C_s : 平衡定数	[g-d-limonene/g-membrane]
C_v : d-limonene蒸気濃度	[ppm(g/cc)]
D : 拡散係数	[cm ² /sec]
K : 溶解度係数	[g-d-limonene/g-membrane·ppm]
L : 膜の厚み	[cm]
P : 透過係数	[cm ³ (STP)·cm/cm ² ·cmHg·sec]
p : d-limonene蒸気濃度	[cmHg]
Q : 定常状態での透過速度	[cm ³ (STP)/sec]
q_s : 収着量	[g-d-limonene/g-membrane]
S : 溶解度係数	[cm ³ (STP)/cm ³ ·cmHg]
T_{mp} : 膜の融点	[°C]
θ : 拡散遅れ時間	[sec]

6. 参考文献

- 1) Crank,J and Park,G.S. 1968. "Diffusion in polymers" Academic press, New York.
- 2) Hernabdez,R.J., Giacin,J.R. and Baner,A.L. 1986. The evaluation of the aroma Barrier properties of films. J.Plastic Film &Sheeting, 2:187.
- 3) Imai,T., Harte,B.R. and Giacin,J.R. 1990. Partition distribution of aroma volatiles from orange juice into selected polymeric sealant films. J.Food Sci. 55 (1) : 1 58.
- 4) Kwapong,O.Y. and Hotchkiss, J.H. 1987. Comparative sorption pf aroma compounds by polyethylene and ionomer food-contact plastics. J.Food Sci. 52:761.
- 5) Michaelis,a.s. and Bixler,H.J.1961. Flow of gases through polyethylene. J.polymer Sci.L:413.
- 6) Mohney,S.M., Hernandez,R.J.1988. Permeability and solubility of d-limonene vapor in cereal package liners. J.food Sci.53 (1) 253.
- 7) Sadler,G.D. and Braddock,R.J. 1990 Oxygen permeability of low density polyethylene as a function of limonene absorption :An approach to modeling flavor "Scalping". J.Food Sci. 55 (2) :587.
- 8) Sadler,G.D. and Braddock,R.J. 1991Absorption of citrus flavor volaties by low density polyethylene. J.Food Sci. 56 (1) 35.

コンクリート製品の高品質化に関する研究

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 (Dept. of Civil Eng., Fac. of Eng.,
Kitami Inst. of Tech.)

Hiroshi SAKURAI (Dept. of Civil Eng., Fac. of Eng.,
Kitami Inst. of Tech.)

Mitsuru FUJIMURA(Abashiri Concrete Products
Cooperative Society)

Key words:freeze-thaw resistance, compressive strength, steam-cured concrete,
concrete products, high temperature

1. はじめに

コンクリートの硬化促進を目的として大気圧下で行う常圧蒸気養生を一般に蒸気養生といい、コンクリート製品工場で広く採用されている。コンクリート製品の製造では、蒸気養生によって水和を促進させて製品を早期に完成させ、型枠の使用効率を高めているのである。

蒸気養生がコンクリートの若材齢時の強度性状に及ぼす影響についてはかなりの研究がなされてきている。一方、寒冷地ではコンクリート製品に凍害が発生することもあるが、蒸気養生条件と耐凍害性の関係については十分に明らかにされていない。

そこで、本研究ではコンクリート製品の高品質化に関する研究の一環として、蒸気養生条件がコンクリートの耐凍害性及び長期材齢強度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2.1 実験計画

蒸気養生の、最高温度（45°C、65°C、85°C）、最高温度を65°Cとした場合のその保持時間（1時間、2時間、4時間）が耐凍害性、圧縮強度

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、粉末度（ブレーン法）3350(cm ² /g)
細骨材	陸砂	比重 2.62、吸水率 1.18%、粗粒率 2.71
粗骨材	碎石	比重 2.87、吸水率 1.61%、粗粒率 6.63

に与える影響について検討した。

2.2 使用材料

表1に使用材料を示す。

2.3 配合

表2に配合を示す。

2.4 養生

(1) 蒸気養生

供試体の打込み終了後、型枠のまま養生槽に入れ蒸気養生を行った。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。

(2) 蒸気養生終了後の養生

蒸気養生終了後脱型した供試体を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 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ の部屋で湿布をかけて養生を行った。

(3) 標準養生

供試体を、打込み終了後室内（室温約 10°C 、湿度約97%）におき、蒸気養生を行った供試体の養生終了時刻に脱型して凍結融解試験開始材齢あるいは圧縮強度試験材齢まで恒温水槽（水温 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ）に入れた。標準養生を行った供試体を、養生条件番号No.0とする。

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

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14日間、蒸気養生終了後の養生又は標準養生を行った後、材齢14日から水中で急速凍結融解試験を300サイクルまで行い、質量減少率及び相対動弾性係数を求めた。

耐久性指数は、ASTM C666に準じて求めた。

(3) 圧縮強度

蒸気養生を行った供試体では材齢1日、3日、7日、14日、28日、91日に試験を行った。標準養生を行った供試体では材齢3日、7日、14日、28日、91日に試験を行った。

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、耐凍害性及び圧縮強度の実験結果を示す。耐凍害性の耐久性指数、質量減少率は凍結融解300サイクル終了後の値である。

表2 配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	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 (kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨 材 S	粗骨 材 G
20	8±2.5	4.5±1	45.0	43.0	138	307	811	1178

表3 蒸気養生条件

養 生 条 件 番 号	蒸 氣 養 生				
	前養生		昇温 速度 (°C/h)	最高 温度 (°C)	保持 時間 (h)
	温度 (°C)	時間 (h)			
No.1				45	
No.2				65	1
No.3	20	2	20	85	
No.4					2
No.5				65	4

表4 実験結果

養生条件	フレッシュコンクリートの性状			耐凍害性		圧縮強度 (kgf/cm ²)							
	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	耐久性 指数	質量 減少率 (%)	材齢 0日	材齢 1日	材齢 3日	材齢 7日	材齢 14日	材齢 28日	材齢 91日	
標準 養生	No.0	7.0	4.0	17.0	98	2	—	—	249	376	421	464	456
蒸 氣 養 生	No.1	9.0	4.4	19.0	98	2	24	78	207	313	366	365	424
	No.2				93	2	84	117	203	292	358	329	410
	No.3				96	2	125	202	238	301	342	355	366
生	No.4	9.5	4.4	17.0	73	3	132	183	237	315	333	358	372
	No.5	7.0	4.0	17.0	98	1	198	255	301	351	352	404	424

表中材齢 0日とは、最高温度の保持時間終了直後のことである。

3.1 最高温度と耐凍害性

図1に最高温度と耐久性指数の関係を示し、図2に最高温度と質量減少率の関係を示した。これらの図から明らかなように、最高温度を45°C、65°C、85°Cとした場合の耐久性指数や質量減少率の差は小さく、また、標準養生供試体（No.0）との違いも見られない。

以上の結果から、蒸気養生の最高温度を45°C、65°C、85°C、最高温度の保持時間を1時間とした範囲では、いずれのコンクリートも良好な耐凍害性を示した。

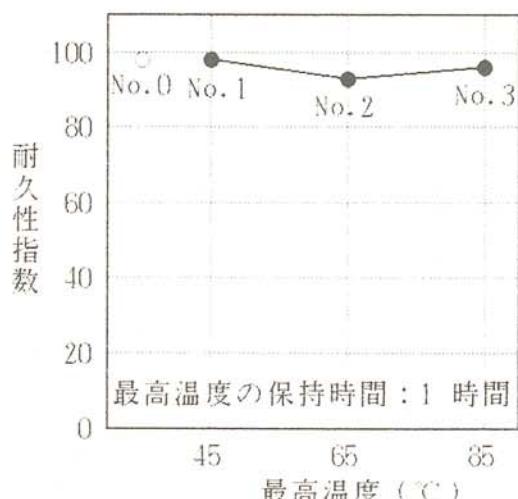


図1 最高温度と耐久性指数の関係

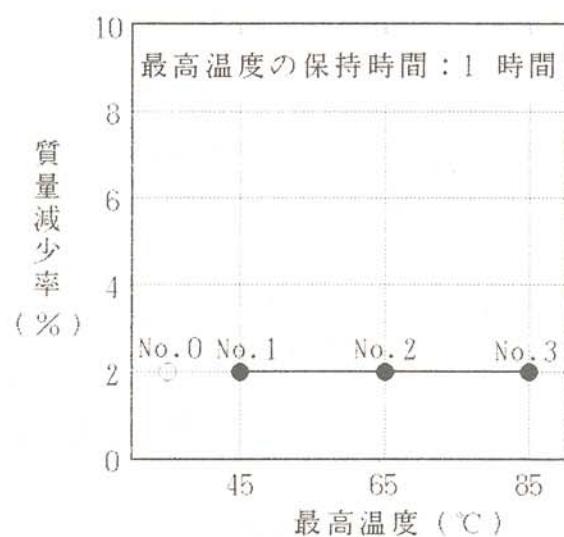


図2 最高温度と質量減少率の関係

3.2 最高温度の保持時間と耐凍害性

図3に最高温度を65°Cとした場合のその保持時間と耐久性指数の関係を示し、図4に最高温度の保持時間と質量減少率の関係を示した。この実験の範囲では、最高温度の保持時間を1時間、2時間、4時間とした場合の耐久性指数は73~98の範囲にあり、また、質量減少率は1~3%の範囲にあった。

以上の結果から、蒸気養生の最高温度を65°C、その保持時間を1~4時間とした範囲では、その耐凍害性にややばらつきがみられるが、いずれのコンクリートも良好な耐凍害性を示した。

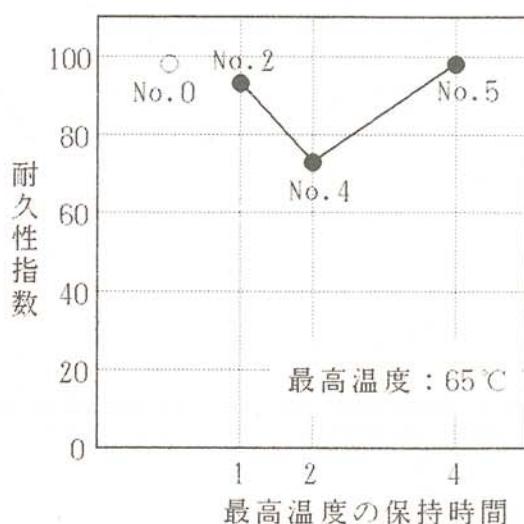


図3 最高温度の保持時間と耐久性指数の関係

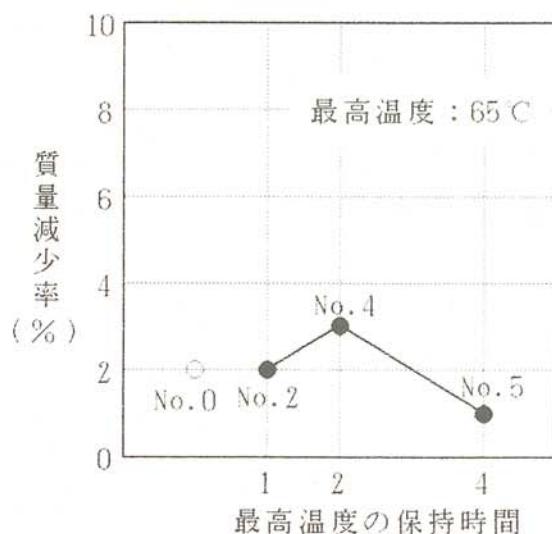


図4 最高温度の保持時間と質量減少率の関係

3.3 最高温度と圧縮強度

図5に、最高温度別の圧縮強度の発現性状を、図6に最高温度と材齢1、3、7、28、91日の圧縮強度の関係を示した。これらの図から明らかなように材齢3日までは最高温度が高い方が圧縮強度は高い傾向にあり、材齢7~28日では最高温度の違いによる圧縮強度の差はほとんどなく、材齢91日では最高温度が高い方が圧縮強度が低くなっている。このことから高い最高温度は若材齢の強度発現に有利であるが、長期材齢における強度の伸びを抑制させることが明らかになった。また、すべての材齢の蒸気養生供試体の圧縮強度は、同じ材齢の標準養生供試体(No.0)の圧縮強度より低かった。

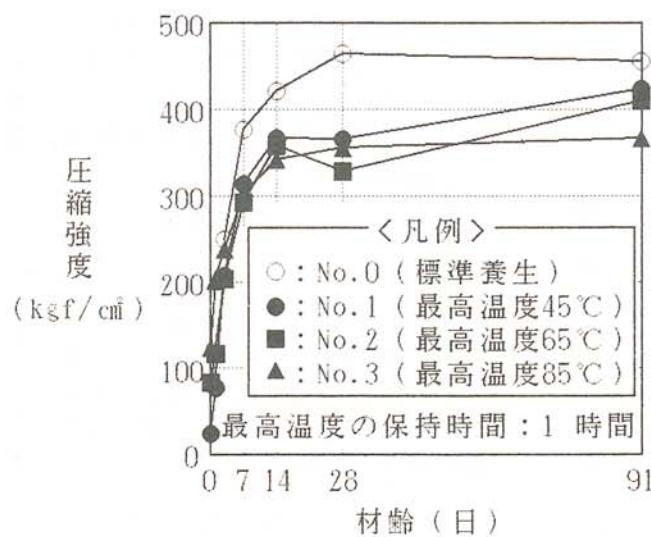


図5 最高温度と圧縮強度発現性状の関係

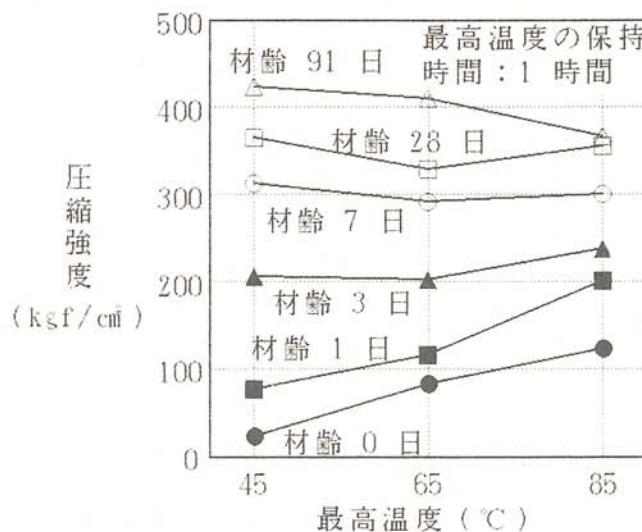


図6 最高温度と圧縮強度の関係

3.4 最高温度の保持時間と圧縮強度

図7に最高温度を65°Cとした場合のその保持時間別の圧縮強度の発現性状を、図8に最高温度の保持時間と圧縮強度の関係を示した。これらの図から明らかのように材齢が若いほど、最高温度の保持時間が長い方が圧縮強度は高くなっている。また、一部（材齢3日の最高温度の保持時間4時間）を除き、蒸気養生供試体の圧縮強度は、標準養生供試体（No.0）の圧縮強度より低かった。

4. おわりに

蒸気養生の最高温度（45°C～85°C）、及び最高温度（65°C）の保持時間（1～4時間）を変化させたコンクリートを用いて実験を行った結果、いずれの供試体も良好な耐凍害性を示した。また、最高温度の保持時間を1時間とした場合、最高温度が高いと長期強度の伸びが停滞する

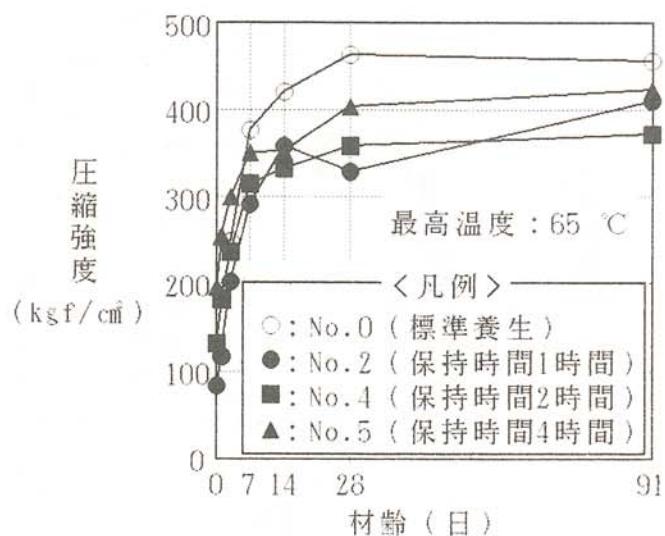


図7 最高温度の保持時間と圧縮強度発現性状の関係

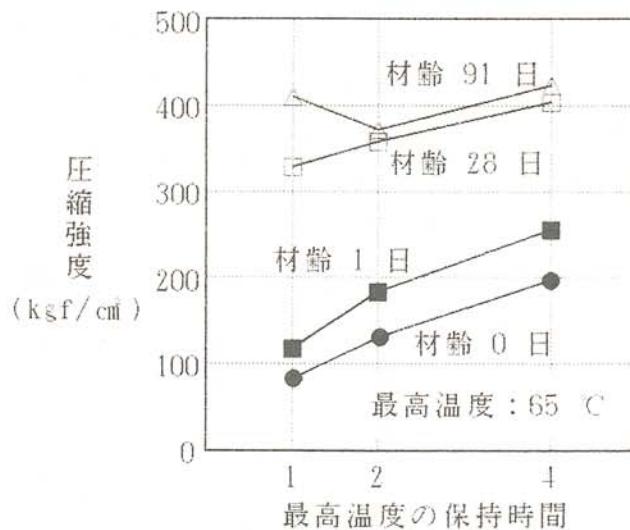


図8 最高温度の保持時間と圧縮強度の関係

こと、及び最高温度を65°Cとした場合その保持時間が長いほど若材齡の圧縮強度が高くなることなどが明らかにされた。

実験の範囲が限られているので、コンクリートの長期材齡強度と耐凍害性の関係を明らかにするには至っていないが、今後さらにデータを蓄積して、蒸気養生コンクリート製品の最適養生条件について検討し、コンクリート製品の高品質化を目指す計画である。

本研究の実施にあたりご協力いただいた網走管内コンクリート製品協同組合の各組合員、ならびに北見工業大学 猪狩平三郎 氏、増岡宗朗 氏に感謝申し上げます。

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

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）

大島 俊之（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 (Dept. of Civil Eng., Fac of Eng.
Kitami Inst. of Tech.)

Toshiyuki OHSHIMA (Dept. of Civil Eng., Fac of Eng.
Kitami Inst. of Tech.)

Hiroshi SAKURAI (Dept. of Civil Eng., Fac of Eng.
Kitami Inst. of Tech.)

Nobuyuki KIMURA (Shimada Corporation)

Key words:frost resistance, durability, marine concrete, cold regions,
ice covered sea, air content, scaling

1. はじめに

石油・天然ガス等の資源開発のために、アラスカ・カナダの北極海沿岸、スカンジナビア半島北部のバルツ海等の氷海域において海洋コンクリート構造物が建設されたり、計画されたりしており、その耐久設計と耐凍害性評価は重要な研究課題となっている。我が国でも北方領土返還の気運の高まりとともに、北海道と北方領土を結ぶ流氷海域に橋を架ける構想がある。

しかし、寒冷地における海洋コンクリート構造物は、過酷な環境下にあり北海道の海岸・港湾コンクリート構造物の実態調査によれば、その損傷は内陸の構造物の2倍を超えており、より厳しい環境である北極海、バルツ海等では、さらに耐久性が損なわれる危険性がある。

筆者らは、氷海域の海洋コンクリート構造物の劣化防止を目的として、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劣化の抑制に適していることを明らかにした¹⁾。しかしながら、これらの結果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いまだ十分に行われていない。

本研究では、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資するために7年前から流氷海域であるオホーツク海で行っている暴露実験の結果から、促進試験で得られた結果を検証するとともに、実気象・海象条件下での劣化抑制に及ぼす空気量の影響について検討した。

2. 暴露実験の概要

2.1 実験要因：外的要因として海水の作用（干満帯、潮風帯、非海洋環境＝内陸）、内的要因として空気量（Non～10%）をとりあげた。

2.2 暴露実験場

暴露箇所として流氷海域であるオホーツク海沿岸の飛沫帯と潮風帯を選んだ。また、これらの箇所に暴露したコンクリートと劣化性状を比較するために内陸（北見）にある建物屋上にも供試体を暴露した。

それぞれの暴露箇所の詳細は以下のとおりである。

(1)干満帯：オホーツク沿岸の漁港の干満帯にある排水トラフの内部に小型コンクリート供試体（ $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ ）を暴露している。満潮時には排水トラフそのものが水没するために供試体は完全に水浸された状態になり、干潮時には供試体は大気中にある。このように、潮の干満作用による乾湿の繰返しを受ける厳しい環境にあり、「土木学会コンクリート標準示方書（以下、示方書）」海洋コンクリートの環境区分の「飛沫帯」に相当する。以下、この暴露場での実験を「干満帯暴露」と称する。供試体中心部の温度から凍結温度を -2°C として求めたコンクリートの凍結融解回数を表1に示す。

表1 凍結融解回数

暴露環境	1989年秋 ～1990年春	1990年秋 ～1991年春	1991年秋 ～1992年春	年平均 回数
干満帯	31	66	20	39
内陸	137	137	140	138

(2)潮風帯：(1)の漁港から約5km離れた港湾にある小島に消波ブロック(約2t)を暴露している。常時潮風を受け、波しうきをまれに受ける環境であり、示方書の環境区分の「海上大気中」に相当する。以下、この暴露場での実験を「潮風帯暴露」と称する。

(3)内陸：(1), (2)の暴露地から約50km内陸にある北見工業大学の建物屋上に小型コンクリート供試体（ $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ ）を暴露している。供試体は、屋上スラブ上に直接静置し、冬期間も除雪は行わなかった。以下、大学屋上での暴露を「内陸暴露」と称する。供試体中心部の温度から凍結温度を 0°C として求めたコンクリートの凍結融解回数を表1に示す。

2.3 使用材料

使用材料を表2に示す。粗骨材の最大寸法は、小型コンクリート供試体では25mm、消波ブロックでは40mmである。

2.4 配合、練上がり性状、強度及び養生

配合、練上がり性状及び材令28日における $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 円柱供試体の圧縮強度 f'_{28} 、動弾性係数 E_D を表3に示す。実験ケースAは、干満帯と内陸環境の違いによるコンクリートの性状を検討するために用いた配合であり、干満帯と内陸に暴露している。ケースB、ケースCは、スケ

ーリングに及ぼす空気量の影響を検討するために用いた配合であり、ケースBは干満帶に、ケースCは潮風帯に暴露している。

ケースA、Bの小型コンクリート供試体は、打込み後24時間温空養生（室温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $90 \pm 5\%$ ）を行い、脱型後、暴露開始材令（28日）まで水中養生（水温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ）を行った。

ケースCの消波ブロックは麻袋・散水養生を7日間行った後にそれぞれ暴露を開始した。なお、暴露年数は、ケースAは6年、ケースBは7年、ケースCは5年である。

表2 使用材料

供試体の種類	材 料	品 質
小型コンクリート 供試体 (10×10×40cm)	セメント	普通ポルトランドセメント(比重3.16、比表面積3270cm ² /g)
	細骨材	川砂(比重2.61、吸水率2.40%、粗粒率2.68)
	粗骨材	川砂利(比重2.66、吸水率2.40%、粗粒率6.78)
消波ブロック (2tテトラポット)	セメント	普通ポルトランドセメント(比重3.16、比表面積3340cm ² /g)
	細骨材	丘砂(比重2.60、吸水率1.73%)
		川砂(比重2.56、吸水率2.08%)
		丘砂：川砂 = 6 : 4で混合(粗粒率2.56)。
	粗骨材	川砂利:最大寸法25mm(比重2.57、吸水率2.22%、粗粒率6.86) 川砂利:最大寸法40mm(比重2.57、吸水率2.13%、粗粒率7.20) 最大寸法25mm : 最大寸法40mm = 6 : 4で混合。

表3 配合、練上がり性状、圧縮強度、動弾性係数

供試体の種類	ケース	空気量	配 合			練上がり性状			硬化コンクリート	
			W/C (%)	s/a (%)	セメント量 (kg/m ³)	スラブ° (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	f'₂₈ (kgf/cm ²)	E _D (tf/cm ²)
小型コンクリート 供試体 (10×10 ×40cm)	A	4 %	54.2	33.0	260	7.0	3.7	19.0	299	346
	B	No n	51.2	35.3	303	7.0	1.7	18.0	350	394
		4 %	53.3	33.3	259	7.0	3.7	18.5	308	365
		6 %	51.7	33.3	259	7.0	5.5	18.5	331	356
		8 %	50.6	33.3	259	7.0	8.0	18.0	243	338
消波ブロック (2tテトラポット)	C	No n	50.0	39.9	308	5.0	1.6	17.5	378	---
		4 %	50.0	39.6	270	6.0	5.2	17.0	298	---
		6 %	49.4	39.1	261	6.5	6.0	17.5	270	---
		8 %	46.9	38.0	260	5.5	7.3	17.5	288	---
		10 %	43.5	37.0	262	6.0	10.8	18.0	189	---

2. 5 劣化指標

小型コンクリート供試体では動弾性係数、質量を、消波ブロックではスケーリング（剥離）部分の面積とその平均深さをそれぞれ毎年一回測定し劣化指標とした。

消波ブロックの測定面の寸法は50×50cmであり、測定箇所は、供試体の上部、下部の2面である。測定面を図1に示す。剥離面積は、測定面に透明のビニールシートを当て、剥離部分を油性インクでなぞり、シートに描かれた剥離部分を画像解析装置で求めた。剥離深さは、一測定面につき数点（最大10点）測定し、その平均値で表した。なお、剥離深さの経年変化を把握するために、深さは毎年同じ点で測定した。結果は、剥離面積率と剥離度（剥離面積率×剥離深さ）で表した。

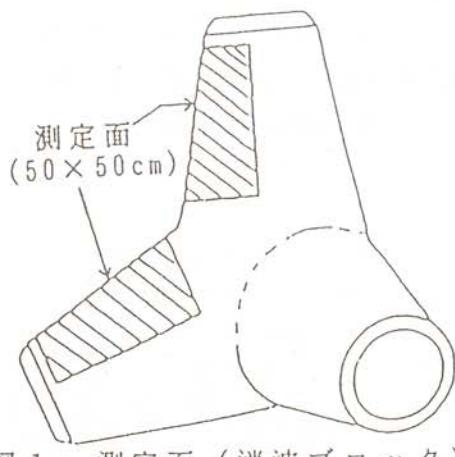


図 1 測定面 (消波ブロック)

3. 実験結果及び考察

3. 1 干満帯暴露と内陸暴露の比較

表1によれば、内陸に比べて干満帯の凍結融解回数がかなり少ない。これは冬期間に、干満帯ではトラフ内が結氷と流水により海水の移動がなく積雪しているのに対し、内陸では屋上暴露のため日中の日射により融雪するととも温度が上がったためである。

図2に干満帯と内陸にそれぞれ6年間暴露した小型コンクリート供試体の動弾性係数と質量の経年変化を示した。干満帯の動弾性係数は内陸に比べて大きくなっている。海洋環境下では水に接している時間が長いため、セメントの水和が進み強度が増加していることを示しており、劣化の傾向は顕著に表れていない。既報^{2) 3)}の傾向と同様に、質量は干満帯の方が少なくなつておらず、凍結融解回数が少ないにもかかわらずスケーリングが進行していることを示している。

以上の結果から、干満帯という厳しい海洋環境下にあるコンクリートは動弾性係数の低下はあまり認められないも

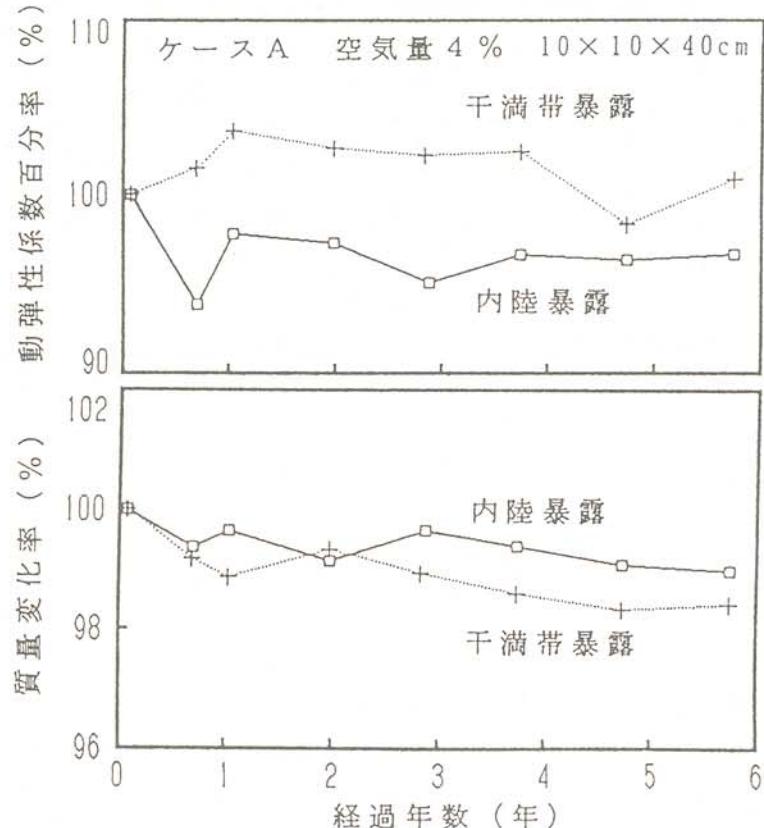


図 2 干満帯暴露と内陸暴露の比較

の、内陸のコンクリートに比べてスケーリングが多く発生することが確認された。

3. 2 空気量の影響

図3に暴露7年経過の小型コンクリート供試体の動弾性係数、質量に及ぼす空気量の影響を示した。空気量8%のコンクリートでは、暴露7年経過後も動弾性係数の低下は認められない。また、質量も空気量6%以下のコンクリートに比べて減少の度合いが低く、スケーリングの発生が少ないことを示している。

図4に暴露5年経過の消波ブロックのスケーリングに及ぼす空気量の影響を示した。暴露5年経過後も剥離面積率は、空気量8%のコンクリートでは0.6%，10%のコンクリートでは0.2%であり、剥離度は空気量8%のコンクリート、10%のコンクリートそれぞれ0.006mm, 0.002mmと干満帶にある空気量8%の小型コンクリート供試体と同じくスケーリングはほとんど発生していない。空気量8%と10%のコンクリートを比較すると、スケーリングの発生には大きな差が認められないものの、表3に示したように、強度は空気量8%のコンクリートの方が空気量10%のコンクリートよりも大きい点を考慮すれば、海洋環境下の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。

以上の結果から、海洋コンク

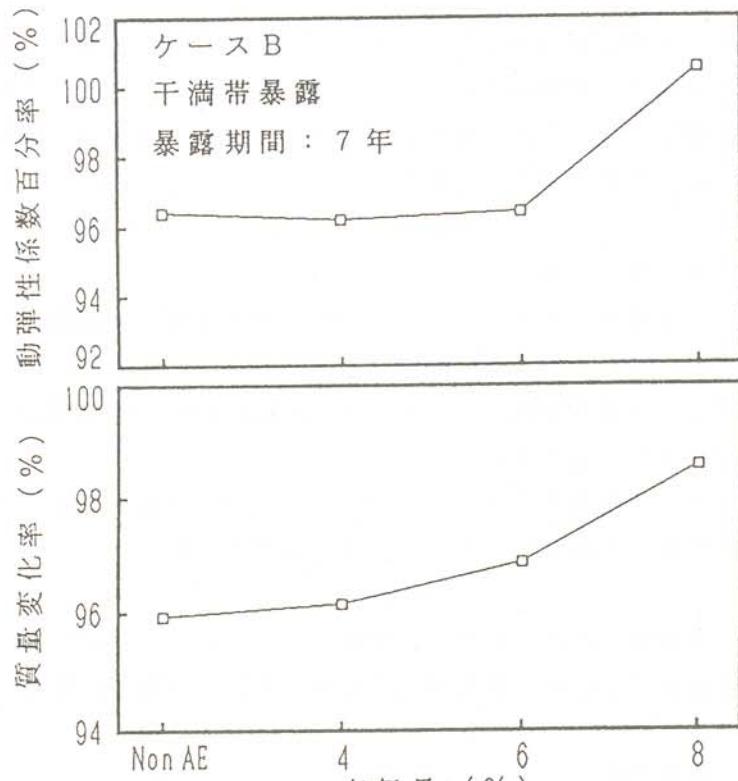


図3 空気量の影響
(小型コンクリート供試体)

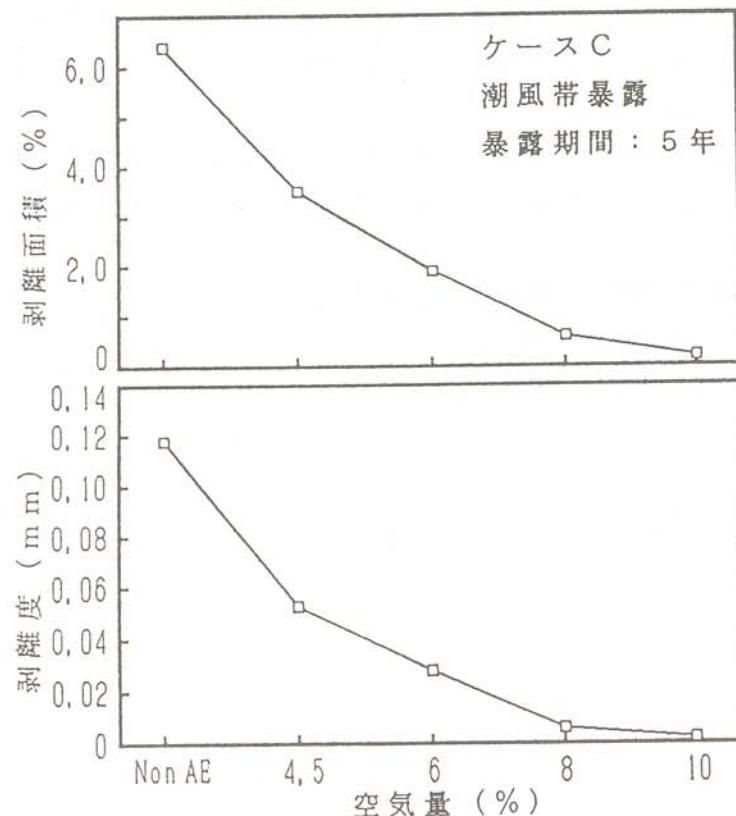


図4 空気量の影響
(消波ブロック)

リートでは空気量を8%にするとスケーリングの発生、進行が抑制され耐凍害性確保に効果的であることが実証された。スケーリング抑制のために内陸のコンクリートより多くの空気量が必要なのは、海水の作用によりセメントペースト硬化体組織がポーラスになり⁴⁾、凍結水量が多くなったためであると思われる。

4. まとめ

流氷海域であるオホーツク海沿岸の干溝帯、潮風帯及び非海洋環境として海岸から50km内陸の建物屋上で5~7年間行った本暴露実験の範囲から以下のことが明らかになった。

- (1) 干溝帯暴露コンクリート(空気量4%)は内陸暴露コンクリート(同)に比べてスケーリングが多く発生する。
- (2) 空気量8%のコンクリート(粗骨材の最大寸法; 25mm、40mm)は干溝帯、潮風帯の環境下であってもスケーリングの発生が抑制される。

本研究の遂行にあたり、御協力いただきました島田建設株式会社 安藤輝夫副社長ほか関係各位並びに北見工業大学 猪狩平三郎氏、小笠原育穂氏、日下陽一郎氏に感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 鮎田耕一、林正道: 海水の作用を受けるコンクリートの耐凍害性確保のための適正空気量、第8回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.93~96, 日本コンクリート工学協会, (1986)
- (2) 鮎田耕一、桜井宏、猪狩平三郎、木村伸之、安藤輝夫: オホーツク海に5年間暴露したコンクリートのスケーリング性状、土木学会47回年次学術講演会講演概要集第5部, pp.442~443, (1992)
- (3) 鮎田耕一、桜井宏、木村伸之、安藤輝夫、小笠原育穂: 寒冷地海洋コンクリートのスケーリング防止対策、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第5部, pp.236~237, (1993)
- (4) 鮎田耕一、林正道: 海水にさらされたコンクリート露出面の強度性状、セメント技術年報, Vol.36, pp.349~352, (1982)

積雪寒冷地における通年施工に関する調査研究

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)

鈴木 輝之 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

大島 俊之 (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 (Dept. of Civil Eng., Fac of Eng.,
Kitami Inst. of Tech.)

Teruyuki SUZUKI (Dept. of Civil Eng., Fac of Eng.,
Kitami Inst. of Tech.)

Toshiyuki OHSHIMA (Dept. of Civil Eng., Fac of Eng.,
Kitami Inst. of Tech.)

Hiroshi SAKURAI (Dept. of Civil Eng., Fac of Eng.,
Kitami Inst. of Tech.)

Takaya MIZUMOTO (Mizumoto Corporation)

Key words:cold weather concreting, compressive strength, frost resistance,
nonfreezing agents, cumulative temperature

1. はじめに

北海道に代表される積雪寒冷地では、冬期の建設工事量が夏季に比べて極端に少なくなり、温暖な地方の工事量が年間を通じて大きな変化がないことに比べて際立った特徴を有している。

積雪寒冷地における冬季の建設工事が敬遠されているのは、施工に困難さが伴うことや暖房のための工費がかさむためであろう。しかし、構造物の早期完成や冬季間の遊休施設の活用、さらには雇用の安定などを考えれば、積雪寒冷地における通年施工の確立は急務な課題といえる。

本共同研究は、平成3年度から実施しており、我が国はもとより諸外国の通年施工の実態などを調査してきた。その結果、寒冷な諸外国に比べて我が国では寒中コンクリートの実施例が少ないことが明らかになった。これは凍害によって品質が不十分になるおそれのためであろう。

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を施工する事例が報告されている。この施工方法が確立されれば、寒中コンクリートを実施するうえで好都合である。そこで、筆者らは、耐寒剤を用いた寒中コンクリートの施工法の確立に資することを目的として、平成4年1月の厳寒期にオホーツク海沿岸で試験施工を行った。その結果、耐寒剤を用いたコンクリートは、簡単な保温養生を行うだけで初期凍害を受けることなく、強度発現も良好

であることを明らかにした¹⁾。

ここでは、試験施工に伴って行った実験から、耐寒剤を使用したコンクリートの積算温度と圧縮強度の関係及び耐凍害性について検討した結果を報告する。

2. 実験及び解析方法

2.1 使用材料

使用材料を表1に示す。

2.2 配合及び練上がり性状

使用したコンクリートの配合及び練上がり性状を表2に示す。表中のプレーンコンクリートとは耐寒剤を使用していないコンクリートのことである。なお、耐寒剤使用コンクリートでは、AE助剤を用いて空気量を調整した。

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)					
細骨材	川砂(比重2.56, 吸水率1.98%) 陸砂(比重2.61, 吸水率1.71%) 川砂: 陸砂=1:1で混合(粗粒率2.73)					
粗骨材	川砂利(比重2.58, 吸水率1.83%, 粗粒率7.24, 最大寸法40mm)					
耐寒剤	ポリウレア-エマルジョン導体及び含窒素化合物					
AE減水剤	ウニンスルホン酸化合物及びポリオール複合体					

表2 コンクリートの配合及び練上がり性状

配合及び練 上がり 性状 コンクリート種類	配合								練上がり性状		
	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				単位混和剤量 (ℓ/m ³)	スラン ブロ (cm)	空気 量 (%)	温度 (℃)	
			W	C	川砂	陸砂					
耐寒剤使用コンクリート	42.5	37.6	138	325	338	348	1136	16.250*	---	9.0	5.7
プレーンコンクリート								---	0.813	9.0	4.7
											15

注) * : 5 ℥/C=100kg

2.3 供試体及び養生

耐寒剤使用コンクリート供試体(φ12.5×25cm, 10×10×40cm), プレーンコンクリート供試体(φ12.5×25cm, 10×10×40cm)とともにレディーミキストコンクリート工場で作成した。供試体は、型枠をつけたまま同工場試験室(室温10°C程度)に3日間静置し、その後北見工業大学に搬入し脱型した。圧縮強度試験用の耐寒剤使用コンクリート供試体は脱型後、ラップフィルム及びビニール袋で封かん状態にし、その後、20, 10, 0, -5, -10°Cの各一定温度条件下に静置した。一方、プレーンコンクリート供試体は脱型後、実験室(室温20°C, 湿度60~70%)に1日間静置し、その後ラップフィルム及びビニール袋で封かん状態にして20, 10°Cの一定温度条件下に静置した。凍結融解試験用の供試体は脱型後、材令35日まで水中養生(水温: 17°C)を行った。

2.4 圧縮強度試験方法

レディーミクストコンクリート工場で作成した円柱供試体を用いて材令3日～3ヶ月で行った。試験時の積算温度を図1に示した。上図は積算温度を日単位で求めた場合であり、下図は時間単位で求めた場合である。圧縮強度試験は、封かんを解除しキャッピングを行ってから、封かん養生温度10, 20°Cの供試体は水槽（水温20±3°C）に入れ、封かん養生温度0, -5, -10°Cの供試体は5°Cの水に浸し、2時間以上浸水させてから行った。

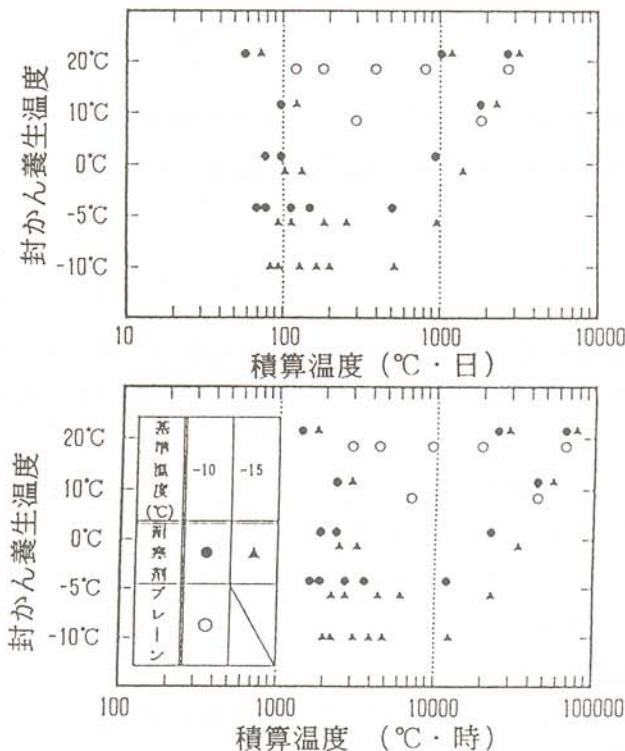


図1 積算温度の分布

2.5 積算温度

積算温度は、一般に次式で与えられる。

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

ここに、M : 積算温度 (°C · 日又は°C · 時)

T : コンクリート温度 (°C)

T_0 : 基準温度 (°C)

Δt : 時間 (日又は時間)

基準温度 T_0 は、水和反応が起り得る最低のコンクリート温度で、一般には-10°Cが用いられている。本研究では、-10°Cのほかに-15°Cも用いて解析した。これは、耐寒剤を用いることによって-10°C以下にコンクリート温度が下がっても水和反応が進むことを想定したものである。

積算温度は、耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリートともに材令3日まではレディーミクストコンクリート工場試験室に静置したコンクリート温度を基に、その後は封かん養生温度をコンクリート温度として、日単位と時間単位についてそれぞれ算出した。ただし、プレーン供試体は封かん状態にする前の1日は、実験室の室温（20°C）をコンクリート温度として積算温度を算出した。

2.6 ロジスティック曲線の適用

本研究では、強度増進曲線にロジスティック曲線を用いた。ロジスティック曲線は、一般に次式で表される²⁾。

$$y = \frac{\gamma}{1 + \alpha \exp(-\beta t)} \quad \alpha, \beta, \gamma > 0 \quad \text{--- (2)}$$

(2) 式の時間変数 t を任意の変数 x に変え、 α を $\exp \alpha$ に置き換えると

$$y = \frac{\gamma}{1 + \exp(\alpha - \beta x)} \quad \text{----- (3)}$$

となる。ここで、 x を積算温度 M の対数とし、 y を積算温度 M のときの圧縮強度 f' (kgf/cm^2)、 γ を最終到達強度 F (kgf/cm^2) とすると、強度増進曲線として

$$f' = \frac{F}{1 + \exp(\alpha - \beta \log M)} \quad \text{----- (4)}$$

が得られる^{3) 4)}。

この曲線によると、強度発現性状は、 $f' = F/2$ の変曲点に達するまでは加速度的に増加し、変曲点を越えると増加の伸びは緩やかになっていき、やがて最終到達強度 F に近づいて行くというパターンを描く。

実験結果のロジスティック曲線による近似は、3点法により最終到達強度 F を推定した後、 $X = \log M$ 、 $Y = \ln \{ f' / (F - f') \}$ と変数変換して最小二乗法により係数 α 、 β を求めた。なお、3点法には等間隔の値が必要なことから、本研究では、試験時の積算温度（図1）の範囲内の表3に示した3点を用い、それぞれの強度を一次補間から求めた。

2.7 急速凍結融解試験方法

材令35日から土木学会規準「コンクリートの凍結融解試験方法（案）」に準じて行った。結果は相対動弾性係数と質量減少率で表した。

表3 3点法に用いた積算温度の値

積算温度の 算出方法及 び基準温度	日単位 (°C・日)		時間単位 (°C・時)	
	-10°C	-15°C	-10°C	-15°C
耐寒剤使用	60	75	1440	1800
コンク リート	360	450	8640	8640
ブレーン	2160	2700	51840	64800
コンク リート	150		3600	
ブレーン	600		14400	
コンク リート	2400		57600	

3. 結果及び考察

3.1 耐凍害性

急速凍結融解試験結果を図2に示した。耐寒剤使用コンクリート、ブレーンコンクリートとともに300サイクル終了時の相対動弾性係数は約80%であり、質量減少率も1%程度であることから耐凍害性は良好である。

3.2 圧縮強度発現性状

-10°C, -15°Cを基準温度として日単位で求めた積算温度と圧縮強度の関係をロジスティック曲線で表したものを見た。また、ロジスティック曲線の係数を表4に示した。耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリートとともに積算温度(°C・日)と圧縮強度の関係はロジスティック曲線で表され、基準温度-10°Cで高い相関が認められる(上図)。また、耐寒剤使用コンクリートは、基準温度-15°Cの場合も高い相関が認められる(下図)。同様に、時間単位で求めた積算温度と圧縮強度の関係は図4に示すロジスティック曲線で表され、基準温度-10°C, -15°Cにおける相関係数は日単位で積算温度を求めた場合と同じであった。

以上のことから、耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリートともに圧縮強度は積算温度と密接な関係があり、その関係はロジスティック曲線で近似できることが明らかになった。

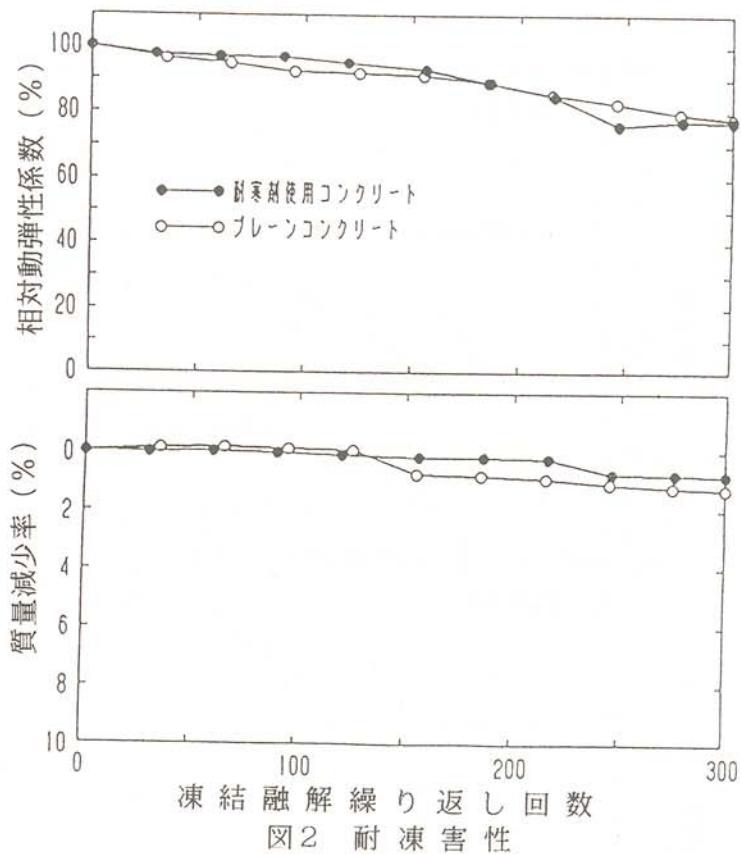


表4 ロジスティック曲線の係数

積算温度の算出方法及び基準温度	日単位		時間単位	
	-10°C	-15°C	-10°C	-15°C
耐寒剤使用	F	495	494	495
	α	3.122	3.438	5.253
	β	1.541	1.573	1.542
プレーン	F	314		314
	α	3.440		5.888
	β	1.767		1.764

4. まとめ

耐寒剤(主成分:ポリグリコールエカル誘導体及び含窒素化合物、使用量:5ℓ/C=100kg)使用コンクリート(単位セメント量325kg/m³、水セメント比42.5%)を用いて行った実験の結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 積算温度{((°C・日)あるいは(°C・時))}と圧縮強度の関係はロジスティック曲線で精度よく近似できる。
- (2) 耐寒剤を使用したコンクリート、プレーンコンクリート(いずれも水中養生、材令35日から急速凍結融解試験)ともに耐凍害性は良好であった。

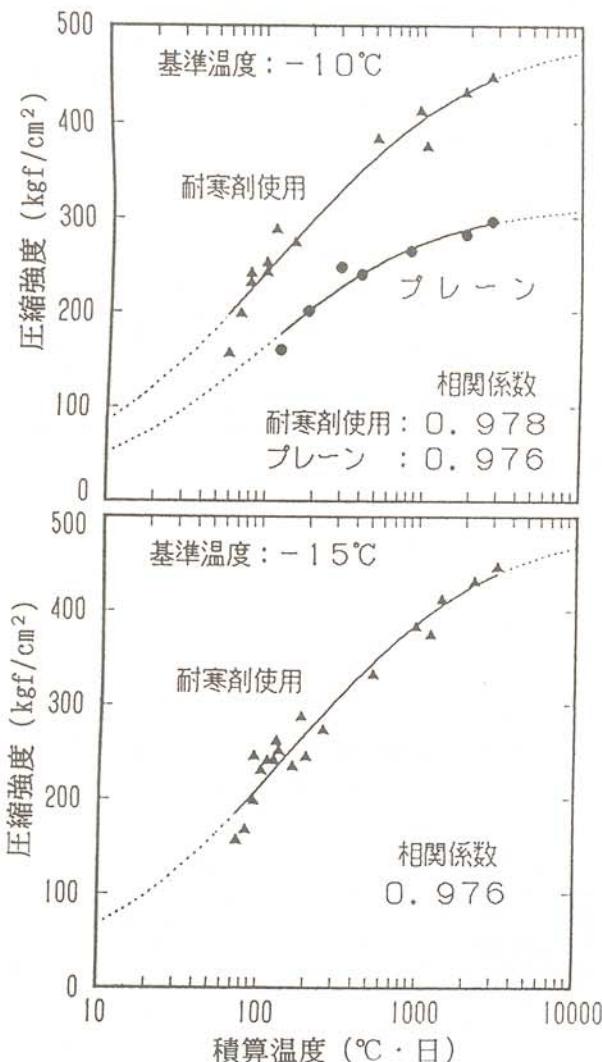


図3 積算温度（日単位）と圧縮強度の関係

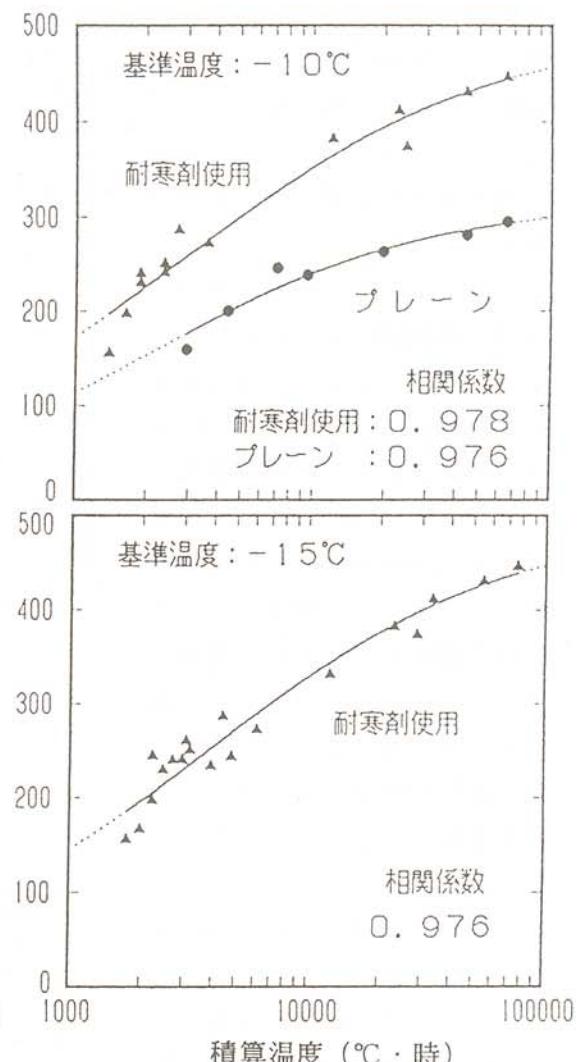


図4 積算温度（時間単位）と圧縮強度の関係

本研究の実施にあたり、ご協力いただいた北見建設業協会、佐呂間開発工業（株）並びに北見工業大学の関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 鮎田耕一, 桜井宏, 猪狩平三郎, 小笠原育穂, 長田幸樹: 耐寒剤を使用した寒中コンクリートの試験施工, 第8回寒地技術シンポジウム講演論文集, pp.521~526, (1992)
- (2) 篠谷千鳳彦: 回帰分析のはなし, pp.186~217, 東京書籍, (1991)
- (3) 洪悦郎, 鎌田英治, 田畠雅幸, 浜幸雄: ロジスティック曲線を応用したコンクリートの強度推定式の提案－普通ポルトランドセメントの場合－, 日本建築学会構造系論文報告集, 第367号, pp.1~6, (昭和61年)
- (4) 洪悦郎, 鎌田英治, 林直樹: 寒中コンクリートを対象としたコンクリート強度増進曲線の検討, セメント技術年報42, pp.295~298, (昭和63年)

コンクリートの合理化施工に関する研究

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)

Koichi AYUTA (Dept. of Civil Eng., Fac. of Eng.,
Kitami Inst. of Tech.)
Hiroshi SAKURAI (Dept. of Civil Eng., Fac. of Eng.,
Kitami Inst. of Tech.)
Hajime SASAKI (Igarashi Corporation)

Key words: super flowing concrete, segregation, freeze-thaw resistance, low surface active viscous agent, air void, entrained air

1. はじめに

近年、建設作業者の高齢化などに伴い、コンクリートの打込みや締固め作業の合理化が要求されている。そこで注目されているのが高流動コンクリートである。この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めがほとんど必要なく、コンクリート構造物の施工の省力化に有効である。また、充填性に優れ、材料分離もしにくいために、コンクリートの高品質化も期待できる。この高流動コンクリートの製造方法については、いくつか提案され実際の施工に応用されだしている。このうち、水中不分離性混和剤として使用されているメチルセルロースを主成分とした増粘剤を用いた高流動コンクリートは製造が容易であり、今後広い範囲で使用が期待されているが、空気が多量に混入されるという欠点がある¹⁾。

そこで、本研究ではメチルセルロース系増粘剤よりも空気混入量が少ない、低界面活性型の新しいセルロース系増粘剤（以下増粘剤とする）を用いて、空気量 4.5%程度の高流動コンクリートを製造することを目的とし、材料分離抵抗性と耐凍害性について検討した。

2. 実験方法

2. 1 実験内容

フレッシュコンクリートの基本的性状を求めるために以下の試験を行った。

- ①空気量：練上がり直後と30分後の空気量を測定した。
- ②スランプフロー：練上がり直後のスランプフローを測定した。
- ③材料分離抵抗性：スランプフロー試験の際の材料の分離状況から判断し、○；良好、△；やや分離している、×；分離している、の3段階に分類して評価した。

3.1 高性能減水剤の使用量の影響

(1) 材料分離抵抗性とスランプフロー

高流動コンクリートの材料分離抵抗性と流動性は、用いた増粘剤と高性能減水剤の使用量に支配される。そこで、増粘剤の使用量を一定 (360 g/m^3) にし、流動化剤の使用量を変化 ($C \times 1.5 \sim 3.0\%$) させたコンクリートの材料分離抵抗性を図1、練上がり時のスランプフローを図2に示す。図2中の点線はスランプフローの目標値の範囲を示している。

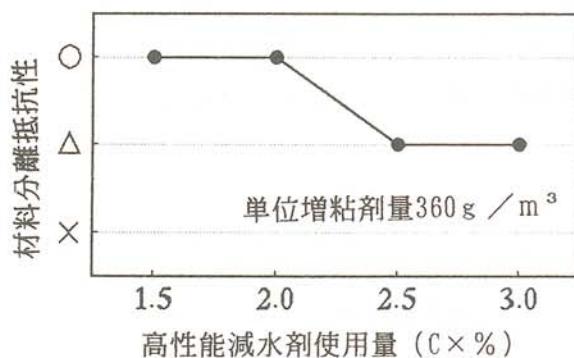


図1 高性能減水剤使用量と材料分離抵抗性

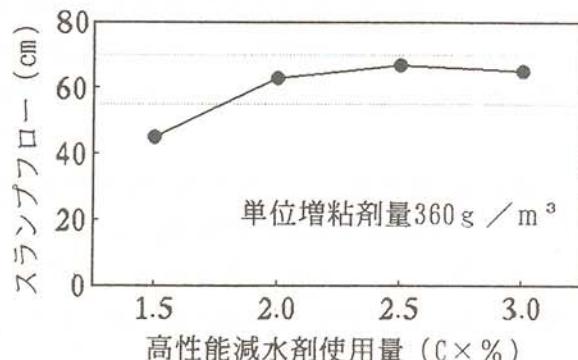


図2 高性能減水剤使用量とスランプフロー

高性能減水剤の使用量が $C \times 1.5\%$ (SF-1)、 $C \times 2.0\%$ (SF-2) の場合は、材料分離抵抗性は良好であるが、 $C \times 1.5\%$ (SF-1) の場合、スランプフローが目標値を満足していない。高性能減水剤の使用量が $C \times 2.5\%$ (SF-3)、 $C \times 3.0\%$ (SF-4) の場合、スランプフローは $C \times 2.0\%$ の場合とほとんど同じで目標値を満足しているが、材料分離がやや発生している。

この実験の範囲では、高性能減水剤を一定量以上多くしてもスランプフローは増加せず、材料分離を誘発してしまう傾向にあり、材料分離抵抗性と流動性を満足する高性能減水剤の使用量は $C \times 2.0\%$ となった。

(2) 空気量の経時変化

スランプフローが目標値に達しているコンクリートの高性能減水剤の使用量と練上がり直後、30分後の空気量の関係を図3に示す。高性能減水剤を使用していない場合(ベース)の30分後の空気量の減少は1.0%である。一方、高性能減水剤の使用量が $C \times 2.0\%$ (SF-2) の場合の空気量の減少は、0.9%であり、ベースコンクリートとほぼ同じである。高性能減水剤の使用量の多いこのほかの配合 (SF-3、SF-4) のコンクリートの空気量の経時変化は SF-2 よりも大きい。

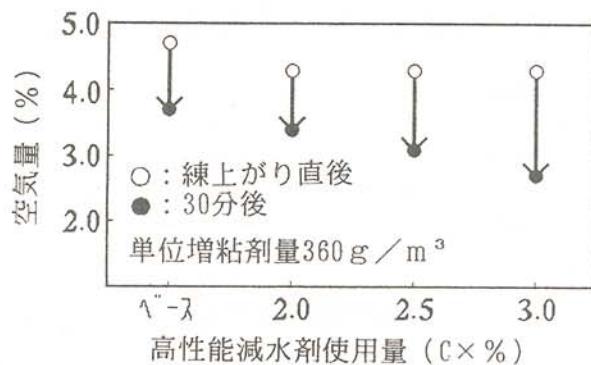


図3 空気量の経時変化

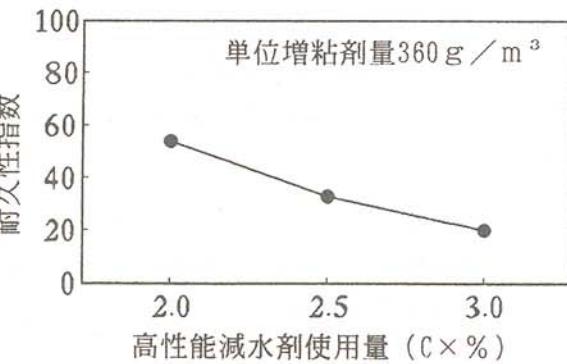


図4 高性能減水剤使用量と耐凍害性

(3) 耐凍害性

高性能減水剤の使用量と耐凍害性の関係を図4に示す。高性能減水剤の使用量が $C \times 2.0\%$ (SF-2)、 $C \times 2.5\%$ (SF-3)、 $C \times 3.0\%$ (SF-4)の順で増加すると、耐久性指数は各々54、33、20となり、高性能減水剤の使用量の増加とともに、耐凍害性が低下している。高性能減水剤の使用量が最も少ないSF-2でも耐久性指数は低く、耐凍害性を確保するためには、高性能減水剤の使用量をさらに少なくする必要がある。

しかし、前述のように高性能減水剤の使用量を $C \times 1.5\%$ (SF-1)とした場合、スランプフローは45.0cmとなり目標値を下回り、高流動コンクリートとしての流動性を確保できず、高性能減水剤の使用量を減少させる以外の方法で耐凍害性を向上させなければならないことが明らかになった。

3.2 増粘剤とAE減水剤の使用量の影響

3.1の結果から、材料分離抵抗性と流動性を併せ持った高性能減水剤の使用量 ($C \times 2.0\%$) のコンクリートでは耐凍害性が満たされないので、次に高性能減水剤の使用量を一定 ($C \times 2.0\%$) とし、増粘剤とAE減水剤の組合せで所要の品質の高流動コンクリートが得られるか検討する。

(1) 材料分離抵抗性とスランプフロー

増粘剤とAE減水剤の使用量が材料分離抵抗性に及ぼす影響は、表3に示したようにAE減水剤の使用量が $C \times 0.2$ (SF-2)、 $C \times 0.1$ (SF-5)、無使用 (SF-6) のすべてで良好である。増粘剤とAE減水剤の使用量がスランプフローに及ぼす影響を図5に示す。AE減水剤が無使用 (SF-6) の場合、スランプフローは49.5cmであり、目標値を下回り高流動コンクリートとしての流動性を確保できず、流動性を確保するためには、AE減水剤の使用が必要である。

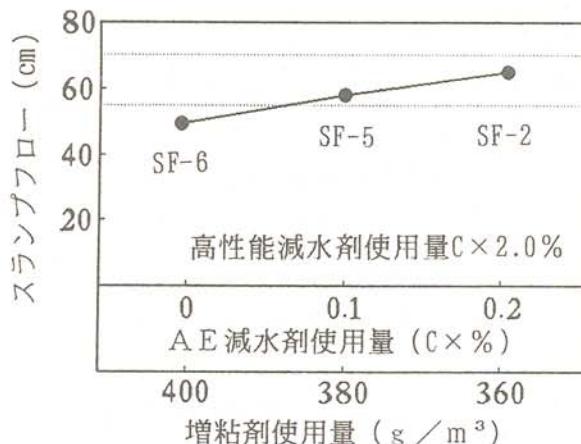


図5 増粘剤・AE減水剤使用量とスランプフロー

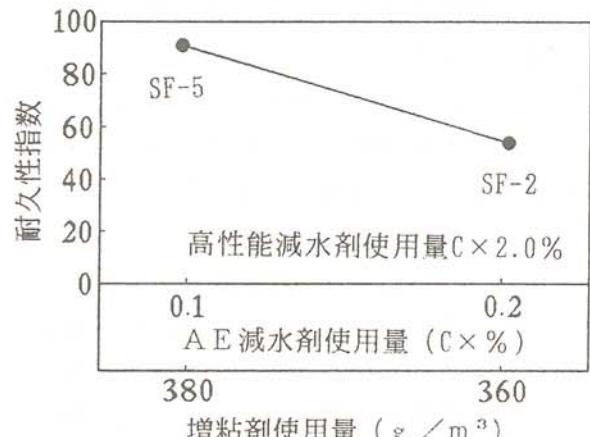


図6 増粘剤・AE減水剤使用量と耐凍害性

(2) 耐凍害性

増粘剤とAE減水剤の使用量が耐凍害性に及ぼす影響を図6に示す。増粘剤使用量380 g/m³で、AE減水剤使用量 $C \times 0.1\%$ (SF-5) の場合は耐久性指数が91で、耐凍害性が確保されている。

以上の結果から、増粘剤の使用量が380 g/m³、高性能減水剤の使用量が $C \times 2.0\%$ 、AE減水剤の使用量が $C \times 0.1\%$ で、材料分離抵抗性と耐凍害性が確保できるといえる。

3. 3 気泡組織と耐凍害性

増粘剤、高性能減水剤、AE減水剤の使用量によって、耐凍害性に差が生じる理由を明らかにするため、硬化コンクリートの気泡組織を検討した。

(1) 気泡間隔係数、気泡数と耐凍害性

(a) 気泡間隔係数と耐凍害性

気泡間隔係数と耐凍害性の関係を図7に示す。気泡間隔係数が小さいほど高流動コンクリートの耐凍害性は大きくなる傾向にあり、気泡間隔係数が200 μm 程度以下ならば耐久性指数は80以上となる。

(b) 気泡数と耐凍害性

測定した試料表面9×9cmの範囲の単位面積当たりの気泡数と耐凍害性の関係を図8に示す。気泡数が多いほど耐凍害性が大きくなる傾向にあり、気泡数が1cm²当たり約100個程度あれば耐久性指数は80程度となっている。

このように、気泡数と耐凍害性の間には密接な関係があり、気泡数が増加することで気泡間隔係数が小さくなり、耐凍害性が向上している。

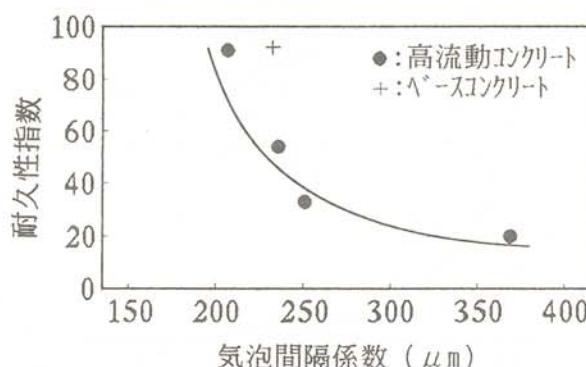


図7 気泡間隔係数と耐凍害性

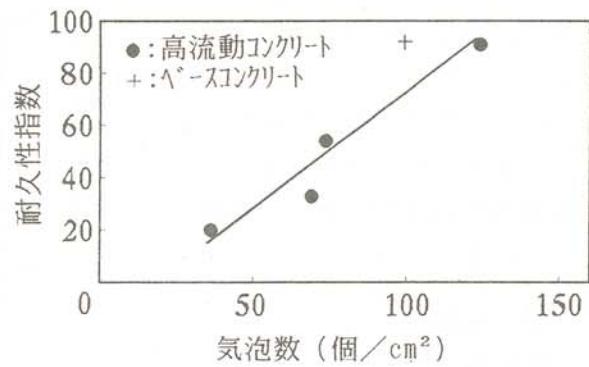


図8 気泡数と耐凍害性

(2) 気泡分布と耐凍害性

(1)に示したように、気泡数と耐凍害性の間には密接な関係があることが認められた。ここでは各コンクリートの気泡数の違いをより詳細に調べるために気泡の大きさと気泡数の関係を検討した。

(a) 高性能減水剤の使用量と気泡分布

高性能減水剤の使用量と気泡分布の関係を図9に示す。耐凍害性が良好だったベースの気泡分布と比べると高性能減水剤を使用したSF-2、SF-3、SF-4とともに、200 μm 以下の小さい気泡数が少なく、このため、耐凍害性が確保できなかつたと考えられる。

(b) 増粘剤、AE減水剤の使用量と気泡分布

増粘剤とAE減水剤の使用量と気泡分布の関係を図10に示す。SF-5の方が、SF-2よりも200以下の気泡が多く、これがSF-5の耐凍害性を大きくしたと考えられる。SF-5の方がSF-2よりも200以下の気泡数が多い原因としては、増粘剤の使用量が多いことに伴ってモルタルの粘性が大きくなり、気泡の保持力が強まったことが考えられる。

(c) 増粘剤で混入された気泡

図10に示したように、AE剤とAE減水剤を用いて空気を連行したベースは、AE減水剤の

使用量が同じSF-2と比べて、小さい気泡が多い。これは、AE剤の効果であると思われる。一方、増粘剤の使用量が 380 g/m^3 、AE減水剤の使用量が $C \times 0.1\%$ (SF-5)の場合は、増粘剤の使用量 360 g/m^3 、AE減水剤の使用量が $C \times 2.0\%$ (SF-2)の場合と比べ、小さい気泡の数が多い。これは、増粘剤の增量による効果であると思われる。また、ベースとSF-5は、ほぼ同じ気泡分布である。このことは、増粘剤の增量により増加した空気は、AE剤を用いて連行された空気と同様に、小さい気泡であることを示している。

以上のことから、増粘剤によって混入された小さい気泡が、耐凍害性の改善に効果を発揮したといえる。

4. 結論

低界面活性型のセルロース系増粘剤を用いて製造した高流動コンクリートの実験結果から、以下のことが明らかになった。

(1) 増粘剤の使用量が 380 g/m^3 、高性能減水剤の使用量が $C \times 2.0\%$ 、AE減水剤の使用量が $C \times 0.1\%$ で、高流動コンクリートの材料分離抵抗性と耐凍害性が確保できる。

(2) 増粘剤の使用によって小さい気泡が高流動コンクリート中に混入され、AE剤によって連行された気泡と同様に耐凍害性を改善させる。

今後さらにデータを蓄積して、コンクリートの合理化施工の確立に資する計画である。

本研究の遂行にあたりご協力いただいた北見建設業協会、五十嵐建設(株)五十嵐力社長ならびに北見工業大学の猪狩平三郎氏、須藤裕司氏、佐野智之氏に感謝申し上げます。

参考文献

- (1)須藤裕司・鮎田耕一・佐原晴也・竹下治之：増粘剤を添加した高流動コンクリートの耐凍害性に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.14、No.1、pp.1003-1008、(1992)
- (2)鮎田耕一・桜井 宏・田辺寛一郎：硬化コンクリート気泡組織の照度差による画像解析、土木学会論文集、第420号/V-13、pp.81-86、(1990)

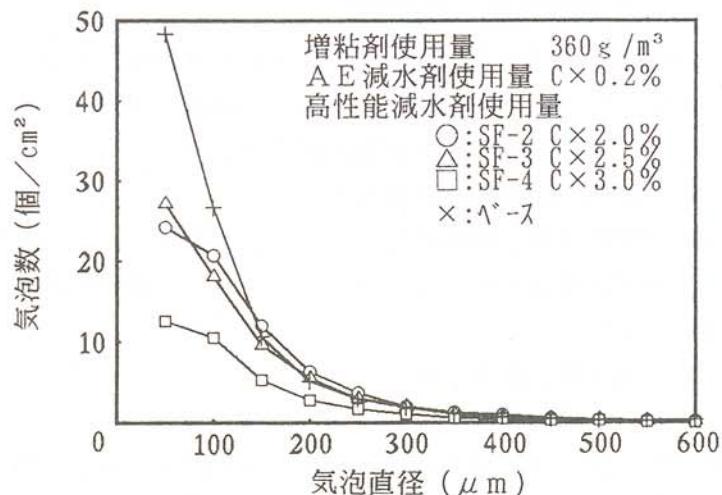


図9 高性能減水剤使用量と気泡分布

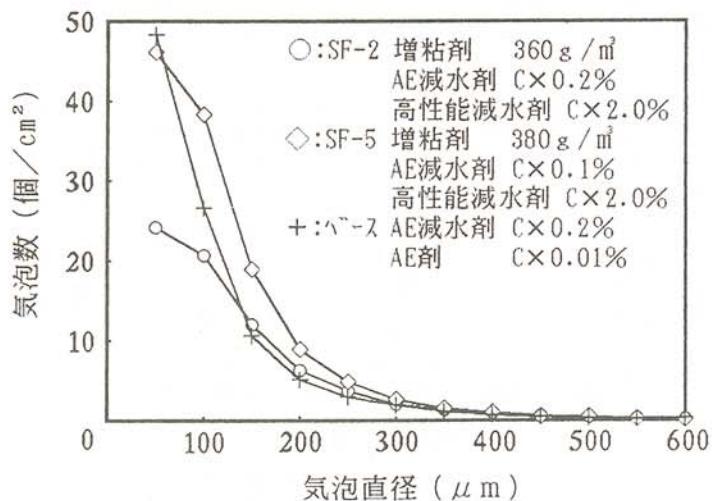


図10 増粘剤・AE減水剤の使用量と気泡分布

常呂川水系水質調査研究

Environmental Research of the Tokoro River

伊藤 純一（北見工業大学工学部化学システム工学科）
小俣 雅嗣（北見工業大学工学部化学システム工学科）
桜田 剛（北見市役所 常呂川水系環境保全対策協議会）
松崎 健一（北見市役所 常呂川水系環境保全対策協議会）
岡田 和広（北見市役所 常呂川水系環境保全対策協議会）

Jun-ichi ITOH (Dept. of Applied and Environ. Chem., Fac. of Eng., Kitami Inst. of Tech.)
Masashi KOMATA (Dept. of Applied and Environ. Chem., Fac. of Eng., Kitami Inst. of Tech.)
Tuyoshi SAKURADA (Kitami City Office, The Council for Environ. Conservation of the Tokoro River Basin)
Ken-ichi MATUZAKI (Kitami City Office, The Council for Environ. Conservation of the Tokoro River Basin)
Kazuhiro OKADA (Kitami City Office, The Council for Environ. Conservation of the Tokoro River Basin)

Key Word : water quality, heavy metal, sediment, mercury accumulation in fish

1. 緒 言

本調査は、北見市、留辺蘿町、置戸町、訓子府町、端野町および常呂町により平成5年度に新たに設けられた常呂川水系環境保全対策協議会（協議会と略記）から、本学地域共同研究センターに委託された常呂川水系水質調査を、協議会と本学化学システム工学科環境科学研究室との共同研究（調査）として行ったものである。常呂川（流域面積 1902.8 km²）は、大雪山を源とし、オホーツク海に流出する一級河川である。常呂川水系の大きな支流としては無加川、訓子府川、仁頃川があり、流域は上記の一市五町にまたがっている。上流部では農林業がさかんであり、河口ではサケ、マスの捕獲場、付近のサロマ湖ではホタテやカキの養殖がさかんである。また、常呂川は流域市町の水道水源であり水質のモニタリングは重要である。無加川は北見市で常呂川と合流する一級河川であり、その上流には東洋一の水銀鉱山といわれた鉱山跡がある。また、常呂川の中間部の支流である愛の川、北光川の上流にも水銀鉱山跡があり、常呂川水系においては特に水銀に対するモニタリングは重要である。そのため、水質以外に底質および魚類に蓄積された水銀について調査を行った。データの解析から、過去のデータ¹⁾との比較、環境基準との適合性等を検討し、今後の常呂川水系の環境保全対策について考察した。

2. 調査の概要

2. 1 調査地点

水質の調査は、常呂川および無加川の最上流部から河口までの20地点を行った。底質に含まれる水銀（底質水銀と略記）については9地点、魚類に蓄積された水銀（魚類水銀と略記）については3地点で行った。調査地点は流程にそった汚濁状況の変化が分かりやすいことを考慮し、水系のバックグラウンドとなる最上流、大きな汚染源となる可能性がある事業所の上流と下流及び支流を選定した。また、継続調査を行った場合に、汚濁の経年変化による解析が可能となることを考慮した。なお、常呂川本流は環境基準の類型指定を受けており、今回の調査地点では上流から金比羅橋までがA類型、その下流から河口までがB類型である。

2. 2 調査項目

水質については、生活環境の保全に関する環境基準が定められている項目である、水素イオン濃度（pH）、生物化学的酸素要求量（BOD）、浮遊物質量（SS）、溶存酸素量（DO）、大腸菌群数について調査した。また、基準は定められていないが水質汚濁の指標となる、化学的酸素要求量（COD）、全窒素（T-N）、全りん（T-P）についても調査した。以後これらをA項目と略記する。人の健康の保護に関する環境基準が定められている項目は現在23項目あるが、そのうちカドミウム（Cd）、全シアン（CN）、鉛（Pb）、六価クロム（Cr(VI)）、砒素（As）、総水銀（T-Hg）、PCB、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンの9項目について調査した。現在、基準は定められていないが有機りん（O-P）についても調査した。以後これらの項目のうち総水銀を除く項目をB項目、総水銀をC項目と略記する。また底質水銀は総水銀について、魚類水銀については総水銀とアルキル水銀について調査した。

2. 3 調査年月及び調査回数

水質の調査は、A項目について20カ所の調査地点で平成5年5月から平成6年3月まで2カ月ごとに6回行った。B項目については6カ所の調査地点で平成5年7月に1回行った。C項目については3カ所の測定地点で平成5年5月から平成6年3月まで2カ月ごとに6回行った。底質水銀及び魚類水銀については平成5年7月に1回行った。採水及び底質の採取は河川の定常的な状態を把握するため、出来る限り採水日前に晴天が続き水質が安定している日に行った。

2. 4 調査分析方法

2. 4. 1 水質の分析

採水方法はJIS法²⁾に準拠して行った。項目別の分析についてはJIS法³⁾及び昭和46年度環境庁告示第59号に準拠して行った。

2. 4. 2 底質水銀の分析

1調査地点当たり5ポイントの採取地点を設定し、表層から10cm程度の深度の底質を手杓及び移植ごてなどにより採取した。2mm目のふるいを通して試料を調整し、重量法を用いて水分を、硝酸-過マンガン酸カリウム還流分解法を用いて総水銀を測定した。

2. 4. 3 魚類水銀の分析

調査対象魚類はコイ科ウグイとし、釣りによって捕獲した。捕獲したウグイは10 cm以下、10~15 cm、15~20 cm、20~25 cm、25 cm以上の5区分に区分けした。区分けしたそれを、可食部100 g以上となるようにしホモジナイズした新鮮試料を分析に用いた。湿式分解還元気化原子吸光光度法を用いて総水銀を、ガスクロマトグラフ法を用いてアルキル水銀を測定した。

3. 結果と考察

3. 1 水質

結果を表1、2に示す。pHについては、常呂川はすべての地点でpH 6.5以上8.5以下であり環境基準内であった。無加川の西3号および第1観月橋で7月にそれぞれ8.6、8.8という高い値を示した。これはアルカリ性の水が流入したためではなく、夏の晴天時に藻類による光合成のため溶存炭酸ガスが消費され、一時的にpHが上昇したものと考えられる。7月は他の地点でもpHが高い傾向が見られ同じ理由によると考えられる。

CODは河川の環境基準としては定められていないが、BODとの対比として測定した。CODは有機汚濁物質全体を、BODはそのうちの人為的汚濁の目安と考えられている。西3号で3月に11.0 mg/lという高いCOD値を示した。これは付近で行なわれていた河川改修工事の影響によるものと考えられる。他の地点では特に高いCOD値は認められなかった。BODについての環境基準はA類型が2 mg/l、B類型が3 mg/lである。鹿ノ子上流および富士見砂防ダムのBOD値（平均値）は0.9 mg/lおよび0.6 mg/lであり、これがバックグラウンドとなる。常呂川では境野付近まではほとんどBODの濃度変化がみられず、その後流下にともなって徐々に濃度の上昇が見られた。都市生活排水や農業排水によるBOD負荷が明らかに認められた。東10号で6回測定中4回が大きく環境基準を越えた。これは北見市下水終末処理場の排水による影響であるが、忠志橋までに自然浄化により基準値以下となっている。常呂川河口付近での平均値は2.2 mg/lであり上流の忠志橋、太幌橋（それぞれ1.4、1.6 mg/l）と比較して若干BOD値の上昇が認められた。これは生活排水の他に第一幹線排水、水産排水の影響が考えられる。無加川でも生活排水や農業排水によるBOD負荷が認められ同様の流程変化を示した。経年変化を調べた結果、非常にわずかではあるがこの数年BOD値が上昇傾向にあった。

SSは濁り物質の量であり、常呂川の環境基準は25 mg/lである。SS濃度が高くなると魚類によってはえら呼吸を阻害するといわれている。鹿ノ子上流、富士見砂防ダムを除くすべての地点で5月のSSの値が25 mg/l以上であった。これは測定日の前々日に降った雨による影響である。また無加川の西3号および第1観月橋における3月の値は、430 mg/l及び110 mg/lで非常に高くなかった。これは西3号のすぐ上流で河川改修工事が行なわれていたためである。再沈澱のため東4号見晴橋まではその影響は小さくなり基準値以下の濃度まで減少した。その他の地点ではすべて基準値以下であった。

大腸菌群数は人畜の糞便由来以外にも土壤菌などもカウントし、それ自体が病原性を有するわけではないが、腸管性疾患（赤痢、コレラなど）の伝染経路である糞便による汚染の目安となる。大腸菌群数の環境基準はA類型で1000 MPN/100 ml、B類型で5000 MPN/100 mlである。上流部では置戸市街下流、温根湯市街下流で高い値であった。また北

見市内および北見市より下流の調査地点でしばしば $10000\text{ MPN}/100\text{ ml}$ を越す値を示した。最上流部と川口橋を除き、とくに7月、9月の夏場に人口密集地域で高いことがわかった。川口橋の値は年間を通し、比較的低く良好な状態であった。

窒素、りんはよく知られているように微生物や植物の栄養素であり、これが多いためオコの発生や、水の腐敗の原因となる。主な汚染源として生活排水、農業肥料、畜産排水などがある。経月変化および流程変化からCOD、BODの値と相関が高いことがわかった。北見市内に入つて増加し東10号から下流は高いレベルであった。これは、北見市下水終末処理場からの排水の影響と考えられる。河川水に対する環境基準は定められていないが、常呂川河口付近の全りんの年平均濃度が 0.107 mg/l であり、水産環境基準の河川水の全りんの基準値、 0.1 mg/l を考慮するともう少し低いレベルに抑えることが望まれる。

調査を行つた、人の健康の保護に関する環境基準が定められている項目のうち、水銀を除くすべての定量結果は環境基準以下であった。総水銀については西10号の5月の測定結果が 0.0006 mg/l （総水銀の環境基準値は 0.0005 mg/l ）であり、これ以外は総水銀は検出されなかつた。西10号の測定結果については、前々日、前日の雨の影響で、無加川が懸濁状態にあり、無加川上流部の総水銀を含む底質土砂等が多量に混入したためであると考えられる。

カドミウム(Cd)、鉛(Pb)、砒素(As)、6価クロム(Cr(VI))およびシアン(CN)はこれらを用いる大きな産業がないことから今後とも汚濁が進む心配は少ないと考えられる。PCB、農薬の有機りんもその使用が規制されているため汚濁は進まないと考えられる。発ガン性物質として多くの項目が規制対象となっている有機塩素化合物は、トリクロロエチレン及びテトラクロロエチレンを測定したが、これらも基準値以下であった。平成5年3月8日に改正された環境基準では有機塩素化合物や農薬など新たに13種類が追加された。本河川が水道水源であることから、この地域のこれら物質の使用状況を考慮し、今後測定項目について再検討する必要があると思われる。

3. 2 底質水銀

結果を表3に示す。底質水銀は最近5年間、9地点全てで減少傾向にあった。しかし、今回の調査結果ではイトムカ川が 5.5 mg/kg 、西32号が 1.4 mg/kg 、北光川が 3.0 mg/kg であり昨年と比較して2倍以上の濃度であった。他の地点でも若干高い傾向が認められた。これらはバラツキの範囲内とも思われるが、一昨年の大水のときに上流部の底質が運ばれた可能性も考えられる。

3. 3 魚類水銀

結果を表4に示す。ウグイの可食部の総水銀濃度（平均値）は常呂川日の出で 0.26 mg/kg 、無加川西10号で 0.60 mg/kg 、仁頃川上仁頃市街で 0.42 mg/kg であった。このうち約70%がメチル水銀であった。過去10年間の経年変化はバラツキながらも大きな濃度変化は見られない。3地点とも昨年と比較して若干高い値を示した。これは、底質の総水銀濃度が高かったことと関係があるかも知れない。一般的に魚類中の総水銀濃度は $0.01 - 0.2\text{ mg/kg}$ （まぐろなど 0.5 mg/kg 以上の場合もある）といわれており高いレベルにあるとはいえる。

表3 底質水銀調査結果（平均値）

試料採取地点	T-H g mg/k g	含水率 (%)
イトムカ川	5.5	23.2
清水川	5.4	30.7
西32号	1.4	24.7
西10号	0.60	32.0
第1観月橋	0.11	16.6
北光川	3.0	30.2
愛の川	0.47	23.2
日の出	0.12	33.3
東10号	0.086	21.2

表4 魚類水銀調査結果（平均値）

試料採取地点	T-H g mg/k g	メチル水銀 mg/k g
日の出	0.26	0.21
西10号	0.60	0.42
上仁頃頃市街	0.42	0.28

4. 結 言

全般的に年間を通して常呂川水系の河川はほぼ環境基準をクリアーしていた。昔の常呂川の水質と比較すると、特に水銀鉱山排水の水銀や甜菜糖工場排水のBODなどの項目は著しく改善されている。しかし、BODは、サケマスを対象とする水産環境水質基準値（2 mg/l）と同程度かそれ以上の濃度であり、サケマスが上り自然産卵してまたそれが戻って来てくれるほどきれいな水質かという判断は難しい。また、大腸菌群数の値や夏期の微生物による腐敗臭など不適格な要素もある。

参考文献

- (1) 北見市による調査結果
- (2) J I S K 0 0 9 4 - 1 9 8 5
- (3) J I S K 0 1 0 2 - 1 9 9 3

公害防止調査研究

Environmental Research of Kitami City

伊藤 純一（北見工業大学工学部化学システム工学科）

小俣 雅嗣（北見工業大学工学部化学システム工学科）

桜田 剛（北見市役所）

松崎 健一（北見市役所）

岡田 和広（北見市役所）

Jun-ichi ITOH (Dept. of Applied and Environ. Chem., Fac. of Eng., Kitami Inst. of Tech.)

Masashi KOMATA (Dept. of Applied and Environ. Chem., Fac. of Eng., Kitami Inst. of Tech.)

Tuyoshi SAKURADA (Kitami City Office)

Ken-ichi MATUZAKI (Kitami City Office)

Kazuhiro OKADA (Kitami City Office)

Key Word : water pollution, air pollution, noise, vibration, offensive odor

1. 緒 言

本研究は、北見市から本学地域共同センターに委託された、北見市における公害防止調査を、北見市と本学化学システム工学科環境科学研究室との共同研究（調査）として行った。公害規制に関する項目は種々あるが、本調査（研究）では、市内小河川の水質、大気、騒音、振動及び悪臭について行った。これらのデータの解析から、過去のデータとの比較、環境基準との適合性等を検討し、今後の北見市における環境保全対策について考察した。

2. 調査の概要

2. 1 調査項目、調査地点

調査項目及び調査地点数は次のとおりである。（ ）内の数字は調査地点数を示している。小河川の水質は、5つの河川について生活環境の保全に関する項目（生活項目と略記）のうちpH、COD、BOD、DO、大腸菌群数、全りん（T-P）、全窒素（T-N）について行った。上流部にごみ処理場がある一つの河川については、4カ所の地点で人の健康の保護に関する項目（健康項目と略記）のうちCd、Pb、Cr、T-Hgについても行った。大気は、いおう酸化物（6）、降下ばいじん（7）、二酸化いおう（1）、浮遊粒子状物質（2）、窒素酸化物（1）について行った。各騒音は近隣騒音（1）、自動車騒音（5）について、振動は道路交通振動（5）について行った。悪臭は2つの事業所を対象に風向を考慮し、事業所からの距離を変えて事業所ごとに6カ所で行った。

2. 2 調査年月、調査回数

表3 車粉に係る浮遊粒子状物質・降下ばいじん測定結果

測定局	項目	平成5年					平成6年					年度		
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
常盤	測定期日数	30	31	30	31	31	30	31	29	31	31	28	31	364
	測定期時間	720	744	720	744	744	720	744	713	743	744	672	744	8,752
	月平均値(mg/m ³)	0.024	0.017	0.013	0.014	0.015	0.013	0.016	0.020	0.023	0.024	0.019	0.023	0.018
最高値	日平均値(mg/m ³)	0.053	0.041	0.024	0.031	0.027	0.021	0.034	0.038	0.047	0.036	0.056	0.044	
	1時間値(mg/m ³)	0.132	0.105	0.055	0.078	0.066	0.093	0.096	0.154	0.157	0.117	* 0.178	0.152	
	1時間値が環境基準値を超えた日数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	日平均値が環境基準値を超えた日数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
降下ばいじん	g/km ² /月	34.29	17.22	19.89	8.36	10.22	8.80	12.01	9.97	10.37	4.19	5.34	22.93	13.63

* 1時間値の環境基準値 0. 2 mg/m³ ※ 日平均値の環境基準値 0. 1 mg/m³ ※ *は年度における最大値

※ 2%除外値 0.044 ng/m³

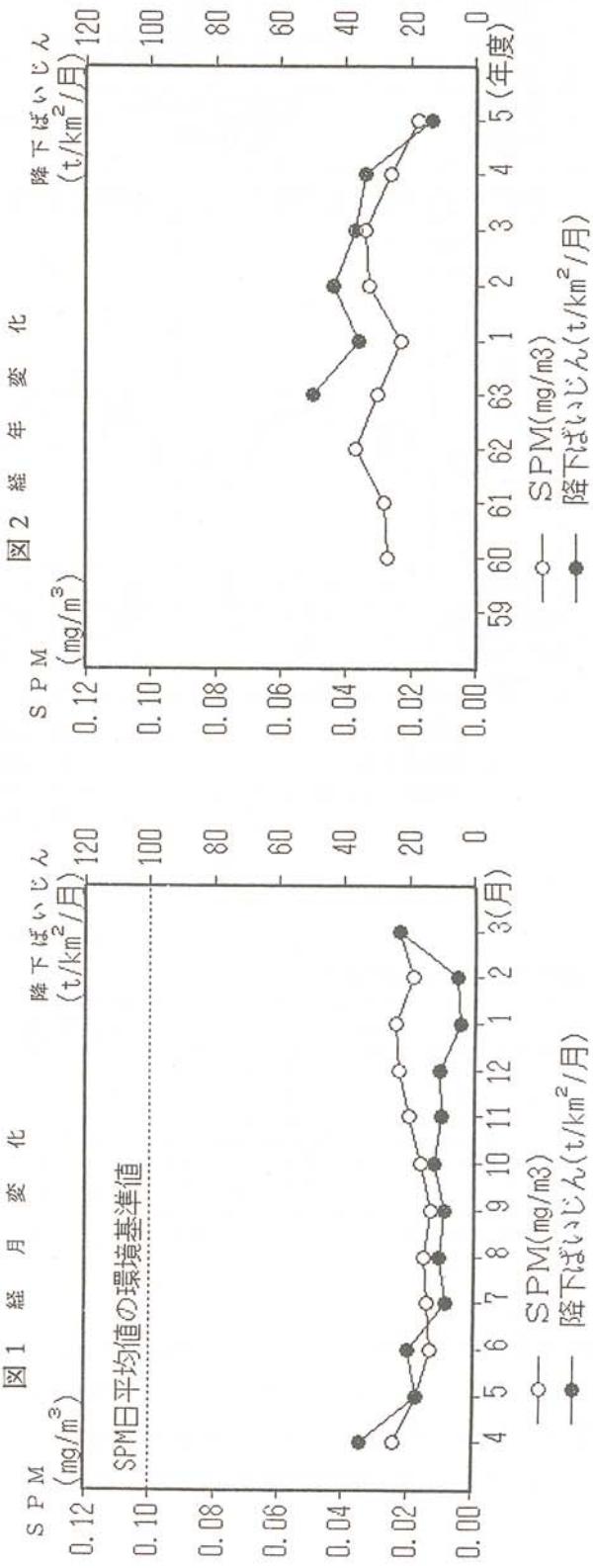


図3 自動車騒音調査結果

道路名	道道北見常呂線
測定地点	高栄東町150番地中区配水池横
車線数	4
用途地域	第2種住居専用地域
区域区分	第2種A類型

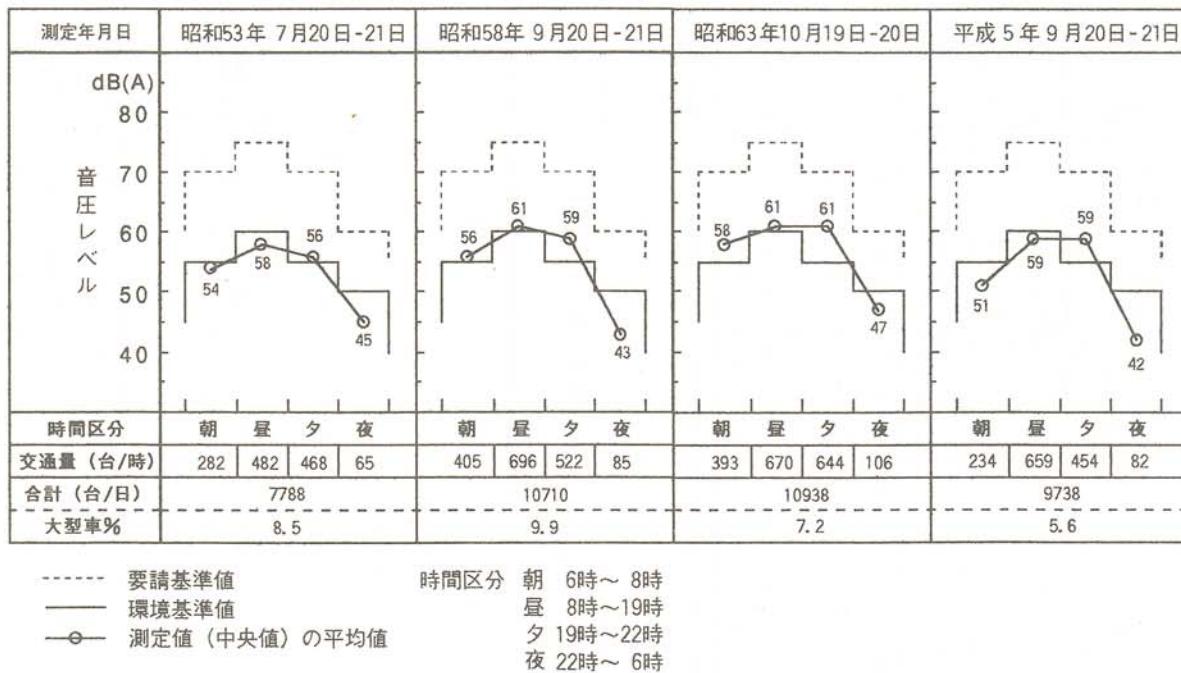


表4 臭気調査結果

調査対象事業所：終末処理場							調査対象事業所：甜菜糖工場								
測定月日	測定地点	事業所から の距離(m)	天候	気温 (°C)	風向	風速 (m/s)	臭氣 環境度	測定月日	測定地点	事業所から の距離(m)	天候	気温 (°C)	風向	風速 (m/s)	臭氣 環境度
7月12日	1	0	晴	20.8	ENE	0~1	1	7月12日	1	0	晴	20.8	NE	2~3	4
	2	100	晴	20.8	ENE	0~1	1		2	200	晴	20.8	NE	2~3	3
	3	300	晴	20.8	ENE	0~1	1		3	800	晴	20.8	NE	2~3	1
11月10日	4	0	晴	4.6	NNW	1~2	1	11月10日	4	0	晴	7.8	NNW		3
	5	200	晴	4.6	NNW	1~2	1		5	200	晴	7.8	N	0~2	3
	6	350	晴	4.6	NNW	1~2	1		6	1500	晴	6.6	ENE		4

4. 結 言

市内小河川の水質については、特にホリカン川、小石川でT-N、BODが高く、夏場に悪臭が感じられるなど改善が望まれる。大気については、年間を通してどの項目についても環境基準を、自動車騒音については要請基準をクリアしていた。悪臭については、季節や風向によっては悪臭が感じられる場合があり、発生源である事業所の一層の努力が望まれる。

磁気処理法による水道用鋼管の防錆・防食

Corrosion Control of Steel Pipes in a Drinking Water Service Line

by Magnetic Radiation

海老江 邦 雄 (北見工業大学工学部土木開発工学科)
大 越 嘉 一 (株式会社富士計器)

Kunio EBIE(Dept. of Civil Eng., Fac. of Eng., Kitami Inst. of Tech.)
Yoshikazu OKOSHI (Fuji Keiki Co.)

Key words : magnetic radiation, corrosion control, steel pipe, iron rust

1. まえがき

37年振りに水道水質基準が見直されるなど、高普及時代を迎えた日本の水道事業の目下の課題は、水質のレベルアップ（より安全でよりおいしい水道水の供給）である。この問題の解決には、水源かん養林の育成・確保や水源地域における水質保全がなによりも重要と考えられるが、最近は浄水場における高度浄水処理（オゾン処理、活性炭処理）の導入の他、給・配水系統などにおける水質向上対策も盛んに行われている。

給水レベルの水質改善策としては、浄水器の設置が主流となっているが、給水管内における錆の発生を抑えて赤水流出を減少させる方法も広く採用されている。その方法としては、『給水管の全面的な更新』が最も抜本的であるが、コスト高のため、従来は『洗浄ライニング法』や『防錆剤注入法』などが多用されてきた。最近はより簡単で経済的な磁気、遠赤外線、電子場、光工学などを応用した新しい防錆・赤水流出抑制法が提唱されている。

本論では、これらの新技術から磁気照射法に焦点を絞り、水のpHと残留塩素濃度変動下における同法の効果の確認に関する基礎実験、および、公営住宅の給水管系に設置した磁気照射設備の赤水抑制効果に関する実証実験の一部について報告する。

2. 基礎実験装置と実験方法

図1は、今回用いた基礎実験用の装置であり、循環水槽（水量 200ℓ）と配管部とからなっている。配管部には直径20mmの塩化ビニール管が用いられ、試験片挿入部（透明塩化ビニール管製）、ポンプ、水道メーターのほか、装置の心臓部にあたる磁気照射装置が組み込まれている。なお、磁気照射効果を比較するために、磁気照射装置を取り付けていない

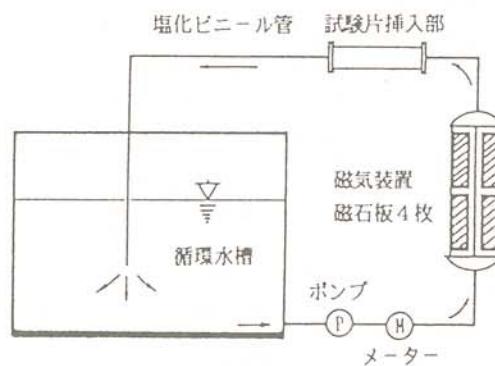


図1 基礎実験用磁気照射装置

実験装置を別個に用意し、並列で運転を行った。

磁気照射装置は、中心を走るステンレス管を両側から4枚（2枚・二段）のフェライト永久磁石板（磁束密度：1,500ガウス、寸法：縦150mm、横70mm、厚さ：25.4mm）で挟む構造をしており、管中心の磁束密度は1,300ガウスである。また、試験片挿入部には内面以外を防錆塗料で被覆した半割り管（長さ20cmの給水用亜鉛メッキ鋼管の新管または錆管）を挿入し、北見工業大学水道水（深井戸水、総硬度74.7mg/l）を速度132.6cm/秒（36t/日）で循環させた。水のpHについては、2N-HClまたは2N-NaOH溶液を用いて1日に2回、また残留塩素濃度については高度サラシ粉を用いて1日に3回調整した。槽内水については鉄濃度などの分析、試験片については写真撮影と実験前後に重量などを測定した。

3. 水のpHの影響

最初に、本学水道水を空曝気して残留塩素を飛散させた後、循環水のpHを所定値に調整しつつ試験片からの鉄溶出量の経時変化を測定した。図2と図3は、pH4における結果を示している。試験片が新管の場合には6日後、錆管の場合には1日後から鉄が溶出し始め、その濃度は時間の経過につれて次第に上昇している。最終日の鉄濃度は、図2では磁気照射しない場合の10.2mg/lに対し磁気照射した場合の8.42mg/lとなっている。また、同様に、図3では2.45mg/lに対し1.46mg/lとなっている。pH5においても同様の傾向が得られた。このように、酸性領域においては新管、錆管のいずれの場合にも磁気照射によって水中の鉄濃度が低く、鉄の溶出が

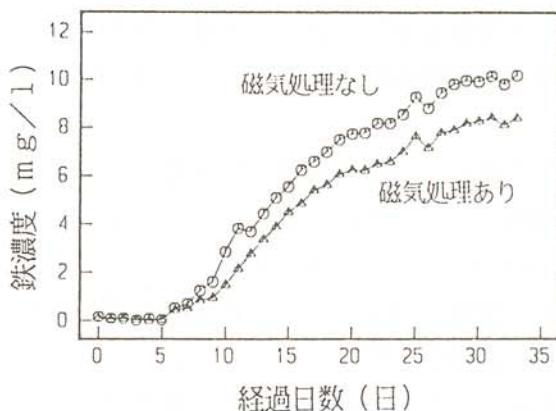


図2 鉄濃度の動き (pH4, 新管)

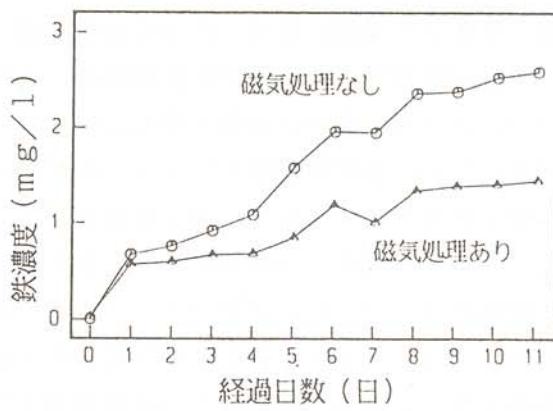


図3 鉄濃度の動き (pH4, 錆管)

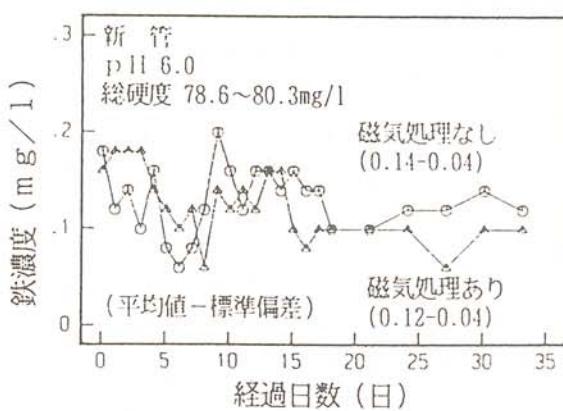


図4 鉄濃度の動き (pH6, 新管)

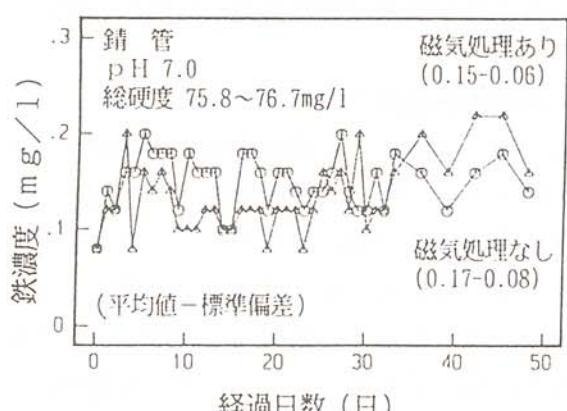


図5 鉄濃度の動き (pH7, 錆管)

抑制された。それに対し、pHを6と7に上昇させた場合（通常、蛇口水pH 6.5-7.0）の結果を図4と図5で見ると、長期間（新管34日、錆管48日）の運転であつたにもかかわらず磁気照射の効果は発現していない。

表1は、各実験の前後における試験片の重量変化を示している。同表では、新管、錆管のいずれにおいても、pHの低い場合ほど磁気照射された試験片の重量減少が小さい。また、その減少量はpHの上昇に伴って次第に小さくなっている。槽内水の鉄濃度の動きと同様に、pHの上昇とともに磁気照射の効果が小さくなることを示している。

4. 残留塩素濃度の影響

給水用鋼管を腐食させる主要な因子として水のpHとともに残留塩素が挙げられる。そこで、循環水のpHをほぼ中性とし外部から高度サラシ粉を加えて残留塩素濃度を0.2、0.4、0.8 mg/lに調整しながら磁気照射の効果を確認するための実験を行った。

図6と図7は、循環水中の鉄濃度の経日変化を示している。図6では2週間経過頃から両水槽の鉄濃度に差が現れ、最終日の鉄濃度は磁気照射しない方の0.28mg/lに対し、磁気照射した方では0.18mg/lとなっている。また、図7では磁気照射しない方は4日頃から鉄濃度が上昇し最終日には0.28mg/lとなった。磁気照射による最終的な抑制効果はいずれの条件においても0.1mg/l程度となっている。

図8と図9はこれらの実験における高度サラシ粉の注入量の動きを示している。磁気照射装置を組み込んだ水槽への注入量が少なく、水の磁気照射は塩素消費量を抑制し、それが鉄溶出量の抑制につながることを示唆している。また、表2は実験前後における試験片の重量変化の動きを示している。いずれの場合にも磁気照射した水中の試験片の重量減少が少なく、水中の鉄濃度と同様に磁気照射の効果を間接的に示すものと考えられる。

このように、水中の残留塩素は給水用鋼管の

表1 試験片の重量変化など

鋼管の状態	pH	磁気処理	日数	水温(平均)(°C)	重量(g)		
					実験前	実験後	減少
新管	3	有無	14	26.0~28.9 (27.5)	131.14	83.23	47.91
	4	有無	33	23.0~29.0 (26.2)	127.51	122.39	5.12
	5	有無	83	16.1~27.0 (22.1)	125.26	123.90	1.36
	6	有無	34	19.9~24.5 (21.8)	126.34	126.04	1.41
錆管	3	有無	12	13.0~19.0 (15.8)	122.21	115.60	6.61
	4	有無	10	13.0~18.3 (15.8)	122.44	115.19	7.25
	5	有無	21	30.0~30.0 (30.0)	129.13	129.05	0.08
	6	有無	50	30.0~30.0 (30.0)	139.00	138.80	0.20
					139.13	138.89	0.24
					79.99	79.69	0.30
					79.84	79.54	0.30

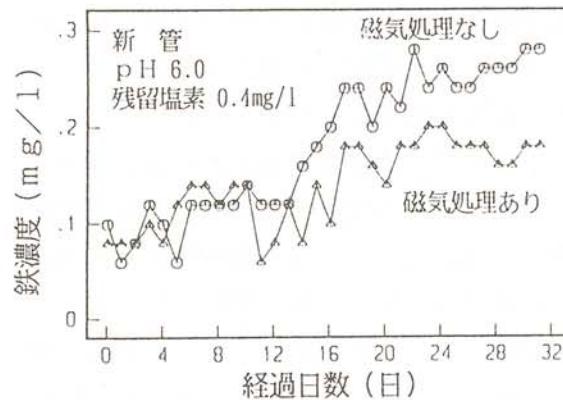


図6 鉄濃度の動き (pH6, 新管, 残塩0.4mg/l)

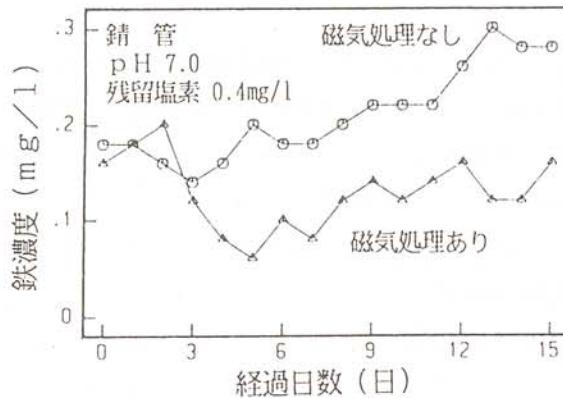


図7 鉄濃度の動き (pH7, 錆管, 残塩0.4mg/l)

用量を把握するために直径13mm水道メーターを設置した。

赤水の流出状況（鉄の流出量）の変化を把握するために、早朝、各家庭に出向き、蛇口から給水管内の水（6時間程度の停滞水）を採水した。その採水頻度は、1年目は1ヶ月に1回、2年目は2ヶ月に1回程度とし、試料の鉄濃度は原子吸光分光光度計で測定した。

6. 公営住宅における赤水流出の抑制状況

図10は、磁気照射装置を設備する直前と、実験2年目の平成5年3月と7月のあわせて3回の採水における試料中の鉄濃度の平均値を示している。

赤水流出に伴う鉄濃度の動きについては、磁気照射装置を設備する直前には、採水開始から10秒後にピーク値（1.74mg/l）に達し、その後は60秒まで低下傾向を辿り、さらにその後はほぼ一定値を保っている。また、磁気照射装置を設備した後にはいずれも開栓5秒後にピーク値が出現し、3月のピーク値は磁気照射しない場合に1.65mg/l、磁気照射した場合に1.39mg/l、7月の場合は磁気照射しない場合に2.17mg/l、磁気照射した場合に1.15mg/lであった。したがって、鉄濃度のピーク値は、磁気照射した方の給水管系で3月には15.8%、7月には47.0%、いずれも減少したことになる。ピーク値出現以後の赤水流出状況については、3月、7月のいずれにの採水時にも磁気照射装置を設備する直前と同様の傾向を示した。

図10のデータをもとに、1回の開栓による鉄流出量の平均値を算出したところ、磁気照射装置を設備する直前の値は3.37mgであった。3月の採水時には磁気照射しない場合の3.05mgに対し磁気照射した場合には0.78mgとなり、74.4%減少している。また、7月の採水時には磁気照射しない場合の3.62mgに対し磁気照射した場合には1.09mgとなっており、この場合にも69.9%の減少となっている。

以上、蛇口からの鉄流出のピーク値は開栓5秒～10秒後に出現し、開栓に伴う赤水流出の継続時間は30～60秒間であるなど、赤水流出のパターンを捉えることができた。また、1回の開栓による鉄流出量は、今回採用した流量3.7 l/分の場合 3mg程度であり、磁気照射によってピーク値は勿論のこと鉄流出量も大幅に抑制されるなど、上述の基礎実験用装置による結果と同様に、磁気照射の赤水（鉄）流出の抑制効果が確認された。

7. あとがき

磁気照射法の防錆・赤水流出抑制効果を水のpHおよび残留塩素濃度を指標に検討を行い、通常使用される水道水については、中性pH領域で残留塩素を含む場合には磁気照射の効果が発現することを確認した。また、公営住宅の蛇口水を対象にした実験では、磁気照射が赤水流出の抑制に効果を発揮することを明らかにした。

今後は磁気照射法のメカニズムの解明、および磁気強度や磁石配置などの検討が必要と考え

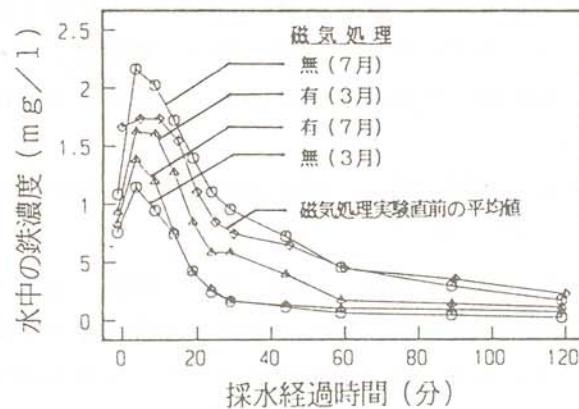


図10 鉄流出量の動き（16戸の平均値）

られる。

参考文献

- (1) 北井 修：電子場法による水処理、建設設備と配管工事、pp.71-78、1987.3.
- (2) 高橋 秀昌：現在の電子式水処理技術の歴史的背景、建設設備と配管工事、pp.114-119、1989.2.
- (3) 坂西 敏之：磁気処理器の水への利用（1）、建設設備と配管工事、pp.105-120、1990.11.
- (4) 海老江邦雄・大越 嘉一・井戸井 賀・伊藤 正志：pH変動下における磁気処理法の防錆・防食効果に関する基礎的検討、第43回全国水道研究発表会講演集、pp.741-743、1992.5.
- (5) 海老江邦雄・大越 嘉一：寒冷地における水道水質の改善に関する研究—磁気処理法による防錆・赤水流出抑制効果一、第8回寒地技術シンポジウム講演論文集、pp.369-373、1992.12.
- (6) 大越 嘉一：給水用亜鉛メッキ鋼管の防錆と赤水流出抑制、建設設備と配管工事、pp.134-137、1993.3.
- (7) 海老江邦雄・大越 嘉一・伊藤 正志：磁気処理法による給水用亜鉛メッキ鋼管の防錆と赤水流出抑制、第44回全国水道研究発表会講演集、pp.402-404、1993.5.
- (8) 有澤 習之：微磁気式スケール除去器アクセルの実証、建設設備と配管工事、pp.142-145、1993.6.
- (9) 海老江邦雄・大越 嘉一・伊藤 正志：磁気処理法による給水用亜鉛メッキ鋼管の防錆と赤水流出抑制に関する検討、北海道大学衛生工学シンポジウム論文集、pp.244-249、1993.1.

ソーラーエネルギーによる 河川浄化装置の開発

Development of River-Purification System Using Solar Energy

金山公夫 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

馬場 弘 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

遠藤 登 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

斎藤正典 ((有)坂井計測工業)

森本晴夫 ((株)自然環境総合研究所)

熊谷毅生 ((株)自然環境総合研究所)

Kimio KANAYAMA (Dept. of Mech. Eng., Kiatmi Inst. of Eng.,)

Hiromu BABA (Dept. of Mech. Eng., Kiatmi Inst. of Eng.,)

Noboru ENDOH (Dept. of Mech. Eng., Kiatmi Inst. of Eng.,)

Masanori SAITO (Sakai Keisoku-Kougyou Ltd.,)

Haruo MORIMOTO (Sizenkankyou-Sougou-Kenkyusyo Corp.,)

Takeo KUMAGAI (Sizenkankyou-Sougou-Kenkyusyo Corp.,)

Key words: solar energy, PV-cell, microbe, river purification

1. まえがき

太陽電池電源を用いて微生物処理によって河川を浄化するSK処理方式の実験が、紋別市渚滑川で平成4年度から5年度にかけて行なわれた。平成5年度の実験は前年度に比べて①インバータを取り外し太陽電池の発生電力を直流のまま負荷に供給し、②パワーは終日24時間稼働させること、③実験場所を渚滑古川から渚滑川本流に移し、および④実験の開始時期を1ヵ月ほど早めるなどの変更があった。

本報告は今年度の実験結果を解析し、それをもとに年間稼働についてミュレーションを行ない、その結果から太陽電池電源システムの太陽電池及びバッテリーの最適容量を求めた。

2. 実験装置及び方法

本浄化プラントはSK処理方式とよばれ、渚滑川に放流された生活雑排水を毎分5~10リッターの割合で浄化して河川に戻すもので、処理方式は沈殿槽、曝気槽および微生物を棲息させたろ材槽等で河川の自浄プラントを人為的に作り、それに河川水を通すことによって浄化する方法である。

図1は浄化プラントのシステムフローの構成を示す。小河川を流れる生活雑排水を沈殿槽に流入させ、ここで有機汚泥を沈殿させる。沈殿槽に堆積した有機汚泥は汚泥消化槽に送られ、HBCろ材に棲息する嫌気性微生物により水、二酸化炭素及びメタン等に分解し浄化する。沈殿槽の上澄み水は曝気槽に送られ、プロワーによって流水中に空気を供給し溶存酸素濃度を高め、好気性微生物が棲息しやすい環境を作り硫化水素等の有害物質を大気中に気散させる。処理水は曝気槽からJPC槽に送られ、JPCろ材に油脂分を吸収させ、それが嫌気性微生物によって分解処理しHBC槽に送られる。HBCろ材の表面に棲息する微生物が有機物を分解し浄化する。最後に沈殿槽を経て浄化処理された水は河川へ放流される。

2台の主プロワーは商用電源から電力の供給を受け420リッター/minの空気が曝気槽、JPC槽及びHBC槽へ送られる。実験に供試された補助プロワー(以後プロワーという)は太陽電池電源(PV電源)から電力の供給を受け全送風空気量の約5分の1をHBC槽へ送る。

図2はPV電源を用いた送風システムの構成を示す。システムは大きく分けて太陽電池アレイ、バッテリー、コントローラー及びプロワーにより構成される。太陽電池アレイは多結晶シリコンモジュールを2枚直列に接続したサブアレイを4並列とし、全体で384Wpの最大出力である。バッテリーは12V×250Ahの鉛式のものを2個直列に接続し6000Whの蓄電容量がある。コントローラーはバッテリーの過充電及び過放電を防止する。プロワーの定格消費電力及び定格風量は72W及び40リッター/minである。

エネルギーフローは以下に示す通りである。太陽電池アレイは日射エネルギーを受け直流電力を発生され、それがコントローラーを通りバッテリーへ充電されるか、またはプロワーへ送られる。プロワーが稼働した際のバッテリーは太陽電池の出力がプロワーの入力を上回る時余剰分がバッテリーに充電され、逆に日が陰り太陽電池での出力でプロワーの消費電力を賄うことができない時その不足分をバッテリーから放電する。

図3は実験の計測機器の系統を示す。実験は9月6日~10月20日までの約1ヵ月半にわたりコントローラーの過充電防止機能が働くないようにプロワーを終日24時間稼働させることを目標に実施された。

3. 実験の結果及び考察

図4は晴天日の平成5年10月7日の時刻ごとの実験結果を示す。太陽電池に入射した日射量は午前6時頃から徐々に増加し午前10時~11時に10.4MJとピークに達し、その後徐々に減少し午後5時頃で0になる。太陽電池の発電量は1日当たり7.0MJで、時間平均の発電量は584.8kJ/hr(162.4W)となり、最大値は1110.64kJ/hr(308.5W)である。これによりピークで太陽電池の定格出力の約8割を発電し平均で約4割を出力することが分かる。発電効率は日射量が多い時間帯ほど高く日射量の少ない日の出及び日没では低下する傾向を示し、1日の平均で約10.5%となる。コントローラー効率は日中より夜間が若干良く1日の平均で約96%と高い割合を示す。バッテリーは夜間に約220kJ/hrを放電し午前6時頃から充電モードになり、太陽高度が高くなるほど充電量が増え1日で約981kJを充電する。プロワーは終日24時間で運転し、その供給量は時間による変化が少なく1時間当たり233.6kJ/hr(64.9W)で、これはプロワーの定格消費電力の約9割に当たる。また、このシステムは10月の晴天日でプロワーを終日24時間で運転しながらバッテリーに約982MJ(272.8Wh)を充電することが可能である。

図5は9月20日~10月20日の1日毎の測定値及び性能値の推移を示す。9月6日に実験を開始して2日目にコントローラーのバッテリー過放電防止機能が働きプロワーが停止したので、9月19日まではプロワーを運転しないでコントローラーの過放電防止機能が働くまで充電を行ない、その後プロワーを運転し本格的な実験に入った。

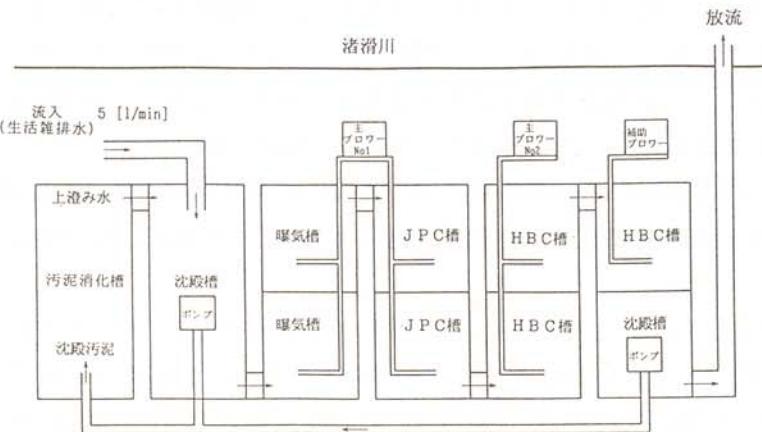


図1 琵琶湖浄化プラントの構成

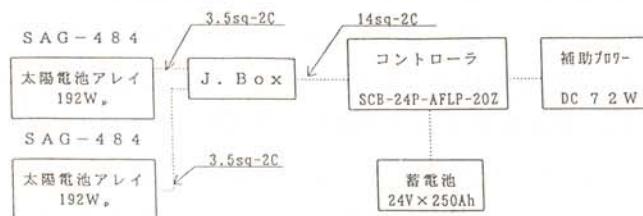


図2 PV電源セルを用いた送風システム

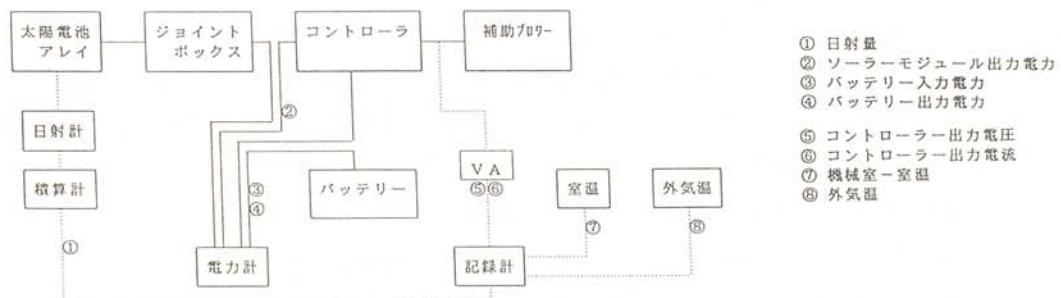


図3 計測機器の系統

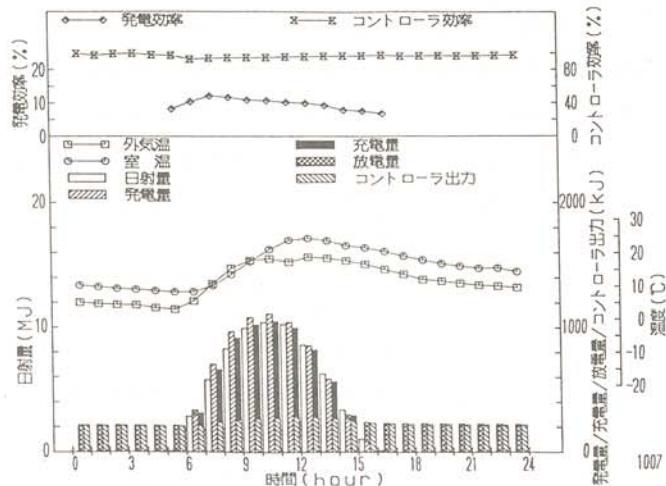


図4 晴天日(平成5年10月7日)の時刻毎の実験結果

9月期(9月20日~30日)は快晴の日が4日間である。発電量及び発電効率はそれぞれ1日当たり2881kJ(800Wh)及び7.6%である。発電率(太陽電池の定格出力に対する発電量の割合)は快晴の日で44%であるが、平均では17.5%と前年度に比べ9.4ポイントを下回った。パワー消費電力量は1日で2934kJ(815Wh)と太陽電池の発電量とほぼ同じである。しかし、実際にはコントローラー及びバッテリーで1割ほどの吸があるので、その不足分に当たる337kJ/day(94W/day)がバッテリーから持ち出される。パワー稼働率(PV電源システムの稼働時間に対するパワーの稼働時間の割合)は100%の日が2日間あり、平均で51.9%と前年度に比べて2倍以上高い。これよりPV電源システムの性能がかなり向上したことが分かる。

10月期は前期より天候が比較的良好く、1日中パワーを運転した日が7日間もある。10月9日~14日は測定機器の故障のためデータがなく、考察の対象としない。太陽電池の発電量は1日当たり3992.8kJ(1109Wh)と前期に比べ39%も上回った。これは太陽電池への入射エネルギーが前期より1日当たりで約2割多く、発電効率も平均で8.8%と1.2ポイント高かったためである。太陽電池の発電率は平均で約26%と前年度にほぼ同じ値である。パワーの稼働時間は1日当たり16.6時間と前期より約8時間長く、パワー消費電力量も同様に増加し1日当たり3740kJ(1039Wh)である。しかし、太陽電池の発電量が前期に比べ4割ほど増加したのでバッテリーの持出量は1日当たり79.5kJ(22Wh)に留まった。従って、10月期はほぼ太陽電池の発電量のみでパワーを1日当たり16.6時間運転させることができた。パワー稼働率は平均で69%と前期より1.3倍向上した。

表1は実験期間中の測定値及び性能値を示す。今年度のPV電源システムは1日当たり3149.1kJ(874.8Wh)を太陽電池で発電し、うちの約8分の1に当たる412.5kJ(114.6Wh)をバッテリーに充電しながらパワーへ64Wの電力を10.9時間供給することになる。仮にバッテリーの充電量をすべてパワーへ供給した場合、パワーへの供給可能電力量は1日当たり2915.8kJ(809.9Wh)となり、これは前年度の5倍以上に当たる。その際のパワーの運転可能時間は12.7時間となる。これよりPV電源システムの性能が飛躍的に向上したことが分かる。これはPV電源システムの効率の悪いインバータを取り外したことが大きな理由である。

現行のPV電源システムでパワーを終日24時間で運転した場合、最適負荷の消費電力1)は32Wと今年度実験値の約2分の1なる。従って、現行のパワー(定格消費電力72W)をこの時期に24時間で運転するには太陽電池の最大出力を現行の約2倍に当たる768Wpにアップする必要がある。

前年度に比べて太陽電池の変換効率は2ポイント低い7.7%であり、発電率も19.0%と7.9ポイント低い値を示した。これは今期のPV電源システムが24時間にわたり稼働させたので日の出及び日没の効率が低下する時間帯が加算されたことが主な原因である。

悪天候時の太陽電池への1日当たりの入射エネルギーを22272.04kJ(実験期間の下限値10日間の平均値)とした場合、現行のPV電源システムの終日24時間での連続運転の可能な日数¹⁾は4.8日間となり、前年度より3.5日間も延びている。連続運転可能日数を設計値の10日間とした場合、現行のバッテリー容量の約2倍にしなければならないことが分かった。

4. シミュレーションの結果及び考察

図6は過去10年間の経別の日射量(表2)を用いて行なった各月代表日の現行システムの性能のシミュレーションの結果である。各月のバッテリー放電量は充電量より約4MJ/d前後ほど上回っている。これより現行システムで定格消費電力72Wのパワーを終日24時間で運転した場合、バッテリー容量が各月とも約5日間で0Wになる。表3は上記のシミュレーションから求めた月毎の最適な太陽電池最大出力及びバッテリー

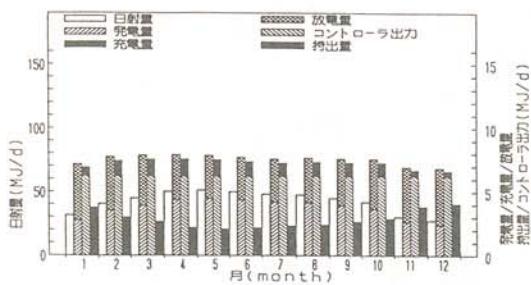


図6 供試PVセル電源システムの性能値の計算結果

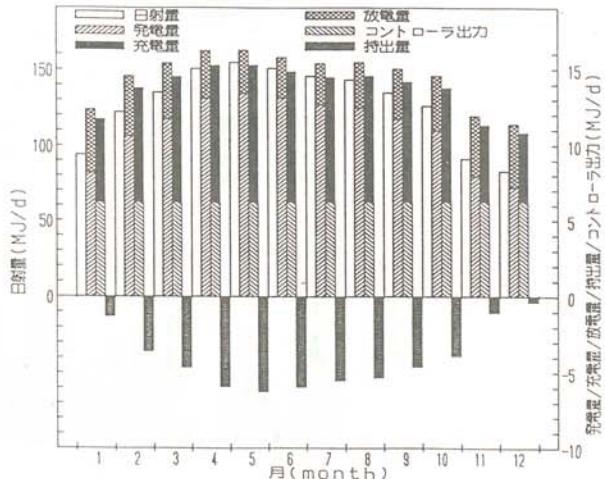


図7 最適なPVセル電源システムの性能値の計算結果

容量を示す。年間を通してパワーを終日24時間で運転した場合、最適な太陽電池の最大出力及びバッテリーカapasityは日射条件の最悪な月、すなわち、表中の最適値の最大の月の値に合わせる必要がある。最適な太陽電池及びバッテリーカapasityの最大値はそれぞれ12月の1085.09WP及び11月の14138.22Whである。従って、機器の仕様及び配列構成を考慮した最適な太陽電池及びバッテリーカapasityはそれぞれ1152Wp(48Wp×2S×12P)及び14400Wh(12V×150Ah×2S×4P)となる。これは現行システムのそれぞれ3倍及び2.4倍である。図7は月毎の代表日の最適な太陽電池及びバッテリーカapasityのシミュレーションの結果である。

5. むすび

平成5年度の実験の結果、以下のような結論に達した。①PV電源システムのインバータを取り外し新しい構成に組み直したことにより、システム効率が前年の3倍近く向上した。②今期のシステムの諸元及び性能値をもとに年間のシミュレーションを行なった結果、定格消費電力72Wのパワーを終日24時間の連続運転をする場合、太陽電池の定格出力及びバッテリーカapasityはそれ現行の3倍の1152WPおよび2.4倍の14400Whにアップする必要がある。今後、これらの改善によってPV電源システムで通年の実証試験を行なうことにより、太陽電池電源駆動による河川浄化システムの技術がより一層確実なものとなろう。

参考文献

- (1)金山、馬場、遠藤、斎藤、森本:寒地技術シンポジウム'93講演論文集, pp.335~340, (1993).
- (2)馬場、金山:空気調和・衛生工学会北海道支部第23回学術講演論文集, pp.67~68, (1989).

衛星データによる北方領土四島の 自然環境調査

—ランドサット TMデータによる土地被覆分類—

Survey of Natural Environment for Northern Territory

Four Islands Using Artificial Satellite Data

—Estimation of Land Cover Classification Using Landsat TM Data—

佐渡 公明（北見工業大学工学部土木開発工学科）

広田 昌一（株式会社西村組研究開発室）

大原 健一（株式会社西村組研究開発室）

Kimiteru SADO (Dept. of Civil Eng., Fac. of Eng., Kitami Inst. of Tech.)

Shoichi HIROTA (Development Project Section, Nishimura Co., Inc.)

Kenichi O-HARA (Development Project Section, Nishimura Co., Inc.)

Key words: Landsat TM data, northern territory four islands,
land cover classification

1. 緒 言

北方領土四島の返還の機運が高まっている情勢の中、返還が明確になった段階で北海道開発庁は北方四島の開発計画を作成することが閣議決定されている。このような自然に配慮した開発計画の作成のためには、あらかじめ北方四島の自然環境やインフラ整備の現状を把握しておかなければならないことは申すまでもない。そこで本研究では、LANDSAT-5の衛星データを用いて、北方領土四島の衛星画像の作成と土地被覆分類を行うことを目的とする。

2. 北方領土四島のランドサット TM画像

2. 1 解析対象 TMフルシーン

一般に衛星データを用いて土地被覆分類を行うためには、対象地域に積雪がなく植生が成長している夏期であり、雲量は0%であり、しかもできるだけ最新のデータが望ましい。北方領土四島（国後島、歯舞諸島、色丹島、択捉島）をカバーするランドサット5号のフルシーン番号は、パス104-105、ロー28-30である。1984年3月1日にランドサット5号が打ち上げられてからの北方領土四島のTMデータを、宇宙開発事業団 地球観測センターの地球観測情報システムを用いて調べた。その結果、本研究で用いたTMデータは表-1に示す通りであり、光デスクを入力媒体として用いた。

2. 2 幾何補正

衛星データの画像処理に用いたソフトは、REMOTE-10¹⁾である。

まず、国後島の場合、北部、中部、南部の3区域に一部重複するように分けて表-1のフルシ

表-1 北方領土四島の解析対象 TM フルシーン

	フルシーンの パス／ロー	サブ シーン	観測年月日
国後島	105/29 (シーセンタ-2/4移動)		1990.07.02
歯舞諸島	105/30	2	1989.09.01
色丹島	104/30	1	1986.08.01
択捉島（北部）	104/28	4	1990.07.27
“（中南部）	104/29		“

ーン（パス105、ロー29）から間引き率5で切り出し、デスプレイ上の512ピクセル×400ラインの範囲に表示させた。次に、画像の輪郭が経線、緯線に平行となる地形図適合のTM画像を得るために幾何補正処理として、アフィン変換を用いた。アフィン変換係数を決めるためのGCP（地上基準点）としては、岬の先端や特長のある海岸線を候補に上げ、北部、中部、南部に対しそれぞれ8、9、13地点を選定した。画像座標と地図座標との変換の精度は、RMS（Root Mean Square）誤差で表わすと、北部のピクセル、ラインに対しそれぞれ0.46, 0.28画素、同様に中部に対し0.30, 0.22画素、南部に対し0.64, 0.97画素と満足できる結果であった。幾何補正済みの画像は、ニアレストネイバー法によりリサンプリングし、最終的に北部、中部、南部に対しそれぞれ東西 $37'30''$ ×南北 $25'$ （約51km×46km、デスプレイ上では400ピクセル×320ライン）の地形図適合のTM画像が得られた。

歯舞諸島の場合、表-1のサブシーンから、水晶島、秋勇留島、勇留島、多楽島については間引き率1で切り出し、志発島については、全島が間引き率1で400ピクセル×320ラインに納まらないので、北西部、北東部、南部の3部分に一部重複するように分けて間引き率1で切り出した。各島毎にGCPを7～9点選定し、RMS誤差はピクセル、ラインに対しそれぞれ0.32～1.25画素、0.62～1.22画素であった。以上により、間引き率1の地形図適合のTM画像が、水晶島、秋勇留島、勇留島、多楽島についてはデスプレイ上400ピクセル×320ライン上に、志発島については3画像合成し512ピクセル×400ライン上に得られた。

色丹島も同様に、表-1のサブシーンから間引き率3の画像を切り出し、GCP15点を選定し、RMS誤差はピクセル、ラインに対しそれぞれ0.83, 0.88画素となり、デスプレイ上400ピクセル×320ラインの地形図適合TM画像が求められた。

北方四島で最大の島、択捉島については、まず表-1のフルシーンとサブシーンが一部重複しているので、重複部分の一方の画像のあるラインを数画素分固定し、他方の画像のラインとの輝度値の差の標準偏差を計算し、それが最小値となるラインで重なるように、両シーンを接続した。その後、間引き率5でフルシーンから南部、中南部、中北部の3枚、サブシーンから北西部、北東部の2枚、合計5枚が互いに一部重複するように切り出した。この5枚の画像に対し、GCPを6～8地点選び、RMS誤差はピクセル、ライン方向に対しそれぞれ0.84～2.03画素、0.51～1.42画素であった。以上により、1枚の大きさが経度方向60km×緯度方向48km（約 $45'07''$ × $26'01''$ ）の地形図適合のTM画像が5枚求まった。さらに5枚の画像の互いの重複部分を切り取って合成し、間引き率3で間引いて択捉島全島のTM画像が得られた。

3. 北方領土四島の土地被覆分類

本研究の土地被覆分類は、2. 2で述べた幾何補正済み画像に対し、教師付き分類法の1セル法を用いた。ソフトウェアはREMOTE-10を利用し、データはTMバンドの1～4を用いた。

まず、国後島の場合フルシーン105、29に気候、植生が類似していると思われる根室半島や知床半島が映っているので、教師データのトレーニングエリアを得るために、1991年5月27～29日間に根室半島で、1991年10月15、16日に知床半島でグランドトルースを行った。その結果、土地被覆分類カタゴリーは、広葉樹林、針葉樹林、混交林、住宅地、草地、野草地、裸地、湿地、水域とした。牧草地のような場所を草地とし、人の手が入っていない自然のままの草地を野草地とした。土地被覆分類の検証のために、知床半島の知床横断道路を中心とした地域に、この9カタゴリーの教師データで土地被覆分類した結果は、1/25,000地形図や1/50,000植生図及びグランドトルースの資料とほぼ一致し、分類結果がほぼ正しいことが確認された。但し、雲、雲の影、未分類がそれぞれ 1.2, 0.1, 13.3%含まれている。次に、この雲、影を追加した11カタゴリーの同一教師データによるバンド1～4のスペクトル輝度分布を用いて国後島の北部、中部、南部に対し土地被覆分類し、これらを合成して得られた国後島の最終の土地被覆分類結果が表-2である。国後島の土地被覆は、1位混交林30.3%、2位針葉樹林29.7%、3位野草地14.9%であり、森林が66.7%、緑被率が83.3%を占め住宅地はわずか1.2%であった。国後島の最大の町である古釜布や泊についても間引き率1のTM画像を作り、上記9カタゴリーのトレーニングデータを知床、根室半島から切り出し解析対象画像の海に割り付け、土地被覆分類を行った。このときの検証は、根室半島の付け根の東梅地域で行った。国後島の北部と南部の自然保護区には道路がないが、南半分にはメンデレエフ空港を中心に数本の道路がみられる。防波堤などの港湾施設は見られず、古釜布、泊を含めて8カ所の集落が確認できた。

表-2 国後島の土地被覆分類

カタゴリー	ピクセル数	割合 (%)
広葉樹林	5,388	6.68
針葉樹林	23,989	29.74
混交林	24,472	30.34
住宅地	994	1.23
草地	143	0.18
野草地	11,991	14.87
裸地	711	0.88
湿地	1,179	1.46
水域	1,197	1.48
雲	34	0.04
雲の影	4	0.01
未分類	10,558	13.09
合計	80,660	100.00

歯舞諸島、色丹島の土地被覆分類のためのグランドトルースは、1992年8月5～7日に根室半島で、1992年8月7、8日に知床半島で実施した。表-1の歯舞諸島のサブシーン105／30、2には、根室半島付け根の春国岱周辺まで映っている。したがって、土地被覆分類カテゴリーとしては、根室半島でトレーニングエリアが得られる広葉樹林、針葉樹林、混交林、住宅地、草地、野草地、笹原、湿地、水域、干潟以上10カテゴリーとした。この10カテゴリーの教師データによるバンド1～4のスペクトル分布を用いて、検証のために行った根室半島の土地被覆分類結果は満足できるものであった。この教師データのスペクトル分布を用いることにより、歯舞諸島の土地被覆分類は表-3のように得られた。歯舞諸島は野草地が30～59%と最も多く、ついで草地、湿地、笹原の順であり、針葉樹は約2%、広葉樹は約1%である。

表-3 歯舞諸島の土地被覆分類

カテゴリー	水晶島		勇留島		秋勇留島	
	ピクセル数	割合(%)	ピクセル数	割合(%)	ピクセル数	割合(%)
広葉樹林	54	0.35	179	1.50	38	1.74
針葉樹林	283	1.85	277	2.33	60	2.75
混交林	1	0.01	0	0.00	0	0.00
住宅地	179	1.17	136	1.14	28	1.28
草地	4,466	29.14	2,463	20.66	636	29.16
野草地	5,195	33.89	6,984	58.59	662	30.35
笹原	404	2.64	1,067	8.95	592	27.15
湿地	4,418	28.82	741	6.22	135	6.19
水域	111	0.72	23	0.19	1	0.05
干潟	25	0.16	5	0.04	3	0.14
未分類	191	1.25	45	0.38	26	1.19
合計	15,327	100.00	11,920	100.00	2,181	100.00

カテゴリー	多楽島		志発島	
	ピクセル数	割合(%)	ピクセル数	割合(%)
広葉樹林	82	0.61	966	1.34
針葉樹林	207	1.53	0	0.00
混交林	0	0.00	0	0.00
住宅地	51	0.38	1,147	1.58
草地	4,316	32.02	20,925	28.87
野草地	6,537	48.50	23,745	32.76
笹原	47	0.35	282	0.39
湿地	2,137	15.85	22,094	30.48
水域	35	0.26	1,395	1.92
干潟	13	0.10	178	0.25
未分類	54	0.40	1,744	2.41
合計	13,479	100.00	72,476	100.00

色丹島のサブシーンには根室半島の先端までしか映っていないので、歯舞諸島と同じ教師データが使えるのは、住宅地の納沙布岬だけである。広葉樹林、針葉樹林、混交林のトレーニングエリアは、「千島森林誌」²⁾の1/50,000色丹島林相図を参考に色丹島から選び、牧草地、野草地、笹原、湿地、水域のトレーニングエリアは、歯舞諸島の土地被覆分類結果から選定した。干潟はトレーニングエリアを取れるような充分大きな面積を持つ場所が見つからなかったため、カテゴリーから除外した。以上から、色丹島の土地被覆分類結果は表-4である。色丹島は草地27%、混交林23%、野草地19%、笹原13%、広葉樹8%、針葉樹5%、水域、住宅地、湿地が1%である。

表-4 色丹島の土地被覆分類

カテゴリー	ピクセル数	割合 (%)
広葉樹林	2,956	8.18
針葉樹林	1,724	4.77
混交林	8,272	22.89
住宅地	320	0.89
草地	9,798	27.11
野草地	6,767	18.72
笹原	4,700	13.00
湿地	315	0.87
水域	338	0.94
未分類	952	2.63
合計	36,142	100.00

表-5 拝捉島の土地被覆分類

カテゴリー	ピクセル数	割合 (%)
広葉樹林	7,056	4.23
針葉樹林	45,482	27.24
混交林	21,350	12.78
住宅地	1,535	0.92
野草地	1,687	1.01
笹原	21,483	12.86
湿地	2,681	1.61
裸地	8,055	4.82
水域	26,462	15.85
雲	7,929	4.75
未分類	23,256	13.93
合計	166,976	100.00

択捉島の場合、2. 2で述べた幾何補正済みのTM画像5枚に対し、土地被覆分類を行った。このとき広葉樹林、針葉樹林、混交林、住宅地、野草地、笹原、湿地、裸地、水域、雲、以上10カテゴリーの教師データは、次の5項目を総合的に考慮して決めた。1)雲、水域のように画像上で明白に区別できる、2)択捉島のフルシーン104/29に映っている国後島北端部の土地被覆分類結果、3)国後島のフルシーン105/29に映っている択捉島南端部への国後島と同一教師データによる土地被覆分類結果、4)1/50,000の地形図³⁾、5)バンド1のシュウドカラーによる針葉樹と広葉樹の区別。得られた5枚の土地被覆分類画像の重複部分をカットして合成し、さらに間引き率3で間引いて択捉島全島の土地被覆分類画像を求めた。その土地被覆分類結果を表-5に示す。針葉樹林が27%と最も多く、ついで水域16%、笹原13%、混交林13%、以下5%未満で裸地、広葉樹林、湿地、野草地、住宅地1%の順である。国後島と比較すると、北に位置するので広葉樹と混交林の割合が少なく、針葉樹、草地全体、住宅地、湿地はほぼ同じ、水域と裸地が非常に多い。択捉島の道路・集落地図も作成したが省略する。

4. 結 言

北方領土四島に関するランドサットTMデータを用いた衛星画像の作成、土地被覆分類について述べた。これらの結果はパソコンで容易にみることができ、北方四島の現状把握、環境に配慮した開発計画作成等において貴重な基礎資料となるであろう。ランドサット衛星データは、アメリカのOpen sky policyにより世界中の誰でもが利用できるように、本研究で得られた成果は希望があれば全ての人に公開する。

なお表題については、佐渡公明、高橋修平、森 弘、前田寛之、劉朝鋼、榎本浩之、中岡良司、伊藤陽司、中尾隆志、広田昌一、大原健一、以上により共同研究を行ったが、副題については、佐渡公明、広田昌一、大原健一の3人で分担研究を行った。

本研究を遂行するに当たり、北見工業大学開発工学科卒業生の谷島哲男、塩田雅史、高岡賢治、岩井雅彦、長瀬たくみ、沢田和則、榎 正浩、児島正洋、以上の諸氏に御協力を頂いた、ここに記して感謝致します。

参考文献

- (1)日本リモートセンシング学会出版委員会編：パソコンによるリモートセンシングデータ解析、啓学出版、pp.109-151、(1989).
- (2)帯広営林局編：千島森林誌、帯広営林局発行、344pp.、(1959).
- (3)国土地理院：5万分の1地形図（北方四島）、国土地理院、(1992).

溶射法の応用による木材の表面改質

Applicaiton of Thermal Sprayed Coating for Surface Treatment of Timber

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 (北見工業大学工学部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)

伊藤 廣 (北見工業技術センター)

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.)

Hiroshi ITOH (Kitami Industrial Technology Center)

Key word: surface treatment, timber, thermal spraying process, corrosion and thermal barrier coating

1. 緒言

木材は、加工性はもとより断熱性、遮音性に優れ、しかも温かさと柔らかさなど、人間の感性に最もなじみやすい天然の素材であるという点では他の追随を許さない。しかし、一方では反り・狂いが生じやすく、耐火性、耐腐食性等に難点がある。これら木材の短所の多くは、その表面層を改質することによって改善することが可能になる。本共同研究は、皮膜形成技術の一つである溶射法の応用による木材の高機能化・複合化表面改質を目的にしたものであり、ここでは皮膜の密着強度、透水性、耐衝撃性、耐火性及び耐久性など、実用化に際して必要な基礎的事項の検討結果について報告する。

2. 溶射施工方法

木材への溶射に際しては、表面温度を最低発火温度以下とし、また著しい組成変化を生じさせないように条件を設定することが必要になる。木材の最低発火点は、含水率8%程度の場合に約250~270°Cのものが多く、金属材料を対象にした場合に比べ溶射条件の設定は厳しくなるが、文献1-5)でも明らかなように技術的には既に確立しており、現在ではプラズマ及びガス溶射が自由に行えるようになっている。

溶射皮膜と基材との接合の主因は投錨効果による機械的結合である。このため溶射の前処理として基材に対する粗面化が必要になる。図1はトド松材表面を(a)かんながけ、(b)木工用サンドペーパ(80#)によるスクラッチ処理、(c)アルミナグリットによるブラスト処理の3種類について、銅皮膜接合部断面の顕微鏡写真の例である。接線断面及び横断面の場合ともにかんながけしたままの(a)に比較して(b)、(c)の方法で粗面化したものでは皮膜の脚が木材内部に深

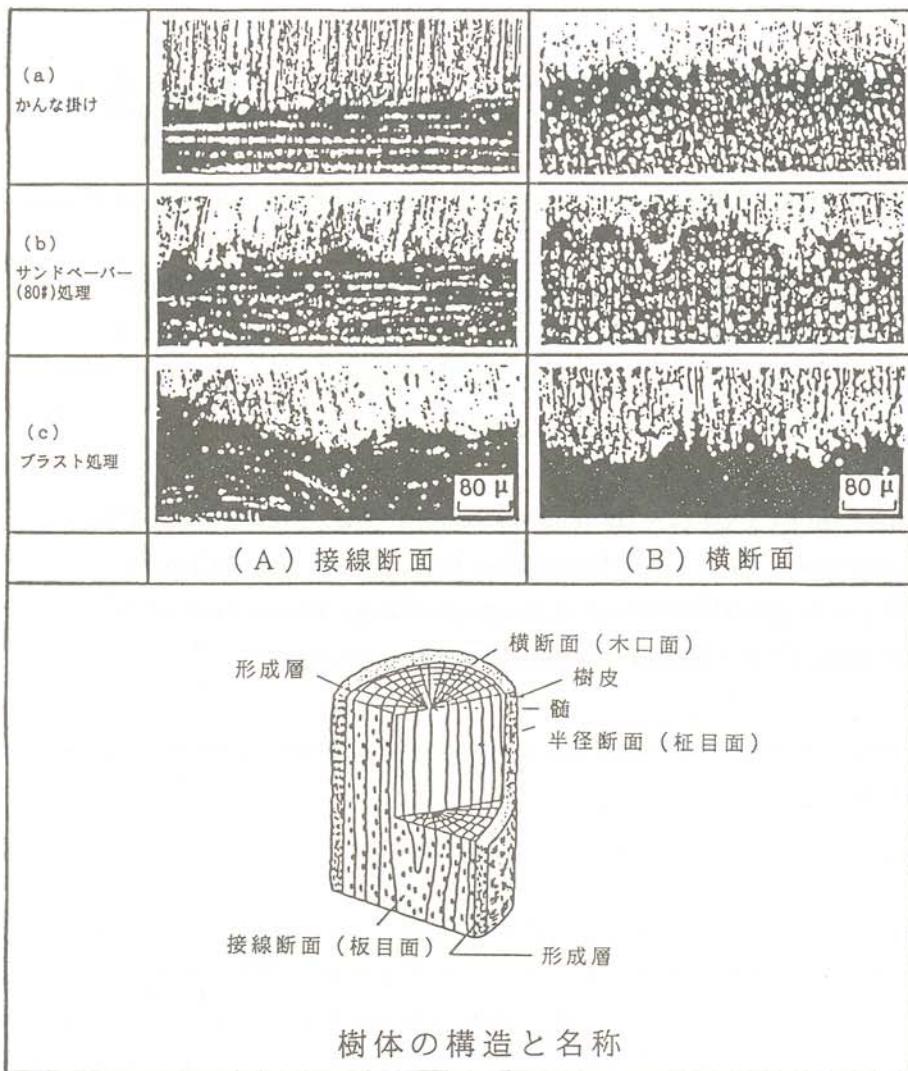


図1 皮膜接合部断面写真の例（銅皮膜）

く噛み込んでいる。このことは皮膜の密着強度が(a)に比べより大きいことを意味する。従って、木材への溶射に際してはブラストあるいはサンドペーパによるスクラッチ処理が有効である。

3. 溶射皮膜の試験結果と評価

3.1 密着強度

図2はトド松材（寸法：50×50-150mm）に銅皮膜を厚さ200μm～300μmに溶射した試験片について、含水率を加湿、乾燥して変化させた際の引張密着強度の測定結果である。密着強度は初期含水率7%の場合に約16kgf/cm²と最も大きく、含水率が増加しても減少しても低下する傾向が認められる。特に含水率が減少した場合の強度低下が著しく、これは含水率の減少に伴う木材の収縮変化によって投錨効果が低下したためと考えられる。従って、溶射したままの木製品を3.2及び3.3に述べる封孔処理をすることなく使用するような場合には含水率が変化し、密着強度の低下する恐れがある。通常の大気の状態における含水率（平衡含水率といい、木材の細胞膜中の結合水が大気の蒸気圧に釣り合ったときの含水率）、すなわち気乾含水率は地域、気候、季節等により異なり、日本での平均値は約15%⁶⁾、北見地方では13%程度である。この

ため、大気中に長期間暴露された木材の含水率は気乾含水率にまで達し、密着強度は低下することになるが、気乾含水率が13~15%になっても図から分かるように 10kgf/cm^2 以上が確保され、この値は木材に布や紙等を張った家具・建築用材の強度に比べ2倍程度大きい²⁾。なお、試験片の初期含水率は以下の実験を含め、人工乾燥により7~8%に調整したものである。

3.2 耐透水性

溶射皮膜は溶融微小粒子の扁平、積層したものであり、内部に気孔が存在する。気孔率は一般に5~15%といわれ⁷⁾、溶射法、条件等に依存するが、皮膜厚さが薄い場合には表面から基材に貫通する孔が存在することもある。

そこで、木材の複層仕上げ塗材を対象にした透水試験方法(JIS A6910)に準拠した試験を行った。図3は、エゾ松材(寸法:110×10-110mm)にアルミニウム皮膜を形成した試験片について、透水量と時間の関係を皮膜厚さをパラメータにとり整理した例である。JIS法では24時間試験で透水量0.5ml以下を適合としており、この基準値を用いれば、図3で適合するのは皮膜厚さ700μmの場合のみである。溶射皮膜の厚さは、肉盛りの様な特殊な場合を別にすると通常200~400μm程度であり、あまり厚くすると基材の伸び縮みに追随できずき裂やはく離の生じる可能性が大きくなる。このため皮膜厚さ200~400μmのものに耐透水性を確保しようとすれば、気孔を埋めるいわゆる封孔処理が必要になる。図中に●印で示す測定結果は、皮膜厚さ200μmのものに高分子系樹脂材料を塗布し封孔処理を行った場合の例であるが、このように封孔処理を行うことにより透水量はほとんど無視でき

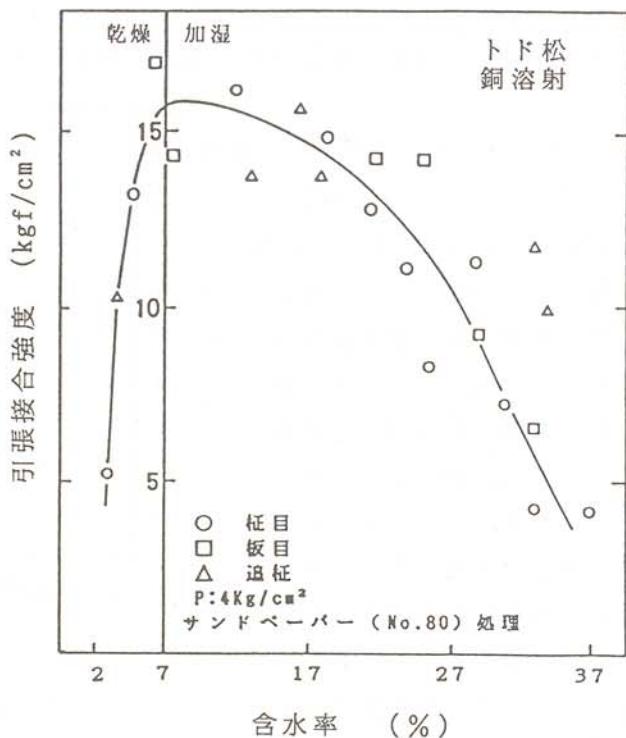


図2 含水率の変化と皮膜密着強度の関係
(銅皮膜)

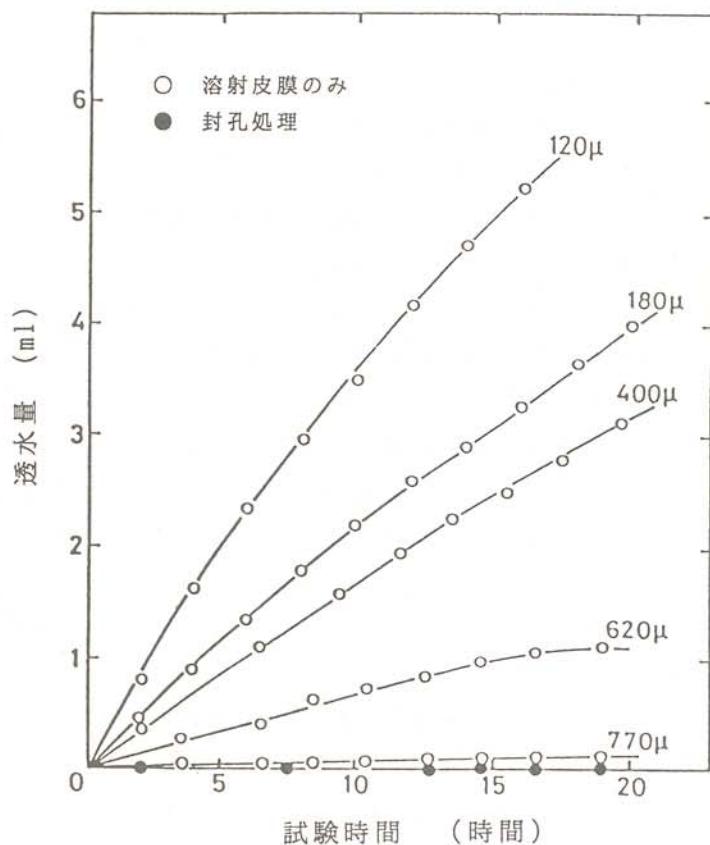


図3 透水試験の結果 (アルミニウム皮膜)

るようになる。なお、封孔処理を行うと、樹脂が皮膜と基材中に侵入して接着剤と同様の作用をするので、皮膜の密着強度は格段に向上することになる。

3.3 含水率の変化と寸法変化

図4は、ブナ材（寸法： $110 \times 30-198\text{mm}$ ）について素材のままのものと、一接線断面を除く他の全面に厚さ約 $200\mu\text{m}$ のアルミニウム皮膜を被覆した試験片を対象に、乾湿の繰り返しに伴う寸法の変化率を示したものである。寸法の変化は皮膜の有無にかかわらずほとんど同じ傾向を示しており、これは皮膜が多孔質であること及び皮膜が基材の収縮

膨張に追随して変化することを物語っている。寸法が変化しても皮膜のき裂、はく離は認められていないが、3.1に述べたように、含水率の変化は皮膜の密着強度を低下させる方向に作用するので、使用目的によっては封孔処理を行うことが必要になる。

3.4 耐火性

木材は空気または酸素の中で加熱すると 180°C 前後で分解が始まり、一酸化炭素COとメタンCH₄、水素H₂等の揮発性ガスを発生し、口火（点火源）を近づけるこれら分解ガスに引火する（引火点）。加熱温度が $250^\circ\text{C} \sim 260^\circ\text{C}$ になると炭化が始まり、 280°C 前後になると分解ガスの引火に引き続き木材に着炎して燃焼が始ま（着火点）、さらに 450°C 前後からは口火なしで着炎して燃焼が始まる（発火点）⁸⁾。ただし、着火点温度近傍であっても、長時間加熱されると自然発火に至るので、 $250 \sim 270^\circ\text{C}$ が一般に最低発火温度となる。このように木材は耐火性能に難点があり、使用範囲が限定されることもある。そこで、溶射皮膜を形成することによって耐火性がどのように変化するかを、木材の着炎性試験方法(JIS Z2120)により調べた。

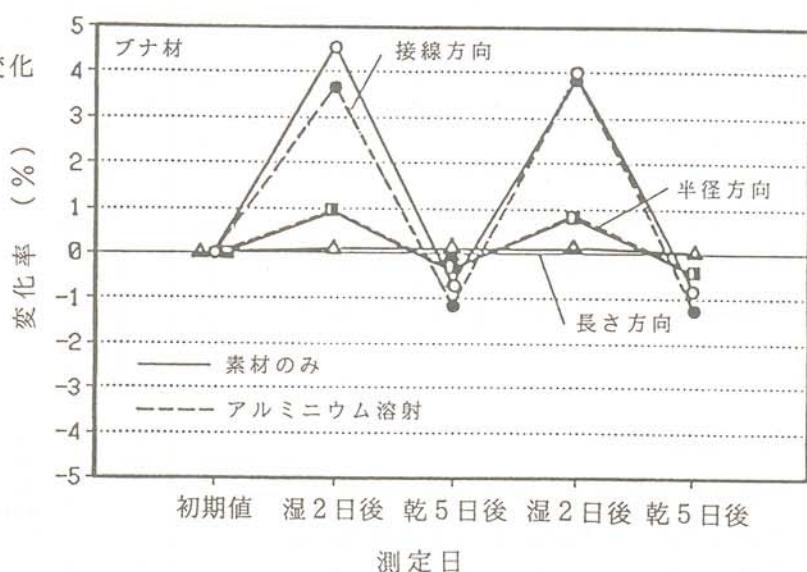


図4 乾燥・加湿サイクルと寸法変化の関係
(アルミニウム皮膜)

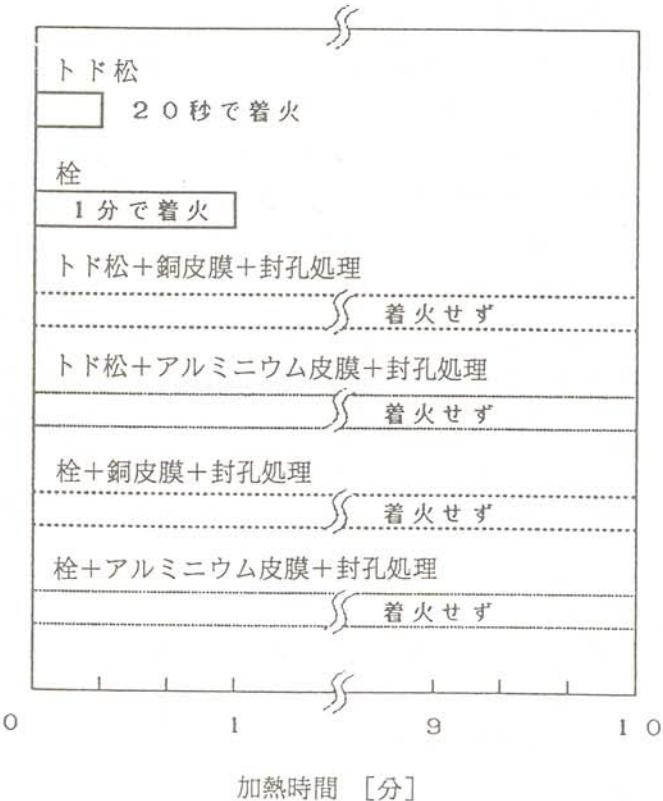


図5 着火時間の比較 (加熱温度 550°C)

JIS法によれば一辺20mmの立方体の試験片を350、450及び550°Cの3段階に設定した炉中に入れて着火するまでの時間を測定することになる。ここでは、針葉樹からトド松、広葉樹から栓を代表に選び、立方体の全面に溶射皮膜を形成したものと基材のみのものについて着火時間の測定、加熱時間と質量変化の関係、並びに外観と断面観察を行った。

図5は、加熱温度550°Cにおける各試験片の着火時間を示した例である。トド松及び栓の基材のみの場合には着火時間はそれぞれ20秒、60秒前後であるのに対し、溶射皮膜を形成したものは、外観上からは着火は認められず、形状の変化も認められない。

図6に栓についての断面写真を示す。基材のみの場合には加熱時間5分で既に原形が認められないのに対し、銅及びアルミニウム皮膜を被覆したものでは内部は炭化しているものの10分経過時においても原形は維持されている。

3.5 耐衝撃性

アルミニウム、銅及びブロンズ皮膜を形成した試験片を対象に、建築用ボード類の衝撃試験(JIS A1421)に準拠した試験を行った。実験では、質量0.534kgの鋼球を最大1000mmの距離から自由落下させたが、皮膜には窪みは生じるもののはく離等は認められていない。JIS法では落下高さを最大300mmとしているので、1000mmの条件においてもき裂等が発生しないことは、皮膜が十分な耐衝撃性を有していることを示している。

3.6 耐久性

耐久性及び劣化状態を把握するために JIS 1415、JIS A1410に準拠したウェザーメーターによる促進暴露試験を実施した。封孔処理を行ったものについては連続2184時間試験ではなく離割れは認められず、異常無しと判断されたことから溶射皮膜の耐久性は極めて大きい。

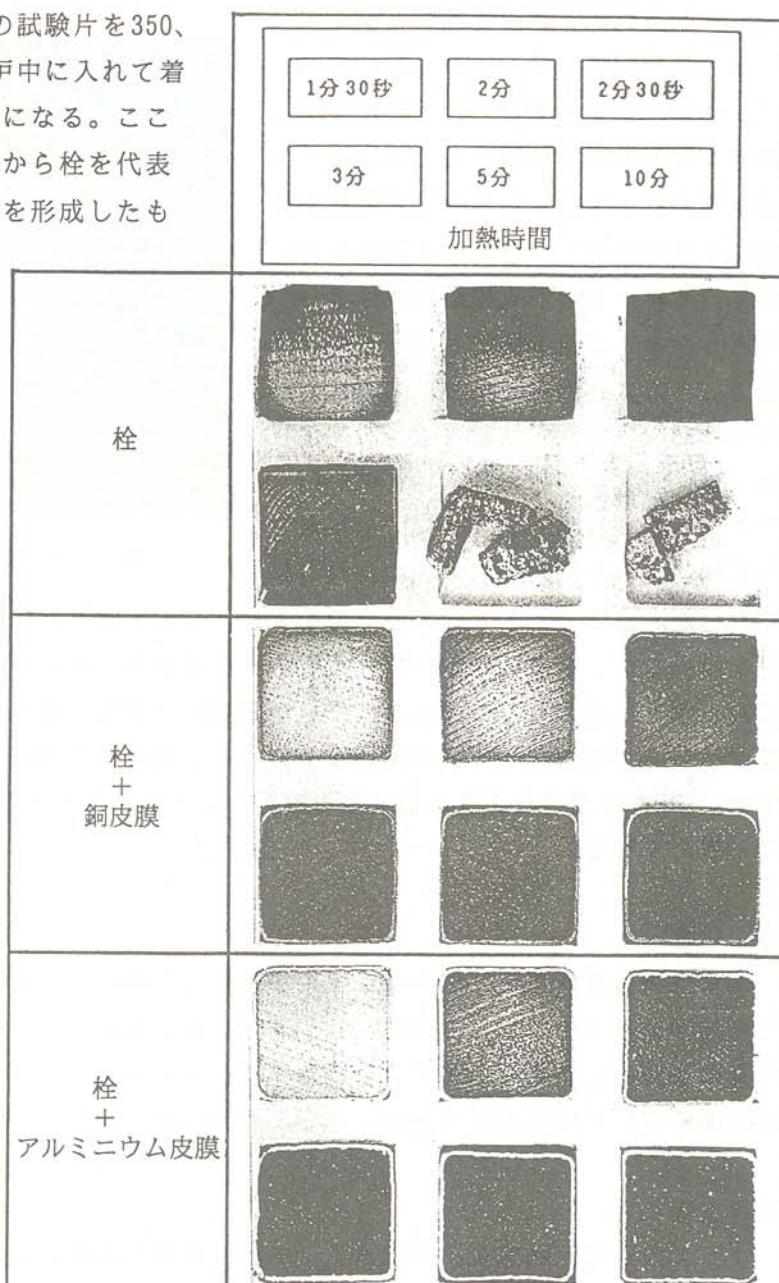


図6 各加熱時間後の断面写真（加熱温度550°C）

4. 木製防火ドアへの応用

溶射技術の木製品への具体的応用として、木製サッシ（窓枠）の屋外に面する部分を溶射皮膜で被覆することによって耐久性の向上を図った寒冷地方用断熱複合サッシを開発し、特許権を取得している⁵⁾。木材への溶射皮膜の形成は3.4で明らかなように耐火性能を著しく向上させる。一方、建築基準法施工例第110条に定める防火戸の認定試験方法が改正された（建設省告示第1125号、1990年6月）ことに伴って木質系ドアに対しても甲種及び乙種防火戸としての認定の取得が可能になった。そこで、トド松とカラ松を主材とした木製ドアに銅及び亜鉛皮膜を被覆した防火ドアを試作した。図7は試作ドアの鏡板の一部であり、木目出し（うづくり）処理したカラ松材に銅皮膜を形成したものである。木目が鮮明に浮き出、柔らかみ、温かみ等、木材の本来の特性がそのまま生かされた試作品となっている。防火認定の取得に関しては今後の検討課題であるが、3.6に述べたように耐久性も良好なことからこの分野での実用化はかなり期待できるものと考えられる。

5. 結言

木材は構造材料としてのみならず、防露性、断熱性、遮音性等本質的に優れた機能材料としての特性を持っている。この特性を積極的に活用するには、木材の弱点である耐腐食性、耐火性等の改善向上を図ることが必須の条件になる。本研究では、木材の改質手段として溶射技術の応用について検討を行ったが、本方法は実用的にかなり期待できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 二俣正美、棟徹夫、竹内貞夫、中西喜美雄：溶射による木材の複合化に関する研究、溶接学会全国大会講演概要第37(1985)、PP.140-141.
- 2) 二俣正美：溶射による木材の表面改質について、第1回寒地環境工学合同シンポジウム講演概要論文集(1987)、PP.87-93.
- 3) 二俣正美、富士明良、中西喜美雄、鴨下泰久：溶射法の新しい適用分野について、溶接学会第121回溶接法研究委員会 資料(1989)、PP.1-14.
- 4) 伊藤廣、二俣正美：プラズマ金属溶射による複合サッシの開発、日本木材学会北海道支部第22回研究会(1991)、PP.25-29.
- 5) 北見工業技術センター運営協会：複合材による断熱サッシュの製法、特許第1522872号(1989).
- 6) 林業試験所編：木材工業ハンドブック、丸善(1958)、PP.112-113.
- 7) 日本溶射協会編：溶射ハンドブック、新技術開発センター(1986)、PP.475-476.
- 8) 北原覚一 著：木材物理、森北出版(1966)、PP.63-64.

景観材料及び水中生物付着防止への溶射法の応用

Development of Scene Materials and Preventive Measure of
Apposition Waterlives by Using Thermal Spraying Process

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 (北見工業大学工学部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)

鴨下 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: scene material, prevent apposition of waterlives, surface treatment,
thermal sprayed coating

1. 緒言

成膜技術の一つである溶射法は、防食、防錆、耐熱、耐摩耗特性の改善など従来の応用分野にとどまらず、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その地位を着実に築きつつある。

筆者らは1986年以降、各種コンクリート構造物の早期劣化の防止と意匠性改善への溶射法の応用¹⁻⁵⁾、並びに水中生物の付着が溶射皮膜の材質に対し選択的であることを利用し、生物付着防止法への応用について検討を行っている⁶⁻⁸⁾。

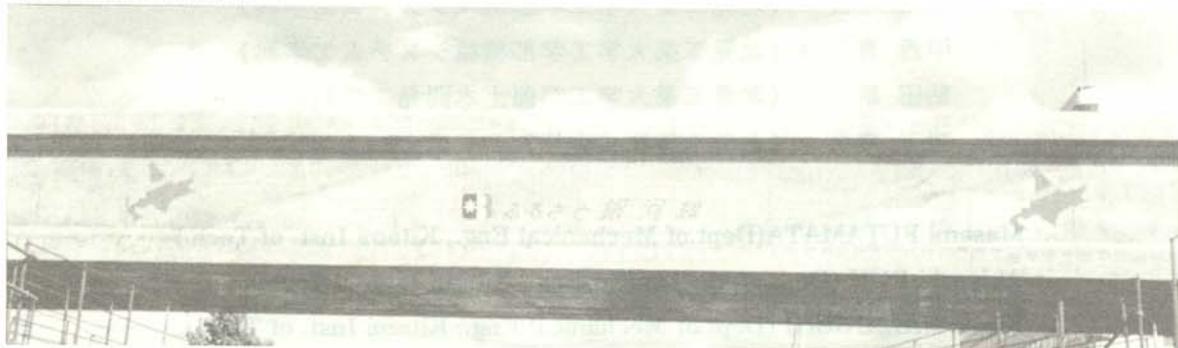
本報告では、溶射皮膜の色調をコンクリート構造物の意匠性の改善及び景観材料への改質に応用した事例を示すとともに、現在、第6期段階に入ったサロマ湖における生物付着試験の経過について述る。

2. 景観材料への応用

従来の機能性・規格化重視の土木、建築材料とは別に、生活する人々に優しく、地域特性と調和のとれた美しい景観を構成するための材料が求められ、「景観材料」という新しい概念でとらえられ始めている。景観材料には耐久性、耐候性、施工性やメンテナンスのしやすさを備えているのは勿論のこと、地域特性の演出効果があり、調和力や感触性、色彩、デザイン性に優れ、エージングに対する配慮のされていることなどが求められる。溶射法による皮膜の形成

は、色彩には現在のところ限定があるものの、景観材料に要求される事項を多くの点で充たしている。

図1に適用事例を示す。(a)は北海道ちほく高原鉄道のコンクリート製高架橋桁の両側に、北海道地図(銅皮膜)、北斗七星(ブロンズ皮膜)、鉄道(ブロンズ皮膜)をモチーフにした図柄及び本鉄道の愛称である「ふるさと銀河線」の文字(銅皮膜)を溶射によって製作したものの一例である(1992年5月施工。本鉄道は北見市から池田町までの全長約140kmで、沿線の1市6町による第3セクター方式で運営されている)。(b)は北見にゆかりの「はっか記念館」を切り絵状にデザインしたモニュメントへの応用例である(1992年12月製作。皮膜には銅、基材には白御影石を使用)。



(a) ふるさと銀河線高架橋側面

これらの製作工程は概ね次のようである。まず所定の図柄・文字などをブラスト用マスキングシートに描き、基材に張り付けた後に図柄の部分を切り抜く。次に切り抜いた基材表面をブラスト法により粗面化し、溶射を行う。最後にマスキングシートを取り除き、皮膜形成部に透明な高分子系樹脂を塗布する。樹脂の塗布は溶射皮膜内部に存在する気孔を埋めて水の侵入を防ぎ、凍結融解作用による皮膜のはく離を防止するためのものであり、特に寒冷地方では必要な処理(封孔処理)である。なお、このような処理を行うと、樹脂が皮膜と基材とを結ぶブリッジの役割をするので、両者の密着強度は未処理の場合より著しく向上する³⁾。

この他、コンクリート系材料で製作の玄関柱、灯籠、門扉に刻んだ社章と社名、擁壁の壁画への応用など、これまでに約30点の施工実績を有するが、封孔処理を施さないものについては時間の経過とともに色調に重厚さを増し、エージング効果によって意匠的にも優れたものになっている。なお、施工後4年を経過したものもあるが、皮膜にははく離や割れなどは見あたらず、現在まで良好な経過を示している。

3. 水中生物の付着防止法への応用

船をはじめ、海洋、河川、湖沼などに設置の各種構造物、例えば取水・排水管、消波ブロック、水門、橋脚には藻貝類などの水中生物が大量に付着することがある。これら生物の付着は水の流れを阻害して構造物本来の機能を低下させ、著しい場合には完全にその機能を停止させる原因になる。関西電力の場合、原子力・火力発電所の冷却用海水の取水・排水管路に付着す



(b) モニュメント(はっか記念館)

図1 意匠性改善への適用例

る量は、貝類だけでも年間1900tに達し、除去に要する費用は相当な額になるという（1990年7月14日付、日刊工業新聞）。

生物の付着防止対策としては従来、トリフェニルスズ（TPT）やトリブチルスズ（TBT）の有機スズ化合物系のいわゆる防汚剤を塗料、染料に用いる方法が中心であり、1988年度の年間使用量は、TPTが約680t、TBTが約5800tと多用されてきた。しかし、TPTは毒性が強く、長期的に摂取すると成長阻害や白血球減少など免疫力を低下させるとして1990年1月に使用禁止となり、TBTについてもTPTと同様の毒性の他、血液系に悪影響を与える可能性があり、1990年8月に総量規制が実施された。

筆者らは海水中での暴露試験の過程において、溶射皮膜の材質と水中生物の付着状況との間にかなり強い相関性のあることを見い出した。この事実は、溶射法による表面改質が生物の付着防止法として応用できる可能性を示している。そこで、1989年以降各種溶射皮膜を被覆したコンクリート供試体（寸法：150×150-50mm）を対象に、海水中での生物の付着性と耐久性を明らかにする目的で実験を開始し、現在第6期目の試験を継続中である。

実験は、図2、3に示す期間、方法で、サロマ湖の丸山沖1.5km、水深約10mの定点で行っている。サロマ湖はオホーツク海に二つの湖口を持つ周囲約90km、湖央部水深約18m、塩分3.1～3.3‰台の湖である。

設置後約53週経過時の付着生物の湿重量を図4に示す（第2期試験）。コンクリートのみのもの、アルミニウム、アルミナセラミックスにはかなりの生物が付着しているが、銅及び亜鉛系材料にはほとんど付着していないことが分かる。なお、付着量は水深の浅い供試体で多い傾向が認められるが、これは太陽光線の透過と関係があると推定される。

銅の海水中での腐食速度は0.03mm/年程度と小さく、また、一般に無害と認められていることから生物付着防止法への実用が期待できる。ただし、実用化に際しては、海水中での腐食速度

を0.03mm/年とすると、溶射皮膜として技術的に形成しやすい0.4mm程度の厚さでは耐用年数が単純計算で約13年になること、また、現在無害とされているが溶出量は生物が付着しない最小限にとどめる必要がある。ここでは銅系材料を中心に溶出量を制御することを目的に行っている試験の経過について一部報告する。

図5に各供試体への水中生物の付着状況を示す（設置後2年半経過時）。供試体はアルミニウム、銅、銅皮膜にフェノール系

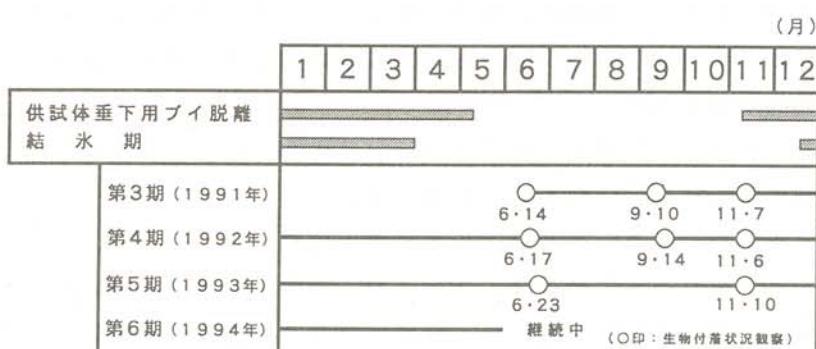


図2 試験期間（第1期、2期試験は省略）

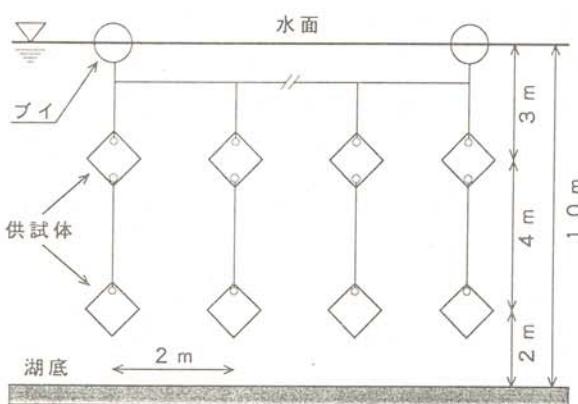


図3 供試体設置方法

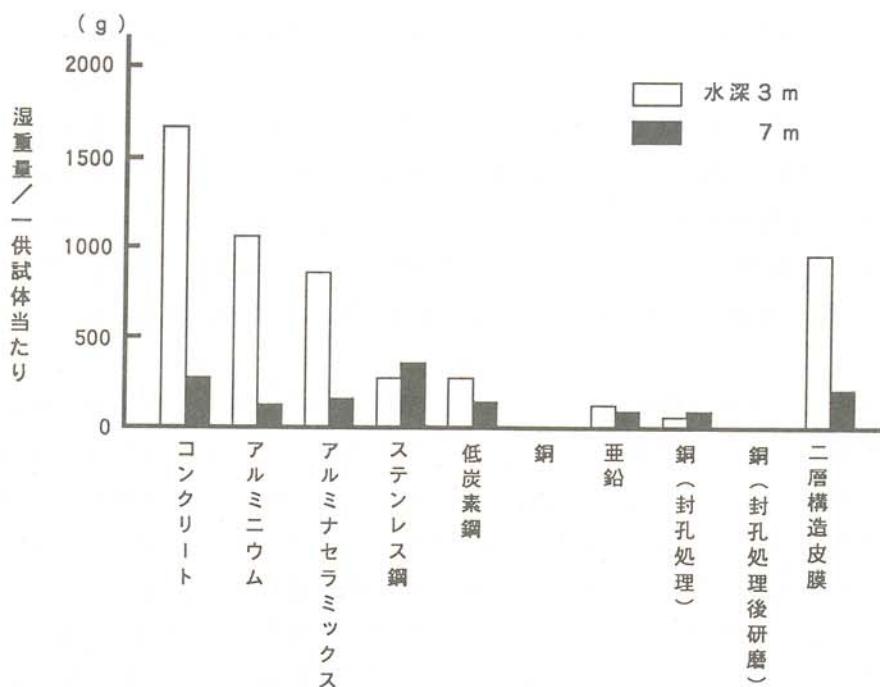


図4 付着生物の湿重量

樹脂で封孔処理した後研磨したもの、銅粉末と腐食速度の遅いアルミニウム ($0.008\text{mm}/\text{年}$)⁹⁾ 粉末を重量比で機械的に混合し溶射した混合皮膜3種類、銅をアンダーコートにアルミニウムを厚さを変えてトップコートした二層構造皮膜2種類、銅合金であるアルミニウムブロンズ、黄銅皮膜などで

ある。なお、溶射は粉末式ガス溶射装置で行い、皮膜全体の厚さを約 0.4mm としている。水中生物の付着状況の特徴を以下に述べる。

(a) コンクリート及びアルミニウム皮膜

コンクリートのみ及びアルミニウム皮膜を被覆した供試体には貝類、ホヤ類、藻類など、多量の生物付着が観察される。なお、アルミニウムは生態系での濃縮や慢性毒性の影響が少なく、生化学的に安定な物質である⁹⁾。

(b) 銅及び封孔処理後研磨を行った銅皮膜

銅皮膜を被覆した供試体には付着生物は全く認められない。銅系金属類は海水中で塩基性硫酸銅 ($\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$) などを主体とする腐食生成物を表面に形成する。これは水中無脊椎動物や藻類の成長を阻害する成分であり⁹⁾、このことが生物の付着を防止したものと考えられる。また、封孔処理を施した後、表面に付着した封孔処理剤を除去した供試体にも生物の付着は認められず、この方法は2.で述べたように皮膜の密着強度を向上させる上からも有効である。

(c) 銅・アルミニウムの混合皮膜

銅の混合割合が多くなると付着生物が少なくなる傾向が見られ、混合比2:1程度から効果が顕著になっている。海水中でイオン化傾向はアルミニウムの方が大きいが、銅の割合が多くなると銅イオンの溶出が同時に進行する結果、生物が少なくなったものと思われる。

(d) 銅・アルミニウムの二層構造皮膜



図5 各供試体への生物付着状況

銅皮膜の上にアルミニウム皮膜を重ねたものでは、銅イオンの溶出しやすいアルミニウム皮膜の薄い場合に生物の付着が少ない。したがってこの方法は溶出量を制御するための有効な手段となり得るが、溶射施工は材料の交換をしなければならないことから煩雑となる。

(e) アルミニウムブロンズ及び黄銅

アルミニウムブロンズ及び黄銅皮膜とも付着生物は極めて少ない。前者はアルミニウムと銅の合金、後者は銅と亜鉛の合金であり、銅と同様に長期に渡って生物の付着を防止するものと期待できる。

4. 結言

これからの街づくり、街並みづくりは、そこに生活する人々の側に立つことが求められ、美しく調和のとれた景観を構成するためには、地域・風土に応じた各種景観材料の開発が必要になる。また、コンクリート構造物への水中生物の付着防止法の開発は土木、漁業、農業、工業など極めて広い分野で緊急の課題になっている。

本研究は現在も継続中であるが、溶射技術の景観材料及び生物付着防止法への応用は、実用的にもかなり期待できる方法と考えられる。

5. 謝辞

本研究は平成5年度以降、文部省科学研究費補助金（試験研究(B)）を受けて行われている。ここに記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(1987)、PP.226-227.
- 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(1988)、PP.326-327.
- 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(1988)、PP.479-484.
- 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表面の改質、ジョイティック(1989年8月号)、PP.27-32.
- 5)二俣正美、富士明良、中西喜美雄、鴨下泰久:溶射法の新しい適用分野について、溶接学会第121回溶接法委員会資料(1989)、PP.1-14.
- 6)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(1990)、PP.264-265.
- 7)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とその応用、－水中生物の着床試験－、寒地技術シンポジウム'90講演論文集(1990)、PP.511-516.
- 8)二俣正美、富士明良、中西喜美雄、鮎田耕一、鴨下泰久:溶射成膜法によるコンクリートへの水中生物の付着防止、溶接学会第133回溶接法委員会資料(1991)、PP.1-7.
- 9)岡林健二 監修:海洋工学ハンドブックIII、丸善(1969)、PP.15-16.

住宅用光発電－新型蓄電池機能付 系統連係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）ソーラエネルギー事業部）

柿添重光（京セラ（株）ソーラエネルギー事業部）

Susumu YAMSASHIRO(Dept. of Electrical & Electronic Eng.,

Kitami Institute of Technology)

Kouichi NAKAMURA (Dept. of Electrical & Electronic Eng.,

Kitami Institute of Technology)

Hirofumi TEZUKA (Solar Energy Devision, Kyosera Corp)

Shigemitsu KAKIZOE(Solar Energy Devision, Kyosera Corp)

Keywords: solar energy, photovoltaics, grid connected PV, economic estimation

1. まえがき

近年、太陽エネルギーは、その非枯渇性やクリーンで無公害などの長所により地球環境問題の深刻化、電力需要の増大等の問題解決の一手段として注目されている。太陽エネルギー利用形態の中で、熱利用を主とするソーラーシステムはすでに経済性の面でも実用に耐え得るものとなっているが、電力利用に係わる光発電については、経済性の点で依然として難点があり、ソーラーシステムに比べその普及が遅れているのが現状である。

このような状況において、近年わが国でも、光発電に対して系統連系により余剰電力を系統に送り込む、いわゆる逆潮流が認められるようになり、売電による経済的メリットを取り入れた住宅用太陽光発電システムの導入促進が図られる機運にある。

本研究では、住宅用太陽光発電システム（以下、住宅用PVシステム）について、システムの経済性およびエネルギー効率の観点から、エネルギーの流れを量的・時間的に制御する運用方式とPVシステムの経済性評価のための指標を提案し、寒冷地を対象に、これに基づくPVシステムの経済性とエネルギー効率に関する、年間を通したシミュレーションを行い、その検討結果について報告する。

2. 住宅用PVシステム構成と運用方式

2-1 システム構成とエネルギーフロー

逆潮流による系統への売電と夜間時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（PVアレイ）、直流-交流変換装置（インバータ）、交流-直流変換装置（コンバータ）及び電力貯蔵装置としての蓄電池（バッテリー）によって構成される。

図1と図2には、これらを要素とする2種類のPVシステム構成と電力の流れ（エネルギーフロー）を示している。図1はPVアレイからの出力が住宅負荷に比べ大きい場合、その余剰分を系統へ売電するケースである。一方、インバータは、その出力が低い領域では、効率が著しく低下することから、システム全体のエネルギー効率を考えるとき、PV出力が小さい場合は、これをインバータに送るのではなく、一時的にバッテリーで蓄えることによりシステム全体のエネルギー効率の向上が期待される。この場合のシステム構成は図2のようになる。

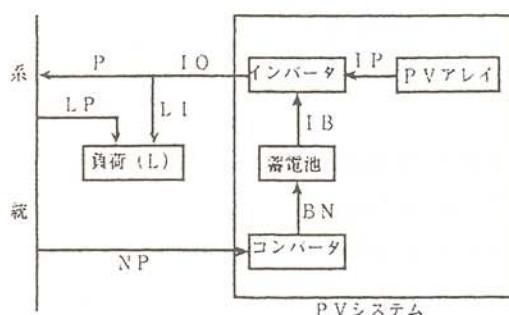


図1 PVシステムの構成
(PVからの充電なし)

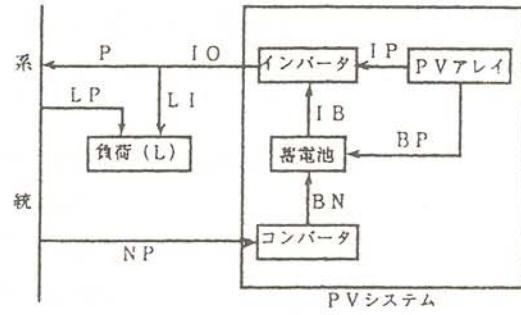


図2 PVシステムの構成
(PVからの充電あり)

2-2 PVシステムの運用方式

図1、2で示されるシステム構成に対して、以下に示す運用条件を満足する2通りの運用を行うものとする。

- (1) 住宅用負荷へはPVシステムと系統から電力を供給し、住宅負荷を上回るPVシステムの余剰電力は系統へ売電する（逆潮流）。
 - (2) バッテリーは、深夜時間帯に所定の放電深度範囲内で、一定の割合で充電し、深夜時間帯終了時には満充電状態になるように充電する。昼間は系統からの充電は行わない。ここで、運用条件(1)、(2)を満足する運用方式を「運用1」とする。
- 一方、図2のシステム構成に対しては、次の条件(3)を満たすものとする。
- (3) PVアレイからバッテリーへの充電は原則として行わないが、インバータ入力が小さく効率が所定の値（規定値）以下の場合は、PV出力はバッテリーの充電に充てるものとする。

運用条件(1)、(2)、(3)を満足する運用方式を「運用2」とする。

なお、これら2通りの運用方式の実施に当たっては、PVシステムの運転時間帯を昼間時(7:00-23:00)および夜間時(23:00-7:00)に分けるものとする。各運転時間帯に応じた運用の詳細は図3、4、5のフローチャートに要約することができる。

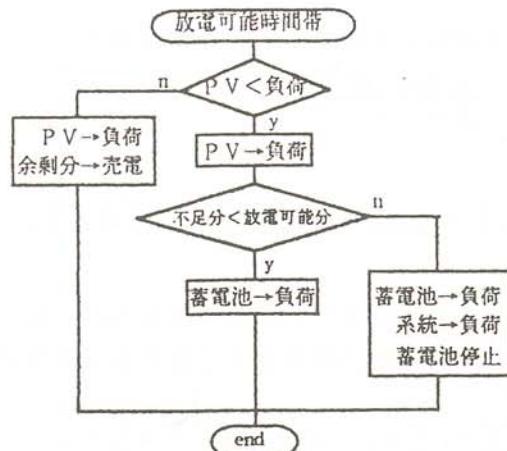


図3 昼間時(7:~23:)の運用（運用1）

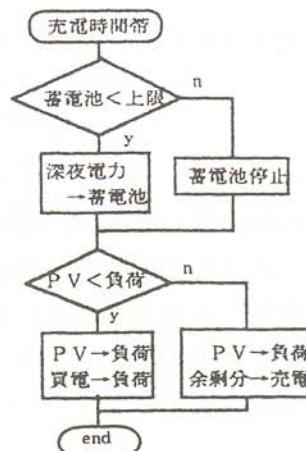


図4 夜間時(23:~7:)の運用（運用1、2）

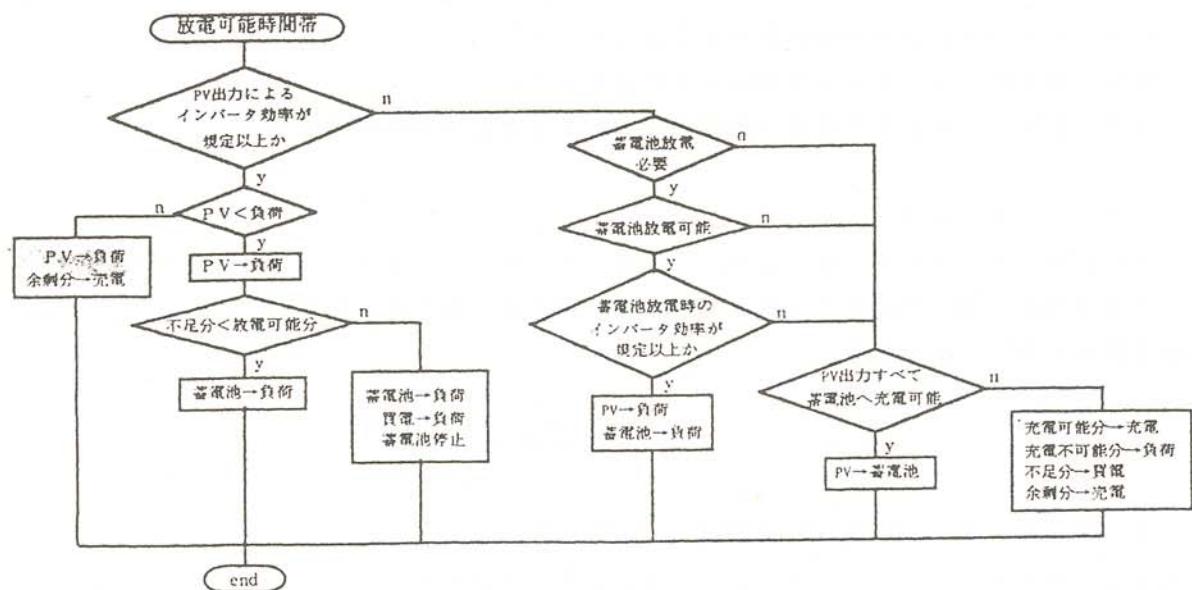


図5 昼間時の運用方式（PV出力を蓄電池へ充電可能な場合）

3. PVシステムの経済性とエネルギー効率の評価

3-1 システムの経済性評価

前章で述べた2通りの運用方式を用いたPVシステムの経済性を評価するにあたっては、システムの建設コスト、修繕・維持コストおよび運転コストにより、発電原価を算定し商用電力単価との比較検討を行うものとする。

まず、建設コストとしたは、(a)太陽電池アレイ、(b)架台、パワーコンデショナ(インバータ、コンバータ、系統連系装置)を含む周辺装置(BOS)、(c)バッテリー、の各コスト大別できる。いま、経済計算期間を24年、バッテリーの耐用年数を8年として、建設コストの現在価値Csを求める(文献(1)参照)。

次に、修繕・維持コストとしては、建設当初のコストを建設費の一定比率と仮定し、毎年eの割合でエスカレートするものとし、このコストの現在価値Crを求める(文献(1)参照)。

最後に、運転コストとしては、運用1および2によって得られる経済的メリットを現在価値に換算するものとする。

以上3つのコストを用いて、PVシステムの発電原価は次式で表すことが出来る。

$$\overline{EC_0} = \frac{[KWP](C_s + C_r)[CRF]}{[KWP] \cdot P_1} - \frac{(NP_1 + P) \cdot E1_0 - NP \cdot E2_0}{[KWP] \cdot P_1} \quad (1)$$

$$= A_0 - B_0$$

ここで、右辺の第1項A₀は建設費とBOSのコストに基づく発電原価、第2項のB₀はシステム運用による発電原価の低減分を表している。

さらに、PVシステム運転による、運用上のメリット(M4)に関心がある場合には、これを次式によって表すことができる。ただし、ここでは商用電力単価E3と逆潮流Pの系統への売電単価は等しいものと仮定している。

$$M1 = E1 \cdot \left(\sum_{i \in I} P_i + \sum_{j \in J} P_j \right) \quad M3 = E3 \cdot \left(\sum_{i \in I} LI_i + \sum_{j \in J} LI_j \right)$$

$$M2 = -E2 \sum_{j \in J} NP_j \quad M4 = M1 + M2 + M3 \quad (2)$$

上式で、

M1 : PVシステム出力の余剰分Pによるメリット。

M2 : 夜間時のバッテリー充電によるデメリット。

M3 : PVシステムから負荷への電力供給による電気料金負担軽減分。

3-2 システム効率

PVシステムへのエネルギー入力は、太陽エネルギーによるPV出力と系統からバッテリーへの入力の和(図1ではIP+BP)であり、出力はIDであるので、次式によりシステム効率を算定することができる。

$$S_{eff} = \frac{IO}{NP + (IP + BP)} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

4. モデルシステムを用いた試算例

4-1 モデルシステムとシミュレーションに用いた各種データ

運用期間を一年間とし、これを夏期、冬期、中間期に分け、各期の一日の平均PV出力および住宅負荷の一例を図6、7に、用いたPVシステムの各種データを表1に示す。

また、モデルシステムのPV定格は3.6kW、インバータ3kWとし、商用電力単価24円/kWh、夜間電力単価8円/kWh、売電単価24円/kWhとした。

4-2 シミュレーション結果

バッテリー容量をパラメータに採り、種々の値について検討した。なお「運用2」における、PV出力のインバータ通過許容効率の規定値としては、70%と90%の2つを対象とした。

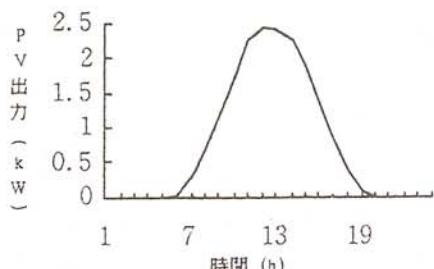


図6 夏期のPV出力

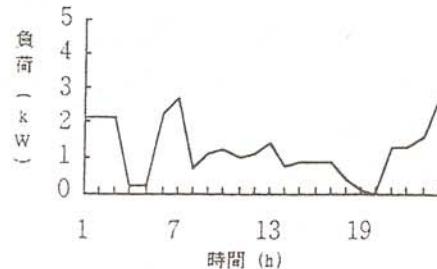


図7 夏期の住宅負荷

また、運用 1 と運用 2 (70%) では発電原価はほぼ等しく、運用 2 でインバータ通過効率の規定値を 90% とする場合は多少原価が高くなっている。これは、PV システムの建設費などに依存する原価 ((1) 式の A_0) は、いずれの場合もほぼ等しいのに対して、運用 2 (90%) では、運用による発電原価低減分 ((1) 式の B_0) が小さくなることによる。

一方、このシミュレーションで発電原価が最も低くなるのは、バッテリー容量が 3 kWh 近傍で、この場合の逆潮流を考慮した運用による発電原価低減効果は、建設コスト等による原価の約 28% になっている。このように逆潮流が可能になることで、PV システムの発電原価低減に役立つことが具体的に示されたが、発電原価そのものは商用電力単価に比べ約 3 倍程度となっており、太陽電池、BOS、バッテリー等の一層の価格低減が望まれる。

次に、年間の PV システムのエネルギー効率を図 10 に示す。予想されるように、インバータ通過許容最低効率が大きいほど、効率が向上している (運用 2 (90%)、運用 2 (70%)、運用 1 の順)。同図で、バッテリー容量の増加に伴い、効率が一定値に落ちているのは、夜間電力によるバッテリーへの充電量が容量の増加に関係なく一定値に留まることによる。

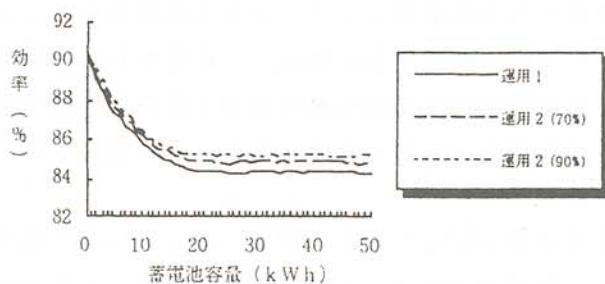


図 10 PV システムのエネルギー効率

5. まとめ

本研究では、夜間電力をバッテリーへの充電に利用し、系統への逆潮流を行う住宅用太陽光発電システムの運用方式を提案し、発電原価と運用上のメリットを指標とした PV システムの経済性の評価とエネルギー効率を計算機シミュレーションにより検討した。運用方式の相互比較を行うと共に、エネルギー効率の追求が必ずしも経済性の向上につながらないことも分かった。しかしながら、これらの比較については、日射特性や負荷特性などに依存する部分が大きいと考えられ、次年度以降、寒冷地における実証試験も含めた検討を重ねる予定である。

参考文献

- (1) 樋渡、小山、山城、手塚、柿添：住宅用太陽光発電システムの運方式と経済評価、電気学会電力技術研究会資料、P E - 93 - 140、pp.9-18, (1993)
- (2) 加藤、小川：個人住宅用太陽光発電システムの経済性、電気学会論文誌 D、VOL.112, NO. 3, (1992).

表1 シミュレーションで用いる各種データ

項目	値
PVモジュール価格	60×10^3 (円/m ²)
BOSの面積比例コスト	20×10^3 (円/m ²)
BOSの出力比例コスト	200 (円/kWh)
蓄電池設置コスト	10×10^3 (円/kWh)
修繕・維持费率	2 (%)
利子率(割引率)	6 (%/年)
インフレ率	2 (%/年)
エスカレーション率	2 (%/年)
残存価値率	0.1
バッテリー充放電効率	81 (%)
バッテリー充電効率	88 (%)
バッテリー放電効率	92 (%)
PVアレイの面積	10 (m ² /kWp)
蓄電池運用範囲	残存容量(40%~90%)

図8に運用上のメリットを示す。同図から、「運用1」と「運用2」でインバータ通過許容電力を定格の70%にする場合では、両者ともメリットはほぼ等しい。これは、70%に設定すると「運用2」でのPV出力の大部分がインバータを通過することによる。一方、90%に設定すると、PVから直接住宅負荷への供給量が減り電気料金負担軽減効果の減少が大きく、全体のメリットは低下する。また、図8から、バッテリー容量がある大きさになるとメリットは飽和することも分かる。

図9及び表2には発電原価の算定例を示すが、運用上のメリットの飽和に伴い、あるバッテリーの設置容量を越えると、発電原価はバッテリー容量に比例して増加することになる。

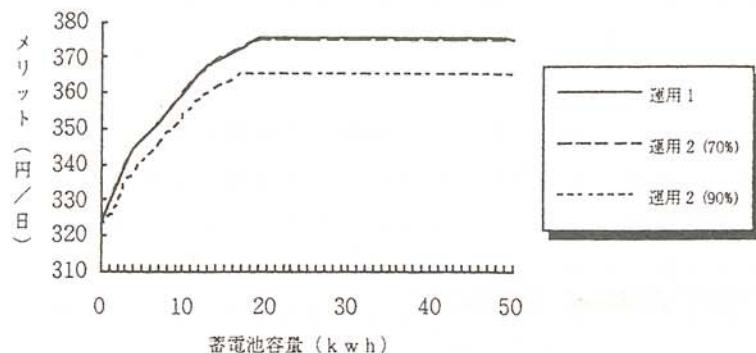


図8 運用上のメリット

表2 発電原価(運用1)

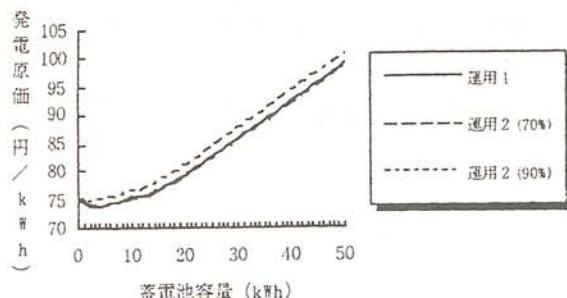


図9 発電原価

蓄電池容量 (kWh)	発電原価 (円)		
	$\overline{EC_0}$	A ₀	B ₀
0	75.2	99.6	24.4
10	75.54	104.5	28.9
20	79.62	110.3	31.3
30	86.09	117.4	31.3
40	92.56	123.9	31.3
50	99.08	130.3	31.3

北見工業大学 地域共同研究センター
研究成果報告書 第1号

発行日 平成6年7月20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）・土木開発工学科教授）

委 員 吉田公策（電気電子工学科助教授）

榮坂俊雄（情報工学科助教授）

三木康臣（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

北海道北見市公園町165番地

T E L 0157-24-1010 (代表)

F A X 0157-22-7198 (庶務課)

印 刷 (株) 北 海 印 刷
