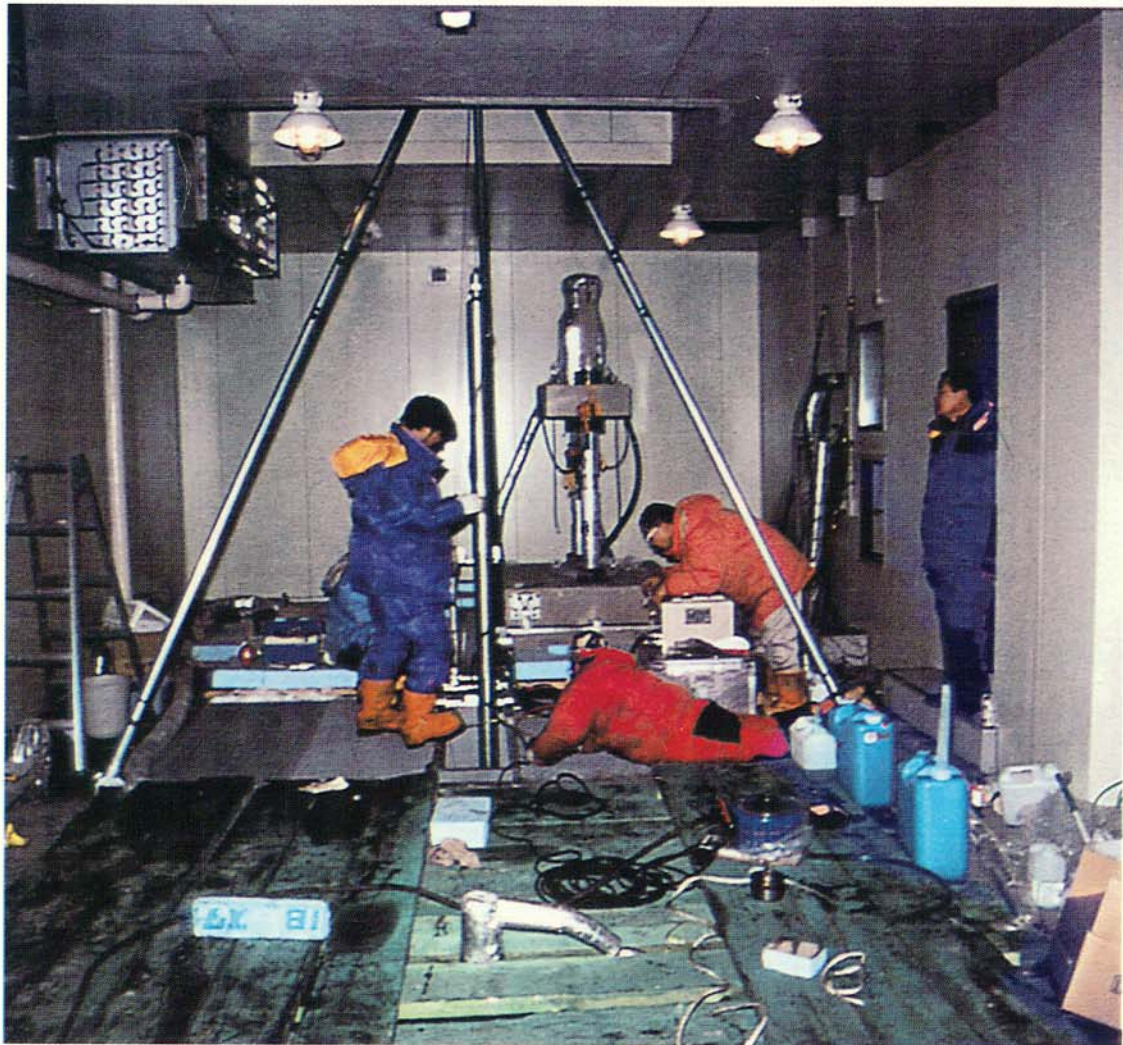


**北見工業大学  
地域共同研究センター  
研究成果報告書  
第5号**

MEMOIRS OF THE COOPERATIVE RESEARCH CENTER  
KITAMI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

No.5  
1998



北見工業大学地域共同研究センター

**表紙写真の説明：**低温室3における氷掘削装置の性能試験（本成果報告書43ページ参照）の実験風景。センターには3つの低温室を備えており，季節に関係なく寒冷地の条件（低温室1，2はマイナス50℃，低温室3はマイナス30℃まで）をつくり出すことができます。

## 目 次

### 客員教授論文

- 実車における青・白煙のデジタルカメラによる評価  
古林学(株)いすゞ中央研究所 取締役専務) . . . 1

### 共同研究

#### 区分 A

- 温度選択蓄熱タンクの組合せによるソーラーヒートポンプ  
システムの性能向上  
金山公夫・馬場弘・遠藤登・本田節弘 . . . 7
- 塩雪害がいの絶縁低下と閃絡電圧に関する研究  
ー汚損ラインポストがいの漏れ抵抗と氷の導電率ー  
菅原宣義・保莉和雄・土方正範・斉藤昭弘 . . . 13

#### 区分 B

- 寒冷地における土木構造物の冬期施工並びに  
維持管理に関する研究  
鮎田耕一・鈴木輝之・五十嵐龍・中地章 . . . 17
- コンクリート製品の高品質化に関する研究(第5報)  
鮎田耕一・藤村満・橋井康寛・古西力 . . . 23
- 氷海域海洋コンクリート構造物の耐久性に関する研究(第2報)  
鮎田耕一・桜井宏・木村伸之・桐生宏 . . . 27
- 極域の海水および氷河氷床の変動(第3報)  
榎本浩之・高橋修平・百武欣二・白崎和行・  
館山一孝・渡辺昭彦・太田和夫 . . . 31
- 凍結防止剤を用いた冬期土工法の開発  
鈴木輝之・澤田正剛・中地章・角谷文彦・時田和司 . . . 37
- 氷掘削装置開発に関する基礎的研究(第3報)  
ーロシア製サーマルドリルの試験結果ー  
高橋修平・庄子仁・榎本浩之・亀田貴雄・  
百武欣二・高橋昭好・宮原盛厚・渡辺興亜 . . . 43
- 低温始動時の始動白煙の定量的評価方法について  
常本秀幸・石谷博美・中島繁則 . . . 49
- ホローカソード型プラズマジェット的应用  
二俣正美・倉本宏 . . . 55
- 難着雪氷機能を有する皮膜の開発  
二俣正美・中西喜美雄・鈴木実 . . . 59
- 塩水噴霧した溶射皮膜の摩擦特性  
二俣正美・有田敏彦 . . . 63
- 住宅用光発電  
ー新型蓄電池機能付系統連系システムの研究開発(第3報)ー  
山城迪・仲村宏一・新山信一郎・手塚博文・松田高明・柿添重光 . . . 65

#### ※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。



# 実車における青・白煙のデジタルカメラによる評価

An Evaluation of Blue & White Smoke in a Truck by a Digital Camera

客員教授 古林 学 (株式会社 いすゞ中央研究所)

Manabu FURUBAYASHI (ISUZU Technical Center CO. LTD.)

Key words : diesel engine, cold smoke, CCD camera, truck

## 1 まえがき

ディーゼル機関の低温始動あるいは軽負荷時に発生する青・白煙は、ディーゼル車の商品価値を高める上で解決しなければならない項目の一つである。企業においても種々検討を進めてきたが、いまだその定量的評価方法が難しく官能評価に頼っている。

今回、北見工業大学との共同研究で、デジタル(CCD)カメラを利用する方法の提案があり、客員教授として在学している期間中に、会社より実車および官能評価の専門家を同行し、官能評価との相関を得るための補正方法などについての検討を行った。この結果、実車においても対応可能な状況にまで開発を進めることができた。

## 2 実験装置および方法

実験装置は、図1に示すように模擬青・白煙発生装置を使って基本的な撮影条件を調査したものと同様である。なお、実機および実車で評価は、表1に示すような仕様のものを使って行った。

デジタルカメラは、フルオートフォーカス方式であるため、同一条件での撮影時の場合でも、外光などの影響により露出やピントが変動し、一定の写真が撮れないことがある。そのため、本研究においてはフォーカスロック機能を利用し、北見工大の提案の仮想画面でシャッター

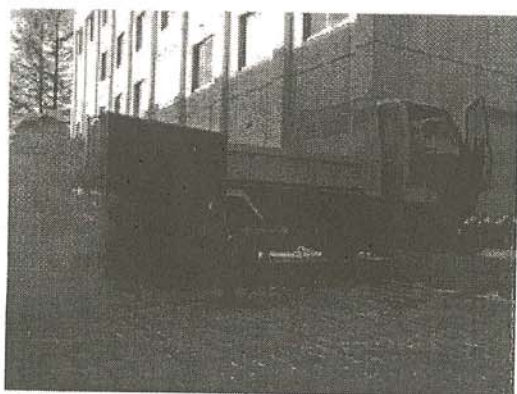


図1 実験風景

表1 供試車両およびエンジン

車両およびエンジン	気筒数	B×S (mm) 排気量
フォワード 6HH-1	6	115×132 8200 cc
ミュー 4JB-T	4	93×102 2771 cc
ヤンマー NF120E	1	92×96 638 cc



ビードなどを人間の目の残像程度に設定する方法で撮影を行っている。

### 3 実験結果および考察

#### 3.1 カメラ位置の決定

実車での実験を行う場合、撮影時の背景板をできるだけ小さくしたいが、実車での煙を撮影すると、図2のように煙の最高濃度点がエンジンスピードとともに後方に移動しているのがわかった。本方式では、煙の最高濃度付近で官能評価との相関を見ていることから、カメラ位置の設定が重要となる。図3は、エンジンスピードに対するテールパイプ位置と排気流速の関係を測定したものであるが、排気管出口より0.3mでもエンジンスピードが高い場合、40m/s以上になっている。しかし、この場合でも煙濃度の最高点は、テールパイプより1m付近で確認できることから、カメラは、テールパイプから0.3～1mの範囲が撮影可能な位置に配置した。

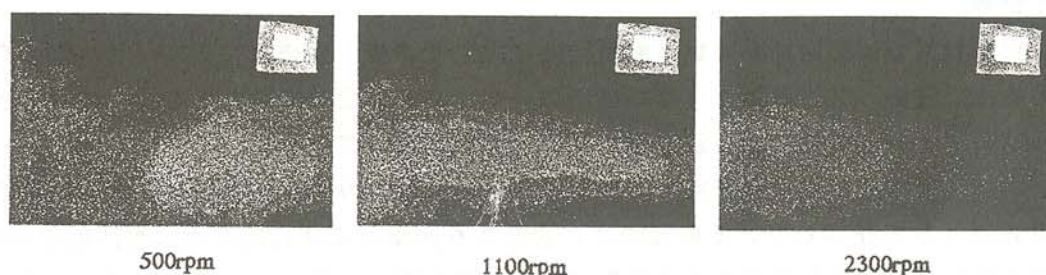


図2 エンジンスピードに対する煙最高濃度点の推移

#### 3.2 排気煙濃度の数値化

北見工業大学では、照度変化に対する補正を標準色の変化比率を利用する方法で進めていた。しかし、今回の実験結果より、煙濃度によって補正係数を変えることを提案した。

図4は、煙の撮影を日中から日没に至るまで行った場合の、照度に対する青・白煙の輝度レベル値の変化および背景、白色あるいは標準色などの輝度変化について示したものである。

図から明らかなように、照度の減少に伴い各輝度レベル値も減少し、日没時で全ての輝度レベル値が0に収束する。一方、照度が増加すると、ある照度以上で各比較色がほぼ一定の値を

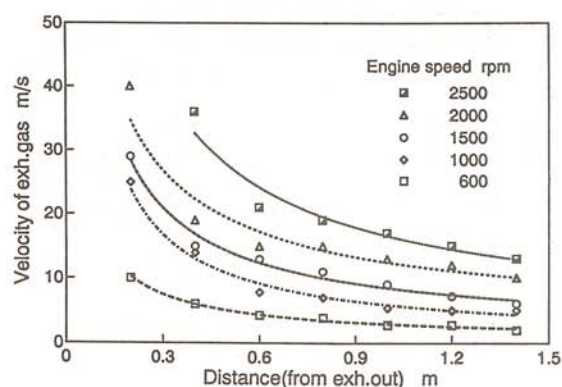


図3 排気出口距離と流速の関係

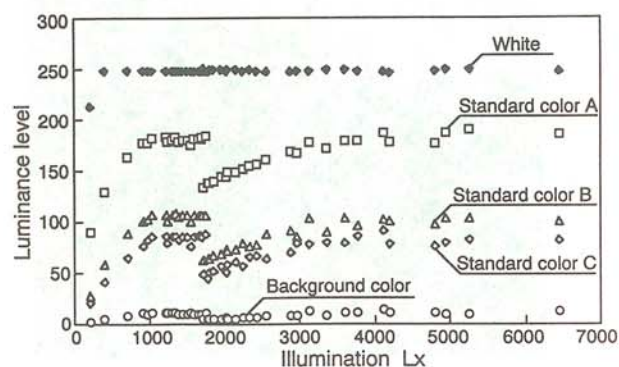


図4 照度に対する各色の輝度変化

示す。しかし、さらに照度が高くなると、焦点固定時のシャッタースピードが早くなり、全体が暗く写り、全ての色の輝度が再び低くなる。

このような外光条件の変化に対しても輝度レベル値は変化するが、煙の評価値は同じにならない。そこで、図4の結果を用いて、照度の減少に伴う標準色の輝度変化を利用した煙濃度の補正方法を検討した。図から明らかなように、白色の場合には、照度が200ルクス付近まで低下しても輝度の変化が少ないが、輝度が小さくなるほど照度の変化の影響を受けやすいことがわかる。そこで、照度に対して輝度が一定になった値を飽和輝度と定義して、各照度における輝度値の変化比率を整理してみた。図5はその結果であるが、輝度の小さいもののほど、照度が減少した場合の変化が大きいことが明らかとなった。さらに、この図から標準色の変化比率とその他の色の変化比率との関係を求めてみたところ、図6に示すように、各々の色の変化比率が次の計算式で近似できることがわかった。

$$\text{種々の色の変化比率} = (\text{標準色の変化比率})^a \quad (1)$$

なお、aについては図7に示すように、真の輝度に対して次の関係式が得られた。

$$a = -1.89E-5x (\text{補正測定輝度/標準色の変化比率})^2 - 3.47E-3x (\text{補正測定輝度/標準色の変化比率}) + 2.17 \quad (2)$$

なお、補正測定輝度とは背景色のゼロ点補正を行った値である。

補正の方法であるが、まず、撮影した画像より、標準色の飽和輝度値に対する画像輝度の変化比率を求める。次に測定した煙の輝度レベル値から背景補正を行った補正測定輝度を求める。この値を標準色の変化比率で割ると、真の輝度値の第1次近似値が求まる。この値を(2)式に代入しaの値を求め、このaを使って(1)式から、測定した煙の真の値との変化比率を予測する。したがって、煙の真の輝度値は、次式より求まる。

$$\text{真の煙輝度} = \text{測定輝度} / \text{煙の変化比率} \quad (3)$$

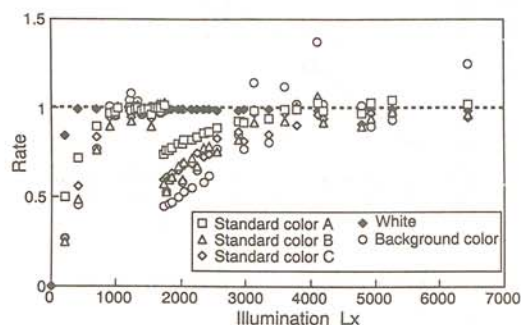


図5 上限飽和値に対する各色の変化比率

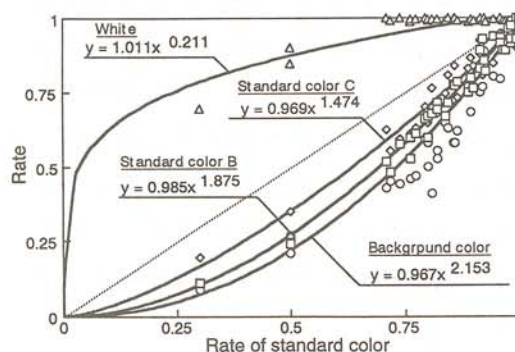


図6 標準色に対する各色の変化比率



先に示した補正測定輝度は、照度が高くなるとともに背景に使っているベルベットの輝度レベルが高くなるため、濃度の薄い煙が濃く表示される傾向にあった。これを避けるため、背景との差を補正照度として使うことを考えた。この場合、背景を光源と考え透過減衰光の理論であるランバート・ベアーの法則を利用した補正を行っている。すなわち、薄い煙では背景輝度による補正は大きい、濃い煙の場合に背景からの透過光としての影響が減少することから補正が少なくなる。

### 3.3 官能評価法と新方式の相関

企業において行っている官能評価法は個人差あるいは天候の影響などがあり真の値が明確でない。しかし、今回のような輝度値をベースとした評価方法は、天候などに対する補正方法などが適切であれば、常に絶対値が求められ有益な手段となる。ただ、これまでの官能評価の経験値があり、両者の関係を求めておく必要がある。そこで、様々な濃度の青・白煙を目視法と同時に写真撮影法で評価し、両評価値の関係を調べた。

図8は、企業側の技術者3人と、北見工業大学のパネラー2人の計5人により、表1に示した2台の車両と1台の単筒機関を用いて官能評価と画像処理法との比較を行った結果である。この図を見ると、単気筒機関の場合に画像処理方法での結果が低めの値を示しているが、その他はかなり良い相関を示している。なお、単気筒での結果が低めになったのは、カメラのシャッタースピードと目の残像時間の違いではないかと考えている。すなわち、カメラの方がシャッタースピードが速いため、間欠流をとらえ、多気筒機関のような重複像とならないため、撮影した煙が薄めに写っている可能性がある。この点に関しては今後検討を要するが、多気筒機関については、本方式とパネラー間に差があった場合でも、5人のパネラーのパラッキ内に入っており、良い相関が得られている。

図9は、本方式を用いて、外気温が変化した場合の青・白煙発生状況をトラックで測定した結果である。-1℃の場合、両者の差の大きなところがあるが、その他はきわめて良い相関が得られている。なお、-1℃の場合の差は、外光が明るすぎて測定中に絞りが変化した付近に対応しており、補正の難しい範囲に入っていたためと考えているが、この方式は過渡現象の評価にも対応可能であることがわかった。

## 4 まとめ

北見工業大学から提案のあった、デジタルカメラを利用した青・白煙の評価方法を実車評価に用いた結果、次のようなことが明らかとな

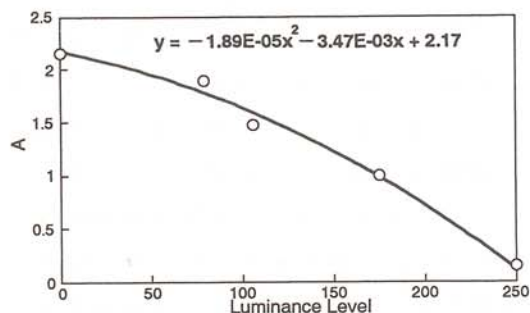


図7 飽和輝度レベル値に対する係数Aの推移

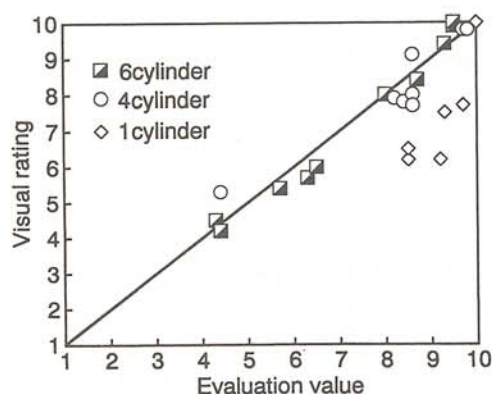


図8 目視法と本方式との相関



った。

1) エンジンの最大スピード付近でも煙濃度の最高点はテールパイプから1 m付近になっており、カメラの撮影範囲をこの範囲までカバーするように設置する必要がある。

2) 外光照度の変化に対する煙の濃度補正は、煙の濃度が薄いほど、背景輝度および照度変化による補正が重要となる。今回は、実験結果をもとに新たな補正式を提案している。

3) 5人のパネラーで、実車・実機を用いた官能評価値とデジタルカメラによる評価値との比較を行った結果、単気筒機関の場合に問題はあるものの、両者の間に強い相関が認められ、新たな青・白煙の評価方法として利用可能なことがわかった。

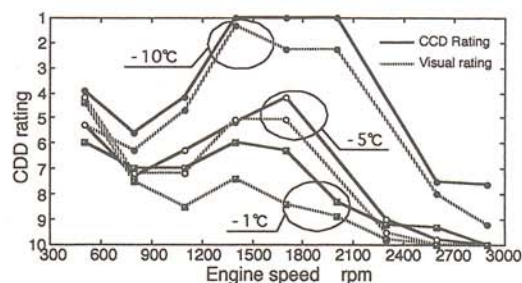


図9 外気温に対する濃度評価値の一例

# 温度選択蓄熱タンクの組み合わせによる ソーラヒートポンプシステムの性能向上

## Performance Improvement due to Combinations of Solar-Heat Pump System with Temperature-Selective Storage Tank

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)  
本田 節弘 (京セラ (株))

Kimio KANAYAMA (Kitami Institute Technology)  
Hiromu BABA (Kitami Institute Technology)  
Noboru ENDOH (Kitami Institute Technology)  
Setuhiro HONDA (Kyocera Corporation)

Key words: temperature selective storage tank, solar collector, heat pump

### 1. はじめに

水を熱媒とする蓄熱方式には成層型と混合型があり、成層型は混合型に比べ負荷の要求に応じた温度で供給することができ、有効エネルギーの観点から合理的な蓄熱法である。

著者等は、ソーラコレクタ及びヒートポンプを組み合わせた開放型の温度選択蓄熱槽を設計及び試作し、これらについて基礎実験を行ない、その特性を評価してきた<sup>(1)(2)</sup>。

本研究では、実用面を重視して密閉型の温度選択蓄熱槽を開放型と同様の原理に基づいて設計及び試作し、これについて基礎実験を行ない、その基本的特性を明らかにすると共に、それを応用したシステムの検討及び設計を行った。

### 2. 実験システム及び実験方法

図1は、実験システムを示す。実験システムは密閉型温度選択蓄熱槽、受水槽、送水ポンプ、流量計及び温度測定機器等から構成されている。

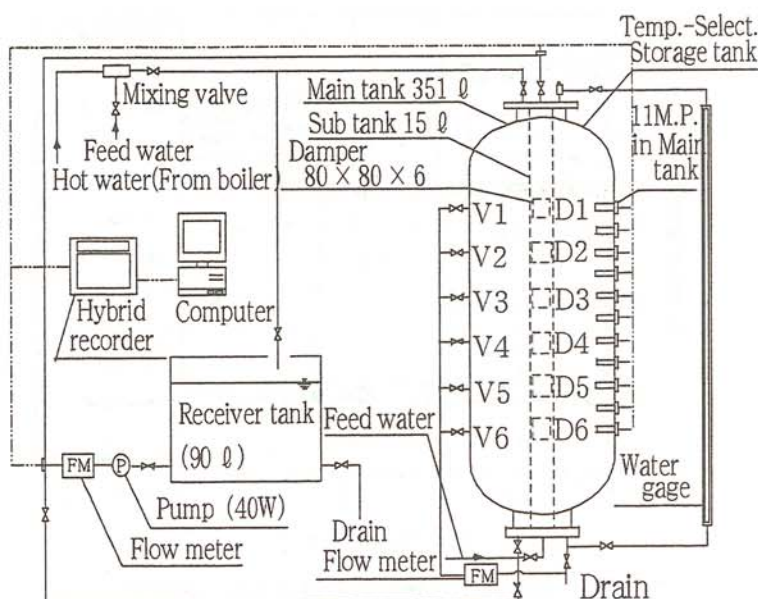


図1 実験システム

図2は、密閉型の温度選択蓄熱槽の詳細を示す。蓄熱槽本体は、本槽と副槽かなり内容積がそれぞれ351ℓ、15ℓであり密閉型のステンレス製である。その周囲は、厚さ50mmのグラスウールで断熱されている。

副槽には、60mm×60mmの正方形の開口部が縦に6ヶ設けてあり、それぞれに80mm×80mmの正方形で厚さ2mmの亚克力製の自由に開閉できるダンパが取り付けられている。

蓄熱流体には水を使用し、それを副槽の上部又は下部から供給することにより、温水の密度差圧によりダンパが開き供給水は本槽に流入する。

温度測定点は、本槽内に11点、副槽の上部と下部、排水の3点で計14点をC-C熱電対で検出し、ハイブリット記録計を介してパソコンに1分間隔で取り込まれる。

実験方法は、本槽内に図2のような20℃（低温層L）、40℃（中温層M）及び60℃（高温層H）の3層の温度成層を先に作り、所定の温度の温水を受水槽内に準備する。次に送水ポンプを運転し受水槽から一定の流量で供給水を副槽の上部又は下部から流入させ、それと同じ量の余剰水を排水バルブで排水する。

実験条件は、供給水温度が20℃、40℃及び60℃、流入位置が副槽の上部と下部、排水位置がバルブV1～V6、流量が3ℓ/min、5ℓ/min及び7ℓ/minである。

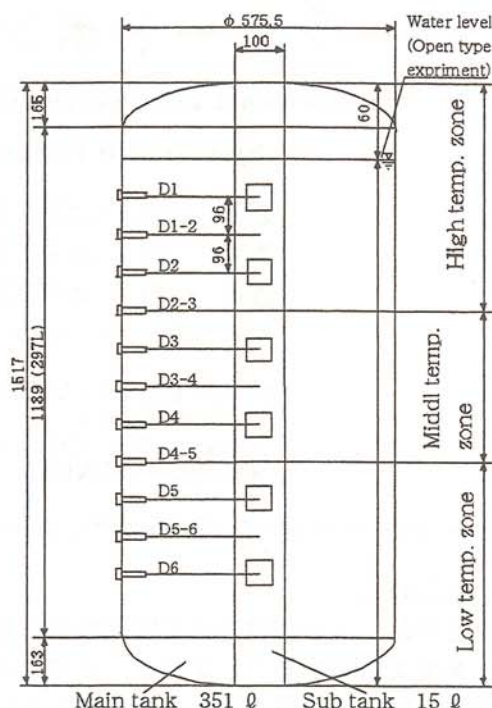


図2 密閉型温度選択蓄熱槽

### 3. 実験結果

図3は、3層の温度勾配層で満水状態にある本槽に対して、副槽の上部から流量3ℓ/minで供給水を高低中（H、M、L）の順で流入させ、ダンパD2、D4、D6の順序で排水した時の各層の温度の時間変化を示す。時間は全蓄熱時間を1としてその経験時間を無次元化している。

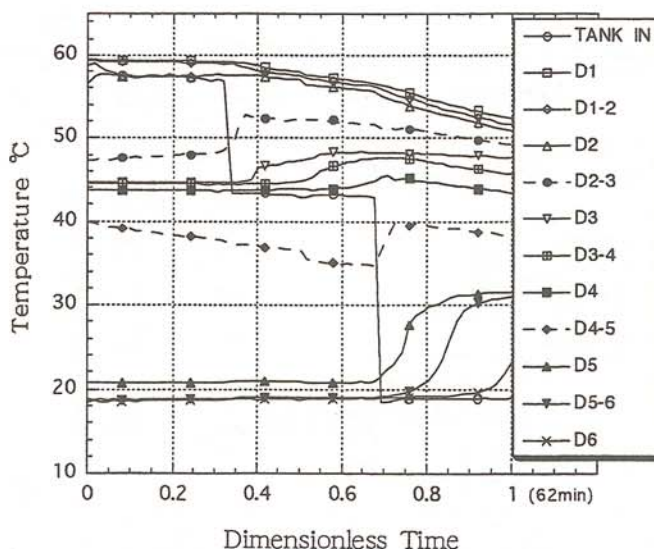


図3 密閉型で上部流入の際の各層の温度変化  
(流入順序高中低、排水順序D246、流量3ℓ/min)



実験開始後、約 58℃ の供給水が副槽に流入しダンパ D 1 と D 2 が開き、その温度より若干高い D 1 のレベルの温度が多少下降し、D 2 のレベルの温度は供給水と同じ温度なので一定となっており温度選択機能が發揮されている。この時、それより温度の低い他のダンパのレベルの温度には変化がなく安定した成層が保たれている。

中温水の流入時は、副槽の上部の高温水の影響を受けダンパ D 1 と D 2 が多少開きそのレベルで約 2～3℃ 前後の温度降下があり、逆にダンパ D3 のレベルの温度は約 4℃ 程度上昇している。これは、排水を D 4 のレベルから行っているので供給水と混合した高温層が下方へ移動した為である。この時、低温層のレベルは約 20℃ 前後に保たれ温度変化は見られない。低温水の流入時は、中温層と同様にダンパ D1 と D2 から供給水が本槽に流入し高温層と混合されたものがダンパ D6 のレベルから排水されるので、ダンパ D 5 のレベルの温度が急上昇している。

この実験においては、高温層と中温層は温度成層がほぼ安定しているが低温層のダンパの位置が供給位置から最も離れているので供給水がそのダンパに到達する前に他の層へ流入し、低温層は顕著な温度上昇となっている。この結果、各層の測定点の平均で約 52℃ (約 6℃ の昇温) の高温層、約 45℃ (約 1℃ の昇温) の中温層及び約 28℃ (約 8℃ の昇温) の低温層が形成されている。

図 4 は、図 3 の実験と同様に蓄熱槽内の水位を上部から 60mm 下げ、大気開放状態で実験を行った時の各層温度の時間変化を示す。この実験では、各層の温度が図 3 と同様な変化をしており、このことから開放型と密閉型の温度成層機能はほぼ同じであることがわかる。

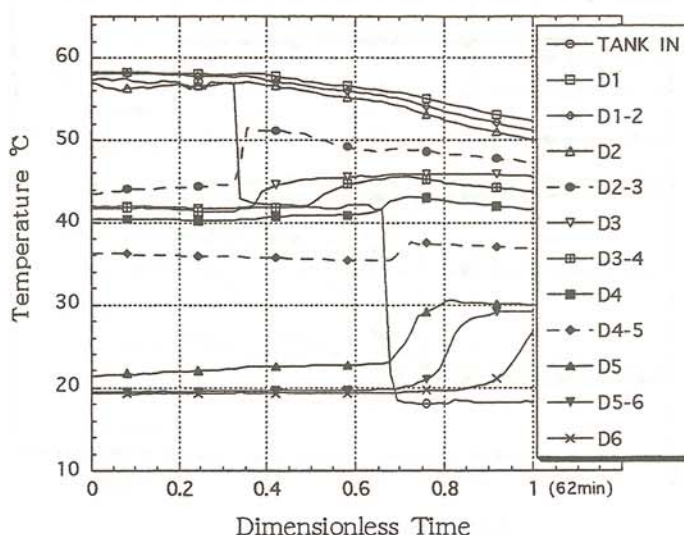


図4 開放型で上部流入の際の各層の温度変化  
(流入順序高中低、排水順序D 2 4 6、流量3l/min)

図 5 は、3層の温度勾配層で満水状態の本槽に副槽の上部から流量 3 l/min の供給水を低中高の順で流入させ、ダンパ D5、D 3、D1 の順序で排水した時の各層の温度の時間変化を示す。実験開始後、低温層のダンパ D5 と D 6 は、約 16℃ の供給水に反応し開いているのに対して他のダンパは閉じたままで温度成層が保たれている。

中温水と高温水の流入時においては、副槽内の残留温水の影響により、温度成層が徐々に崩れている。開きダンパの位置と各層の温度変化は副槽の上部から流入した時と相対的にほぼ同様である。これから冷水の蓄熱時においては副層の下部からの方が上部から供給するより安定した温度成層が形成されることがわかる。

図 6 は、副槽の下部からの流入で 20℃、40℃ の順序でダンパ D 6 のレベルから排水した時の各層温度の時間変化を示す。

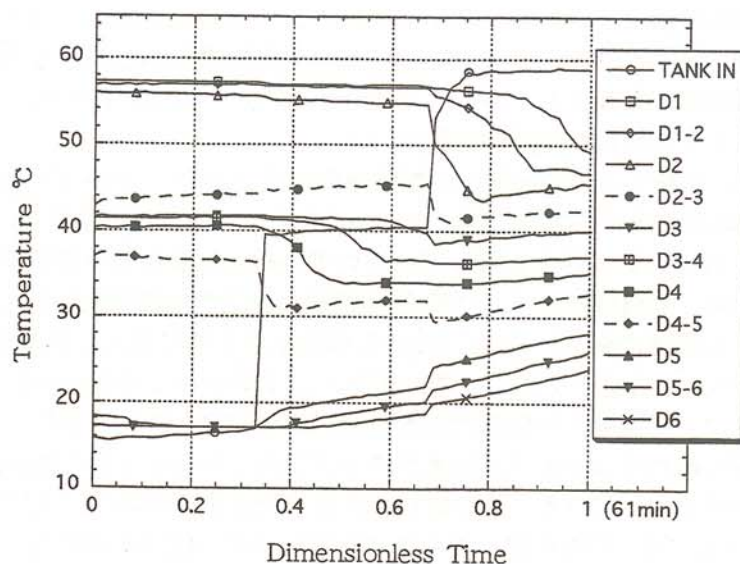


図5 密閉型で下部流入の際の各層の温度変化  
(流入順序低中高、排水順序D531、流量3l/min)

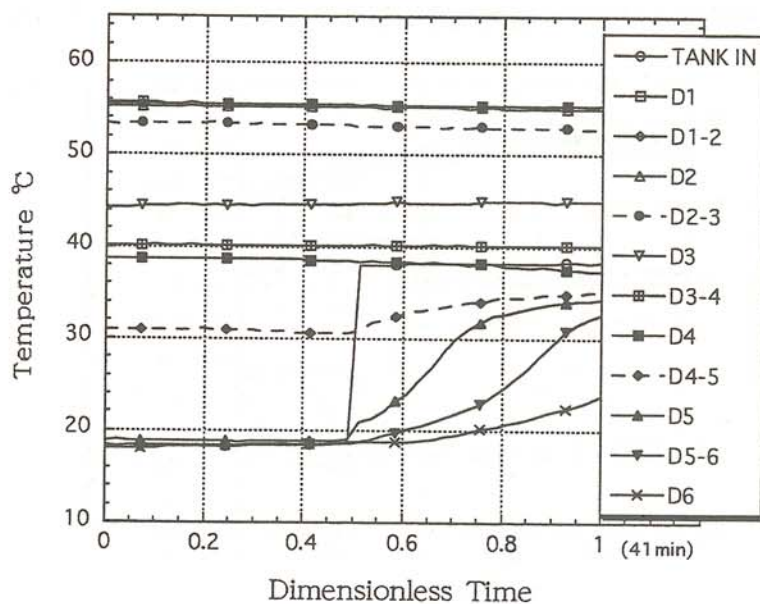


図6 密閉型で下部流入の際の各層の温度変化  
(流入順序低中、排水D6、流量3l/min)

低温水の流入時は、図5と同様に温度成層が保たれている。中温水の流入時は、排水位置をダンパD6のレベルに固定しているので、中温層の下方方向への移動により低温層が約18℃から約30℃前後まで上昇し成層が徐々に崩れている。これより供給水の温度と同じ温度成層のレベルから排水を行うことにより、より安定した成層が形成されることがわかる。

図7は、本槽の温度成層が60℃、40℃の2槽の場合に、副槽の上部から供給温度60℃、40℃の順序で流入させ、ダンパD1のレベルから排水し、流量が3ℓ/min、5ℓ/min及び7ℓ/minで実験を行った結果である。ここで低温層のダンパD5とD6は温度変化がないので図示していない。高温水の流入時は、ダンパD1が開き温水が本槽に流入し、ダンパD1のレベルから排水しているが、他の層には変化は見られない。42℃前後の中温水の流入時は、ダンパD3が開き、中温層が上方方向に移動し高温層の温水がダンパD1のレベルから排水されている。



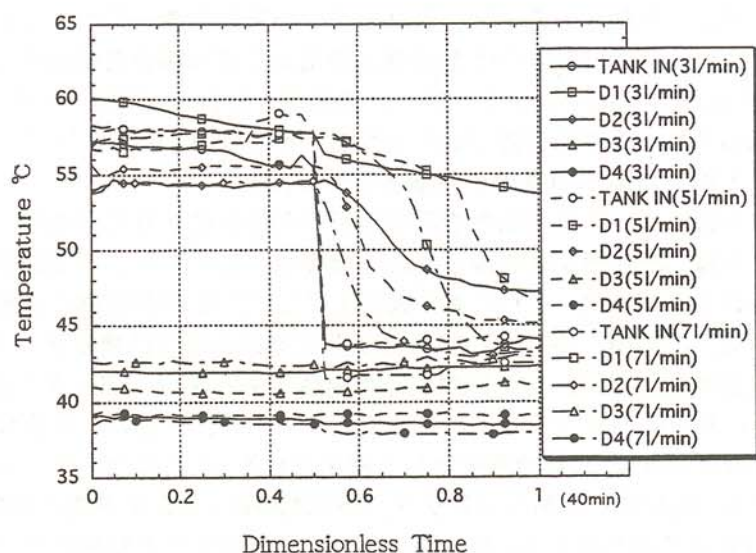


図7 密閉型で上部流入の際の各層の温度変化  
(流入順序高中、排水D1、流量3l/min,5l/min,7l/min)

ダンパD1とD2のレベルの温度が流量3 l/minにおいて実験終了時にそれらの平均で約51℃となるが、流量7 l/minでは、実験終了前にそれらが中温層の温度に達している。このことから中温層の流入時は流量が増加するにつれ高温層が中温層に入れ替わる速度が増大することがわかる。

#### 4. 温度選択蓄熱タンクの応用例

図8は、夏期における密閉型温度選択蓄熱タンク、ソーラコレクタ及びヒートポンプからなるハイブリッドシステムを構成した例である。システムにはその他に補助タンク及び送水ポンプ等が含まれる。蓄熱タンクは、基礎実験で使用したのと同じ構造であり、本層内は60℃の高温給湯層(127 l)、40℃の中温給湯層(96 l)及び15℃の冷熱層(127 l)の3層を形成する。ソーラコレクタとヒートポンプは、蓄熱タンクにそれぞれ並列に接続されており、給湯加熱と冷房冷却を同時に行うことができる。

システムの作動モードは、(1)給湯層が基準温度( $T_1 = 60^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 40^\circ\text{C}$ )以下に下がり給湯加熱する場合、(2)冷熱層が基準温度 $T_3 = 15^\circ\text{C}$ 以上に上がり冷房冷却する場合、(3)給湯層が基準温度にありコレクタによる集熱を行う場合の3モードがある。

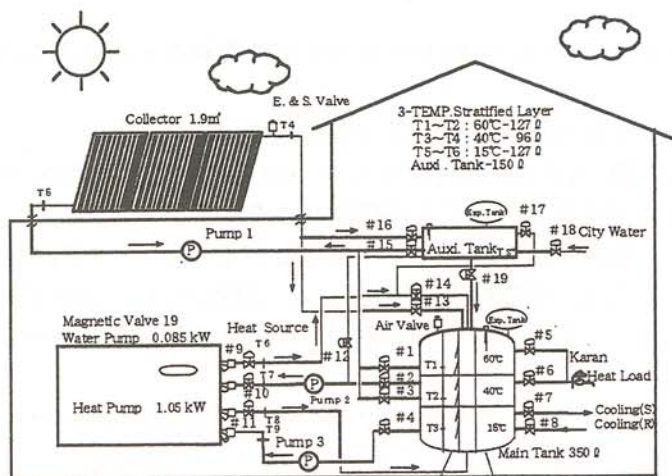


図8 密閉型温度選択蓄熱槽、ソーラコレクタおよびヒートポンプのハイブリッドシステム(夏期)



(1)の給湯モードは、加熱源の違いにより2つのケースがある。①コレクタ給湯モードは、日中日射が十分ありコレクタ出口温度T4が給湯層の温度より高い場合各電磁弁と送水ポンプ1が稼動し、コレクタから副槽の上部に温水が供給され蓄熱が行われる。②ヒートポンプ給湯モードは、曇天時や夜間においてコレクタで蓄熱できない場合、各電磁弁、送水ポンプ1、2及びヒートポンプが稼動し副槽の上部から温水が供給され蓄熱が行われる。

(2)の冷房モードは、コレクタで集熱を同時に行うか否かにより2つのケースがある。①ヒートポンプ冷房モードは、冷熱層が基準温度を超えた場合、ヒートポンプで副槽の下部に冷水が供給され蓄冷が行われると同時に、それにより汲み上げられた温水が副槽の上部から供給され給湯層に蓄熱が行われる。この時、給湯層が基準温度以上である場合は補助タンクに蓄熱が行われる。

(3)のコレクタ集熱モードは、給湯層内が基準温度である場合、補助タンクに蓄熱が行われる。

図9は、冬期におけるハイブリッドシステムの例である。冬期は、冷房負荷がないので夏期の冷熱層は基準温度が30℃の低温給湯層として利用される。これに伴いヒートポンプの低熱源は地下水が利用される。曇天時や夜間のコレクタの不稼動時は、コレクタ内の熱媒が凍結するので、その時電磁弁#17により排水される。基本的システムの作動モードは冷房モード以外は夏期のそれと同じである。

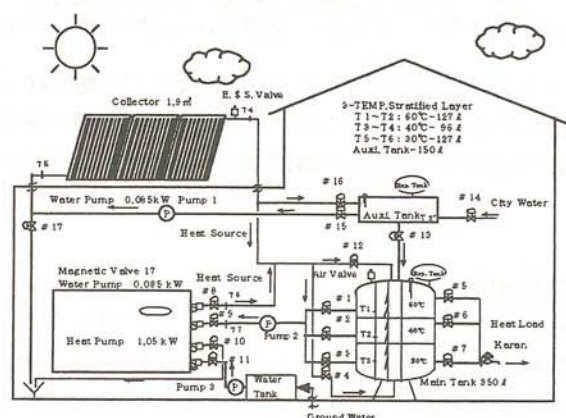


図9 密閉型温度選択蓄熱槽、ソーラコレクタ及びヒートポンプのハイブリッドシステム(冬期)

この応用例は基本的なシステムであり、実用化に当たってはこれらにさらに具体的な検討を加えることが必要で、これにより温熱と冷熱の同時蓄熱を行って有効なエネルギー利用が期待されるものと考えられる。

## 5. 結論

密閉型温度選択蓄熱槽について種々の条件で蓄熱実験とその応用システムの検討を行ない以下の結論を得た。

- ① 密閉型においても開放型と同様な温度成層機能が確認された。
- ② 副槽への流入の際、上部または下部から行う流入位置による蓄熱特性の相違はほとんどなく、用途に応じた利用が可能であることが確認された。
- ③ 流量を増加した場合、温度成層が早く形成されるのみで、同様な温度成層機能が得られた。
- ④ 蓄熱槽からの抽出は、需要側の温度に合った位置から行う必要がある。
- ⑤ 応用システム例はさらに検討を加えることによって温熱と冷熱の有効な利用が期待される。

文献 (1) 金山公夫, 遠藤登, 馬場弘, 岡本淳: 温度選択蓄熱槽のソーラシステムへの適用, 太陽／風力エネルギー講演論文集, pp.129～131, (1996)

(2) 遠藤登, 金山公夫, 馬場弘, 岡本淳: 温度選択蓄熱槽による自然エネルギーの蓄熱実験, 第34回日本伝熱シンポジウム講演論文集 Vol. III, pp.719～720, (1997)

# 塩雪害がいしの絶縁低下と閃絡電圧に関する研究 —汚損ラインポストがいしの漏れ抵抗と氷の導電率—

Insulation Deterioration and Voltage Distribution  
along an Insulator String Covered with Salt-Ice and-Snow  
—Leakage Resistance of Contaminated Line-Post Insulator  
Covered with Ice due to Conductivity of Ice—

菅原宣義 (北見工業大学工学部電気電子工学科)

保莉和雄 (北見工業大学工学部電気電子工学科)

土方正範 (北見工業大学工学部電気電子工学科)

斉藤昭弘 (北海道電力株式会社旭川支店)

Noriyoshi Sugawara (Kitami Institute of Technology)

Kazuo Hokari (Kitami Institute of Technology)

Masanori Hijikata (Kitami Institute of Technology)

Akihiro Saito (The Hokkaido Electric Power Co., Inc.)

Key words:leakage resistance, ice accreted insulators, sea salt contamination, ice,

## 1. まえがき

海岸沿いの送電線は海からの風により海塩による汚損をうける。強風による海水の飛沫に由来する海塩粒子による汚損は、特に、冬季間の日本海沿岸で多く発生する。この季節には海塩を含んだ雪の付着と冠雪、さらにこれらの融雪水によるつららの形成と着氷によりがいしの絶縁は低下し、送電に支障を来す可能性がある。著者らは平成3年から苫前送電線にある3カ所の変電所構内に直流漏れ抵抗監視装置とパイロットがいしの拭き洗いデータとの相関を気象条件を考慮して調査してきている。これらの調査結果の一部は既に、がいしの直流漏れ抵抗は塩分汚損の状態や湿度、風向、降雪や降雨等の気象条件に大きく影響されるとして報告してきた(1~5)。

この様なフィールドでの観測の他に、実験室内での人工着氷試験で、高導電率の着氷進展に伴う直流漏れ抵抗の変化とフラッシュオーバーの可能性を調べてきた<sup>(6)</sup>。これらは海岸沿の送電線用がいし連に海水の飛沫が掛かって着氷が進展して行く過酷な自然条件を想定している。然し、事故が発生した時の自然条件は我々の創造する過酷な実験条件よりも更に過酷な条件下であったとも考えられる。

従って、今回は、昨年の実験条件よりも更に過酷な条件として塩分汚損したラインポストがいしに高導電率着氷の進展に伴う直流漏れ抵抗を正常ながいしと比べて検討した。

着氷がいし連のフラッシュオーバー時の分担電圧に関する結果は別の機会に報告する。



## 2. 実験方法

汚損させたラインポストがいしの着氷の増加に伴う漏れ抵抗の変化を測定する装置の概略を図1に示す。着氷状態はビデオカメラで撮影して着氷状態の変化に伴う漏れ抵抗変化と温度をこのビデオ画像にスーパインポーズしてビデオレコーダに記録した。漏れ抵抗測定用の直流電源電圧はフィールド実験で使用している電圧と同じ+100 Vを使用した。

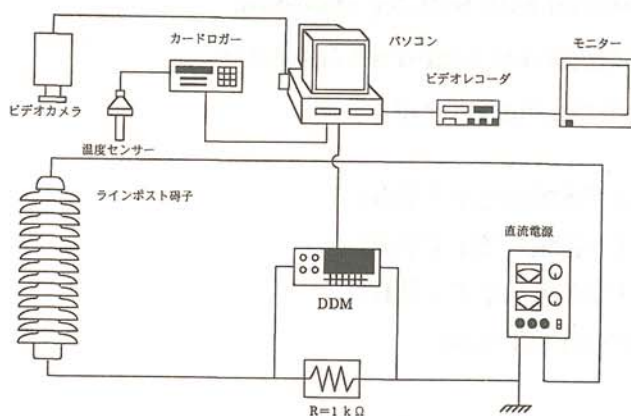


図1 実験装置接続概略

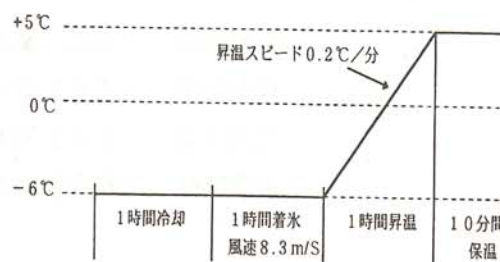


図2 着氷条件の時間変化

着氷条件は図2に示す様に時間と共に変化させた。これらの条件は冷凍実験装置の制御器で自動的にコントロールされている。この着氷条件ではつららを伴う雨水に近い着氷となった。

がいしの汚損はとのこと塩で行い、その汚損レベルは、塩分付着密度で  $0.12\text{mg}/\text{cm}^2$ 、不溶解性成分の付着密度で  $0.15\text{mg}/\text{cm}^2$  である。

## 3. 実験結果と考察

実験結果を図3に示す。着氷用の水の導電率が  $20\text{ mS}/\text{cm}$ 、 $50\text{ mS}/\text{cm}$ 、海水 ( $50\text{ mS}/\text{cm}$ ) の場合に関して実験を行った。また、がいしの状態は、清浄な場合と汚損した場合である。

漏れ抵抗が極めて低くなる着氷状態は、ラインポストがいしの笠間がつららで橋絡されたときである。つららや着氷が付着した氷の重さに耐えながら付着するためには、塩分濃度が大きすぎてもだめである。塩分濃度が大きいと氷の中に含まれる塩分が多くなって氷がもろくなり、付着量は多くなり、またつららも長く成長しない。昨年度の実験結果をも参考にすると、水の導電率が  $20\text{ mS}/\text{cm}$  の場合が最もつらが成長して橋絡する数が多くなり、その結果、漏れ抵抗が一番小さくなった。この結果を一括して、清浄の場合を図4に、また、汚損の場合を図5にそれぞれ示す。また、海水と、海水と同じ導電率になるように塩で調整された塩水での実験結果は、海水に含まれる有機物等の影響で塩水よりも絶縁を低下させる可能性を示している。

また、着氷による漏れ抵抗が一番低下する水の導電率は  $20\text{ mS}/\text{cm}$  で在ることが判る。これは直接海水が吹き付けて着氷するよりも漏れ抵抗が低くなること示している。然し、自然界では、着氷以前の汚損がかなり大きいことが想像されるので、今後は、着氷以前の汚損を種々変化させた条件での調



査が必要である。

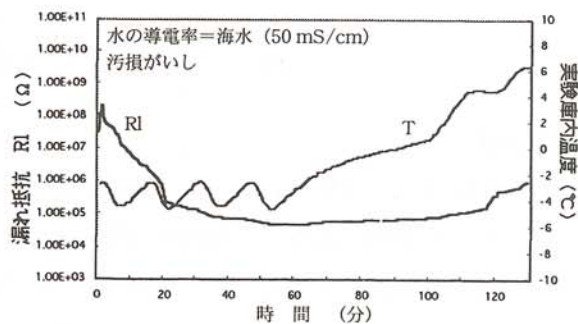
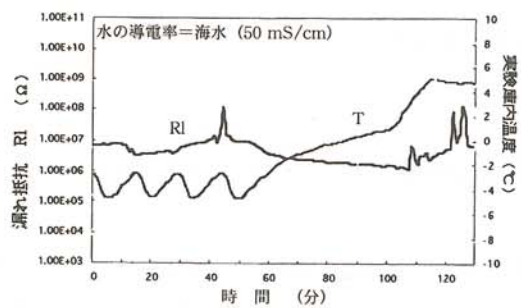
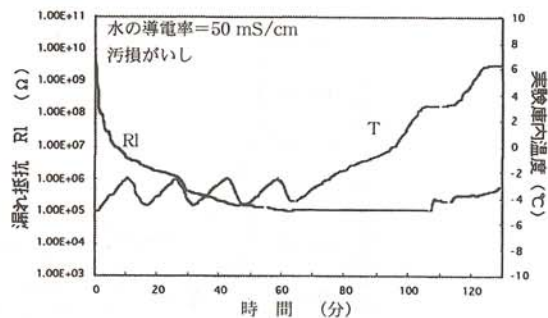
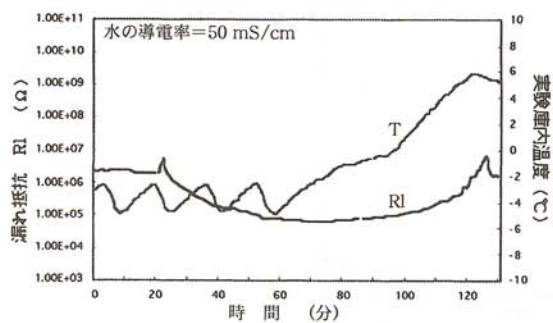
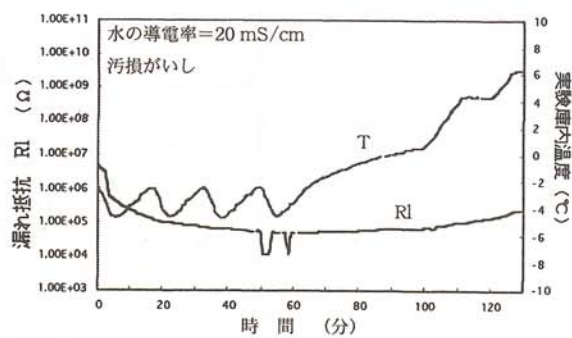
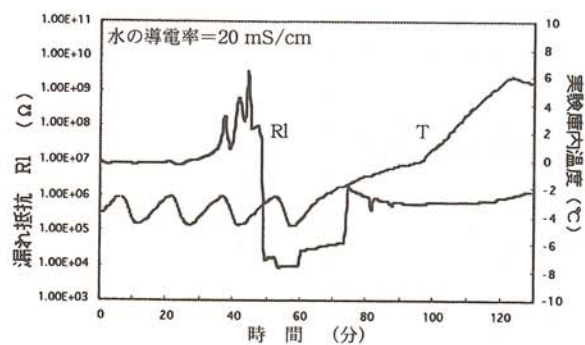


図3 着氷と解氷過程における漏れ抵抗変化

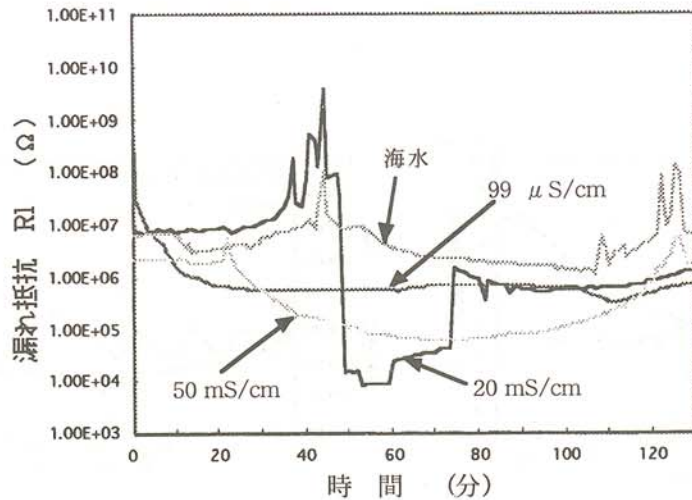


図4 清浄がいしの各種導電率着氷の漏れ抵抗変化

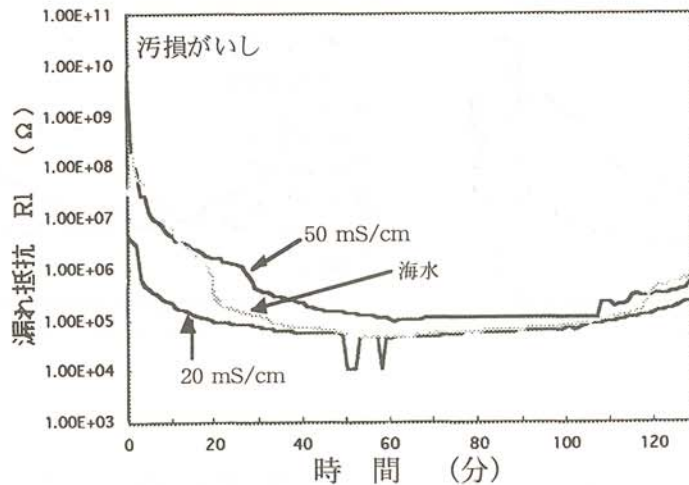


図5 汚損がいしの各種導電率着氷の漏れ抵抗変化

#### 参考文献

- (1) 高山、渡辺、菅原、保苅、土方、佐藤：気象変化と碍子連の絶縁特性（Ⅰ）－湿度・海風・降雨の影響－、平成3年度電気関係学会北海道支部連合大会、No.76
- (2) 高山、渡辺、菅原、保苅、土方：気象変化と碍子連の絶縁特性（Ⅱ）、平成4年電気学会全国大会、No.1186
- (3) 高山、渡辺、菅原、保苅、土方：気象変化と碍子連の絶縁特性（Ⅲ）－降雪の影響－：平成4年電気関係学会北海道支部連合大会、No.246
- (4) 保苅、菅原、高山、桑島：気象変化と碍子連の絶縁特性（Ⅳ）－湿度変化と漏洩抵抗－、平成5年電気学会全国大会、No.1324
- (5) 菅原、富所、保苅：がいしの漏洩抵抗特性、1994年電気学会高電圧研究会資料、HV-94-4
- (6) 菅原、保苅、斉藤、山内：66kV送電線用ラインポストがいしの含塩着氷による絶縁低下と閃絡現象、平成9年電気学会電力・エネルギー部門大会、No.439



# 寒冷地における土木構造物の冬期施工 並びに維持管理に関する研究

A Study on Winter Construction and Maintenance in Cold Regions

鮎田 耕一 (北見工業大学土木開発工学科)

鈴木 輝之 (北見工業大学土木開発工学科)

五十嵐 龍 (五十嵐建設株式会社)

中地 章 (北海道日本油脂株式会社)

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)

Teruyuki SUZUKI (Kitami Institute of Technology)

Ryou IGARASHI (Igarashi Construction Co.,LTD.)

Akira NAKACHI (Hokkaido NOF Corporation)

Key words: anti-freeze agent, frozen soil, winter earth work

## 1 研究の背景及び目的

寒冷地域における社会基盤整備の効率的な推進、さらに通年の雇用確保などのために建設工事の冬期施工が検討されるようになって久しい。一口に建設工事と言ってもその作業内容はきわめて多様で、たとえばコンクリート打設のように冬期施工が一般化しつつあるものもある。これに対して、冬期土工作業は地盤の凍結にともなう凍土の扱いの困難さや、出来上がった作工物の品質確保のための技術的課題が多く、現在でも一般的には行わないものとされている。しかし現実には作業工程の都合や、埋設構造物の冬期間の補修など実質的な冬期土工を行わざるを得ない場合は多くあり、合理的な冬期土工法の開発に対する現場サイドからの要請は大きい。このような状況を背景として冬期土工の技術的課題に取り組んだ研究もいくつかあるが、未だ土工法として一般的に認められるまでには至っていない<sup>1)~3)</sup>。

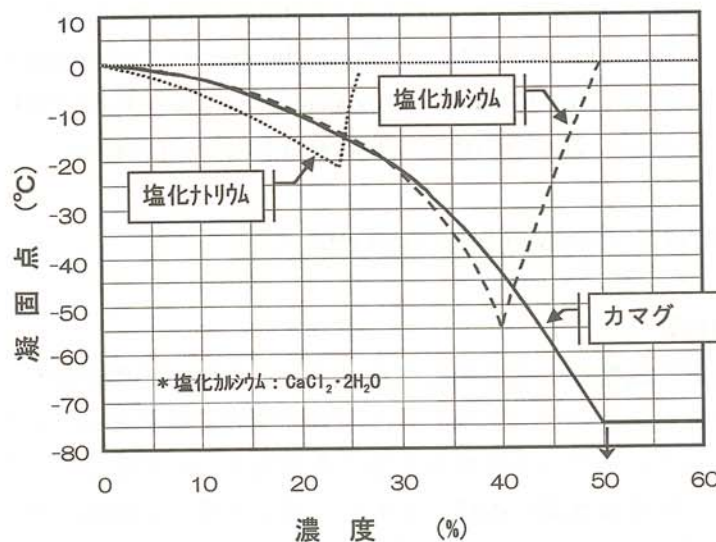
本研究は地盤凍結期における土工法として、凍結防止剤によって凍土を融解あるいは脆弱化して掘削・埋め戻しの作業を可能にしようとするものである。現在やむなく凍土を掘削する場合、バーナーなどで加熱融解したり、ブレイカーなどの強力な重機によって破碎する方法がとられている。融解剤によって凍土を融解して土工を容易にしようとする発想はこれまでは無いものである。この手法は、1) 原理的に分かり易い、2) 特殊な重機を必要としない、3) 融解効果の持続性がある、4) 掘削した土砂を埋め戻し材として再使用することも期待できるなど、従来の手法と比べても多くの利点を備えていると言える。一方、この工法を実用化していくためには、目的に応じた融解剤の使用量の決定、効果的な融解剤散布方法の開発、さらに目的に合った融解剤の開発など、いくつかの検討課題がある。今回の実験では、工法開発の基礎データを得るために液状凍結防止剤の凍土融解特性を室内実験によって調べた。

## 2 実験方法

### 2.1 液状凍結防止剤

本研究では冬期土工へ応用するための凍結防止剤として冬期路面对策用として開発された環境に優しい液状凍結防止剤—商品名「カマグ」（北海道日本油脂㈱製）を用いた。カマグは酢酸カリウムとグリセリンを主成分とし、その濃度によって種々の製品があるが、本研究では主成分濃度50%（酢酸カリウム：43.75%、グリセリン：6.25%、水：50%）のカマグを用いた。

本凍結防止剤の特徴としては、①液状であるため、高い速効性を有する。②凝固点が $-75^{\circ}\text{C}$ 以下であり、高い凍結防止効果及び融氷能力を有する。③他の凍結防止剤に見られるような高濃度領域での凝固点の上昇がないため、高濃度での使用することも可能である。④塩素系化合物を含有していないため、動植物や金属、コンクリート等への薬害の影響が少ない。⑤生分解性が高く雪解け後の土中残留の心配がほとんどない等があげられる。



図－1 凍結防止剤の濃度と凝固点の関係

### 2.2 土試料

土試料としては、火山灰質粘性土と豊浦砂の2種を用いた。これらの物理試験の結果を表－1に示す

表－1 火山灰質粘性土と豊浦砂の物理特性

項 目			火山灰質粘性土	豊浦砂（砂質土）
土 粒	子 密 度	( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.59	2.65
粒 度	75 $\mu\text{m}$ 以下 (%)		67	0
	75～2000 $\mu\text{m}$ (%)		33	100
コンシステンシー	液 性 限 界 (%)		44.9	—
	塑 性 限 界 (%)		37.3	—
締固め特性	最 適 含 水 比 (%)		29.6	—
	最 大 乾 燥 密 度 ( $\text{t}/\text{m}^3$ )		1.39	—
凍上特性	凍 上 率 率 (%)		109.4	0
	凍 結 様 式		霜柱状	コンクリート状



## 2. 3 凍土融解試験

(1) 所定の含水比に調整した上記の土試料を J I S A 1 2 1 0 (突き固めによる土の締固め試験法) に定める 1 0 c m モールドと 2 . 5 k g ランマーを用いて、3 層 2 5 回で突き固めて供試体を得た。このときの含水比は火山灰質粘性土で 1 0 , 2 0 , 3 0 , 4 0 % の 4 種、豊浦砂で 1 5 , 2 0 % の 2 種とした。

(2) この突き固めた試料をモールドに入れたまま、低温恒温器に約 2 4 時間放置し、 $-5^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}$  の 2 種類の温度で凍結させた。

(3) 次にモールド中の凍土表面に液状凍結防止剤を 3 0 g ふりかけ、再度低温恒温器に戻して所定の時間 (3 時間 ~ 1 0 日間) 放置し 凍土の一部を融解させた。

(4) そして、融解した部分の土をスプーンで削り取りその重量を測定した。このときの融解部分と凍結部分との境界はかなりはっきりしており、削り取りの手加減による個人誤差は小さいことが分かった。

## 3 実験結果と考察

### 3. 1 注入回数と融解土量

液状凍結防止剤 3 0 g を注入し、2 4 時間経過後に融解部分を削り取る操作を繰り返したときの、注入回数と累積融解土量の関係を示したのが図 - 2、3 である。この図から明らかのように、 $-5^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}$  のいずれの場合も注入回数に比例して累積融解土量も増加している。

次に、図 - 2、3 の含水比 2 0 % 粘性土と含水比 2 0 % 砂質土のデータを図 - 4 にまとめて示す。凍結温度と融解土量の関係では、 $-10^{\circ}\text{C}$  の融解土量は  $-5^{\circ}\text{C}$  に比較し 2 0 ~ 3 0 % 低い値を示した。また、同じ注入量に対して、砂質土の融解土量は粘性土の約 3 倍程度と高い値を示した。これは土試料の透水性の違いによるものと考えられる。

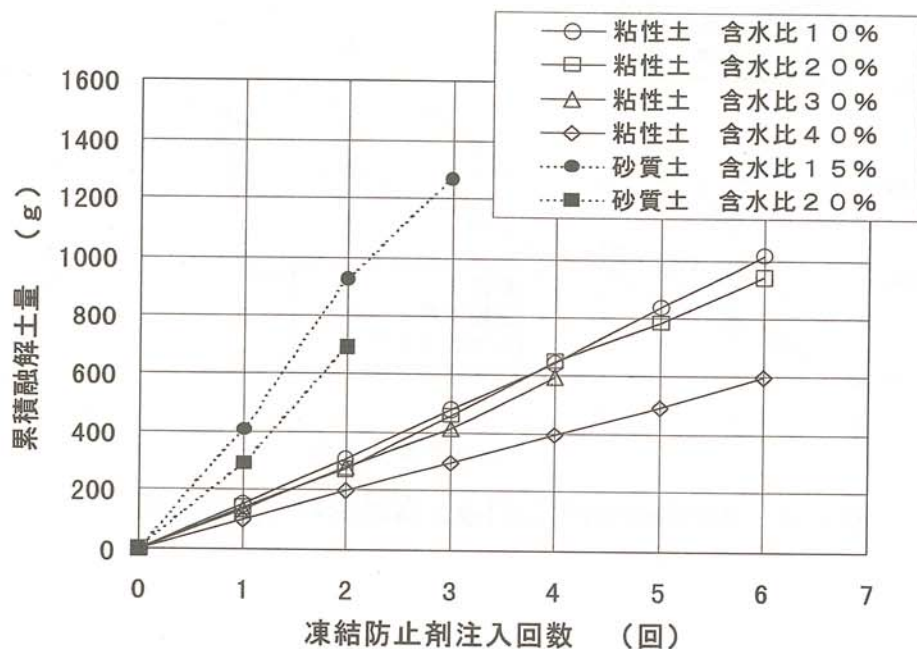
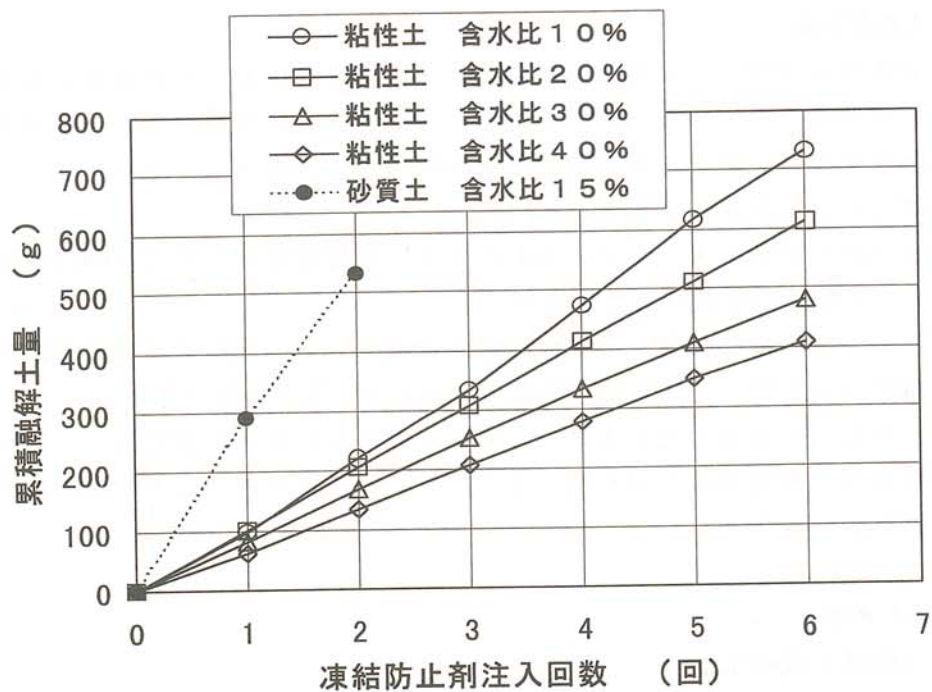
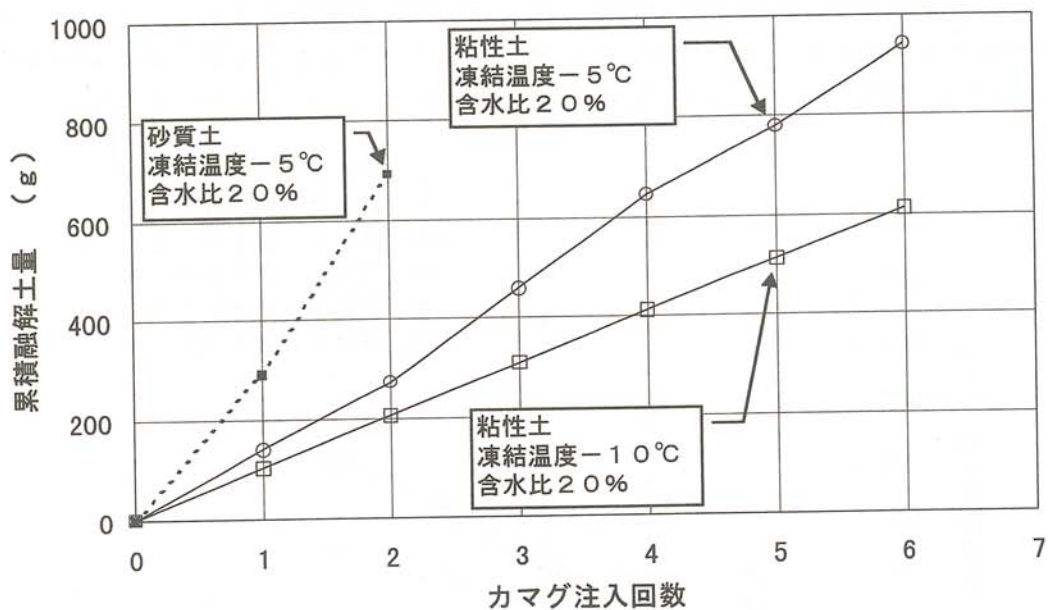


図 - 2 凍結防止剤注入回数と融解土量の関係  
(凍結温度  $-5^{\circ}\text{C}$ )



図－3 凍結防止剤注入回数と融解土量の関係  
(凍結温度－10℃)



図－4 凍結防止剤注入回数と累積融解土量の関係



### 3. 2 経過日数と融解土量

凍結温度 $-5^{\circ}\text{C}$ における凍結防止剤30g注入後の経過日数(最大10日)と融解土量の関係を図-5に示した。注入後の日数経過とともに融解土量も増加する傾向にあるが、注入して1日後に大部分が融解し、その後は微増傾向であった。

また、融解が十分に進行した後においても再凍結は認められず、効果の持続性が確認できた。

更に、砂質土(豊浦砂)における融解土量は粘性土のそれと比較し約3倍の量を示した。

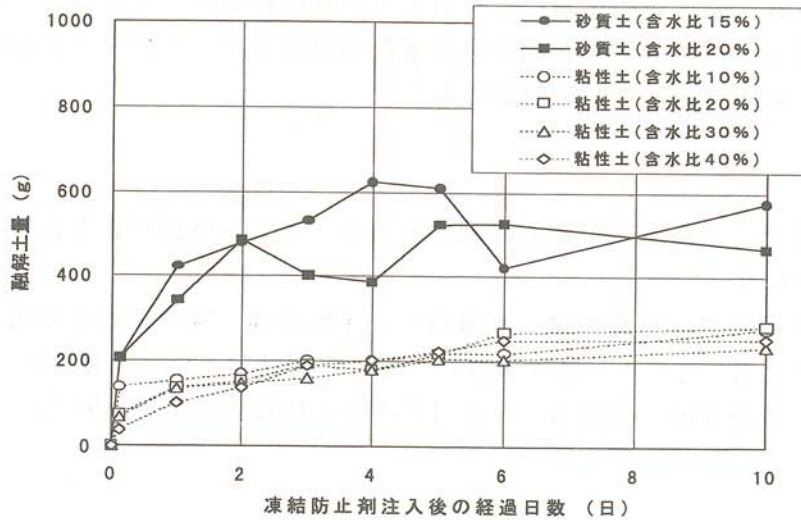


図-5 凍結防止剤注入後の経過日数と融解土量の関係  
(凍結温度: $-5^{\circ}\text{C}$ )

### 3. 3 経過日数と融解水量

凍結防止剤による凍土の融解はあくまで凍土中に含まれる氷の融解である。そこで図-6に、図-5の融解土量に含まれる水分量を融解水量としてプロットした。その結果、含水比の高い試料ほど融解水量が高くなる傾向となった。

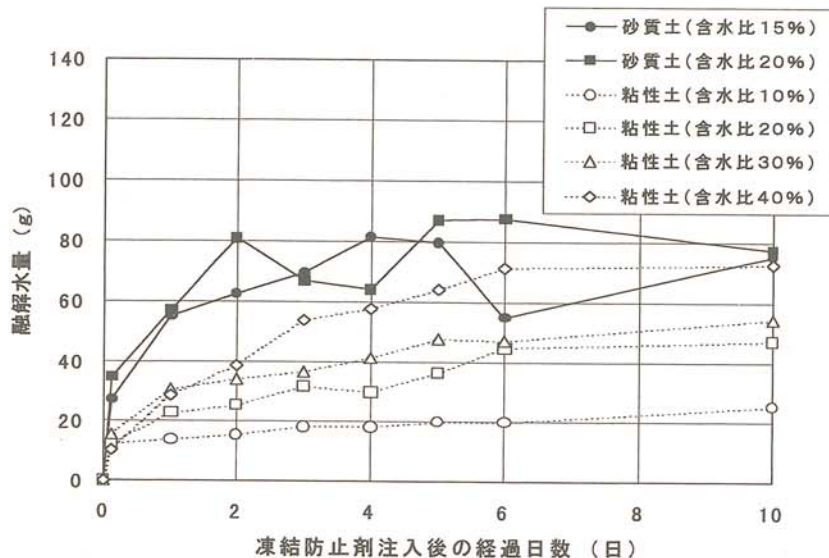


図-6 凍結防止剤注入後の経過日数と融水量の関係  
(凍結温度: $-5^{\circ}\text{C}$ )

#### 4 まとめ

以上の実験結果により以下の事が明らかとなった。

- (1) 液状凍結防止剤注入回数に比例して累積融解土量も増加した。
- (2) 凍結温度の高い方が、高い融解土量を示した。
- (3) 融解の充分進行した後においても再凍結は認められず、効果の持続性が確認できた。
- (4) 砂質土の融解土量は粘性土の融解土量と比較し約3倍の量を示した。
- (5) この違いは砂質土と粘性土の透水性の差に起因すると考えられた。

このように、液状凍結防止剤を用いた冬期土工の基礎検討を行った結果、温度、土質、含水比などを把握し、液状凍結防止剤の注入量及び時間をコントロールすることで、所定量の凍土の融解が可能であることが確認できた。

#### 参考文献

- (1) 北海道開発局：冬期土工の施工に関する調査、第15回通年施工化技術研究協議会資料、1990.
- (2) 境吉秀、大貫浩幸、西島利康、本田幸一、了戒公利：寒冷気候を利用した高含比粘性土の冬季土工（その1：野外実験）、第31回地盤工学研究発表会、1996.
- (3) 了戒公利、荻迫栄治、境吉秀：同上（その2：締固め効果）、同上.



# コンクリート製品の高品質化に関する研究(第5報)

## A Study on Improving the Quality of Concrete Products(Fifth Report)

鮎田 耕一 (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)  
橘井 康寛 (網走管内コンクリート製品協同組合)  
古西 力 (北見工業大学大学院土木開発工学専攻)

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)  
Mitsuru FUJIMURA (Abashiri Concrete Products Cooperative Society)  
Yasuhiro KITSUI (Abashiri Concrete Products Cooperative Society)  
Chikara KONISHI (Kitami Institute of Technology)

Key words: concrete products, high workable concrete, accelerator, compressive strength, steam-curing

### 1. 序論

自己充填性に優れた高流動コンクリートの有効利用の一つにコンクリート製品工場での適用がある。高流動コンクリートを製品工場で適用できれば、これまで問題とされてきた振動・騒音問題を解消することができるばかりでなく、高品質な製品を合理的に製造できると考えられる。

高流動コンクリートを製品工場で適用するために、筆者らはこれまでの研究<sup>1)</sup>において、増粘剤と高性能減水剤を用いた高流動コンクリートを作製し、蒸気養生を行った場合の強度性状について検討してきた。その結果、蒸気養生期間のうち前養生期間が高流動コンクリートの強度発現に影響を及ぼしていること、増粘剤と高性能減水剤の併用による凝結遅延の影響を改善しなければならないことを明らかにした。

そこで本研究では、増粘剤系高流動コンクリートに凝結促進剤を添加し、凝結遅延の改善を図るとともに、高流動コンクリートの強度発現と製品への適用性について検討した。

### 2. 実験方法

#### 2. 1 配合

表1にコンクリートの配合を示す。配合はフレッシュコンクリートの性状の目標値を空気量 $4.5 \pm 0.5\%$ 、スランプフロー $60 \pm 5\text{cm}$ となるように設計した。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、細骨材、粗骨材はそれぞれ川砂、川砂利を用いた。

#### 2. 2 練混ぜ及び打込み

コンクリートの練混ぜは強制練りミキサを用いて行った。練混ぜは【粗骨材+細骨材+セメント+増粘剤】で60秒間空練り→【練混ぜ水+A E 剤+凝結促進剤】で60秒間練混ぜ→ミキ

表1 配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				増粘剤 (kg/m <sup>3</sup> )	高性能 減水剤 (C×%)	A E 剤 (C×%)	凝結 促進剤 (C×%)
		W	C	S	G				
50	45	175	350	798	975	0.3	1.6	0.02	0
							2.7		2.0
							2.7		3.0
							2.7		4.0

※混和剤の主成分…増粘剤（水溶性セルロースエーテル）、高性能減水剤（高縮合トリアジン系化合物）、A E 剤（天然樹脂酸塩）、凝結促進剤（亜硝酸カルシウム）

サ一時停止後【高性能減水剤】を添加し 120 秒間練混ぜ、の順序で行った。

## 2. 3 養生

### (1) 蒸気養生

供試体打込み後、恒温恒湿室（室温 20℃、相対湿度 90%）で前養生を行い、型枠のまま蒸気養生槽に入れ常圧で蒸気養生を行った。蒸気養生条件を表 2 に示す。

表2 蒸気養生条件

前養生		温度 上昇	等温養生	
温度	時間		最高温度	保持時間
20℃	1h	20℃/h	65℃	4h
	2h			
	4h			

等温養生終了後、供試体をそのまま蒸

気養生槽内で徐冷し、前養生開始から約 24 時間後に脱型した。脱型後、供試体は所定の試験材齢まで標準養生（20℃水中）を行った。

### (2) 標準養生

比較のために蒸気養生を行わず、型枠のまま恒温恒湿室に約 24 時間置いた後に脱型し、所定の試験材齢まで標準養生を行った供試体を作成した。

## 2. 4 試験項目

### (1) 凝結時間

ASTM C 403「Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance」に準拠して測定した。

### (2) 圧縮強度

土木学会コンクリート委員会高流動コンクリート研究小委員会中間報告「自己充填型の高流動コンクリートの試験方法(案)強度試験用供試体の作り方」<sup>2)</sup>に準拠して供試体を作製し、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し、材齢 1、3、7、14、28 日の圧縮強度を測定した。

表3 凝結時間測定結果

凝結促進剤 添加量(C×%)	始発時間 (h-min)	終結時間 (h-min)
無添加	7-00	8-55
2.0	7-55	10-30
3.0	7-00	9-25
4.0	5-40	7-30

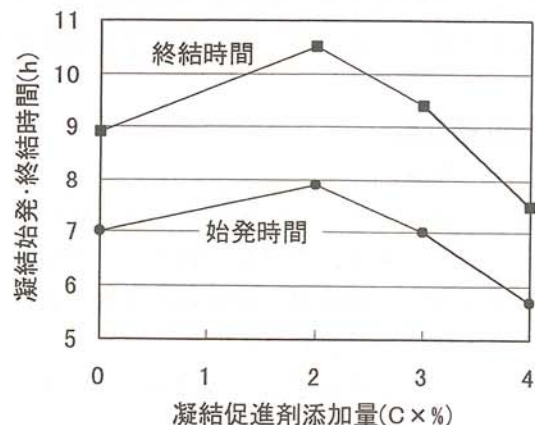


図1 凝結促進剤添加量と貫入抵抗値

## 3. 実験結果及び考察

### 3. 1 凝結時間

表 3 に凝結時間の測定結果、図 1 に凝結促進剤の添加量と凝結始発・終結時間の関係を示す。凝結促進剤を 2.0(C×%) 添加した場合、無添加と比較して 60～90 分間程度凝結が遅延してい



るのに対し、凝結促進剤を 4.0(C×%)添加した場合は、90 分間程度凝結が促進している。一般に高性能減水剤を多量に添加すると凝結が遅延することが知られているが<sup>3)</sup>、凝結促進剤を添加した場合は、無添加と比較して高性能減水剤の添加量が増加しており、このことが凝結遅延に影響したと考えられる。

表 4 圧縮強度試験結果

凝結促進剤 添加量(C×%)	前養生 時間(h)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )				
		材齢 1 日	3 日	7 日	14 日	28 日
無添加	標準養生	11.5	20.5	29.9	32.8	35.1
	1	11.0	14.1	15.3	17.6	21.3
	2	12.2	13.9	17.9	20.1	25.0
	4	18.4	21.0	25.1	29.4	33.8
2.0	標準養生	10.1	20.4	29.4	32.9	35.6
	1	11.8	13.1	16.1	18.6	19.5
	2	12.7	14.1	16.5	19.4	20.2
	4	18.1	20.7	25.4	30.0	31.1
3.0	標準養生	10.1	22.9	32.9	35.5	39.7
	1	11.8	16.0	17.4	19.8	21.4
	2	15.1	19.1	21.5	25.3	27.1
	4	20.1	25.9	30.0	33.8	36.0
4.0	標準養生	12.7	24.9	32.9	36.2	40.5
	1	13.5	15.9	16.8	20.1	23.2
	2	16.2	18.0	21.5	22.8	29.7
	4	20.4	25.7	32.1	33.4	37.7

### 3. 2 強度発現

表 4 に圧縮強度の試験結果、図 2、図 3 に前養生時間と材齢 1 日、28 日の圧縮強度の関係を示す。材齢 1 日、28 日いずれにおいても、前養生時間が長くなると圧縮強度は高くなり、材齢 28 日まで強度の発現性を良好にするには前養生は 4 時間必要といえる。

また、図 4、図 5 に凝結促進剤添加量と材齢 1 日、28 日の圧縮強度の関係を示す。

図 4 から、材齢 1 日の圧縮強度は、凝結促進剤の添加量が 2.0(C×%)の場合、無添加とほぼ同程度であるのに対し、凝結促進剤を 3.0、4.0(C×%)添加すると圧縮強度は高くなった。特に前養生を 4 時間行った場合では、凝結促進剤を 3.0(C×%)あるいは 4.0(C×%)添加すると圧縮強度は 20N/mm<sup>2</sup> 程度となり、良好な強度の発現性を示したといえる。

図 5 から、材齢 28 日の圧縮強度は、凝結促進剤の添加量が 2.0(C×%)の場合、無添加と比較して圧縮強度は低くなった。しかしながら、凝結促進剤を 3.0、4.0(C×%)添加することで圧縮強度は高くなり、特に凝結促進剤を 4.0(C×%)添加した場合は、前養生 2 時間で

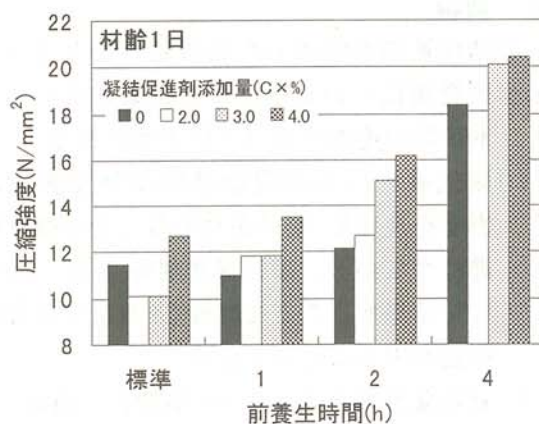


図2 前養生時間と圧縮強度(材齢 1 日)

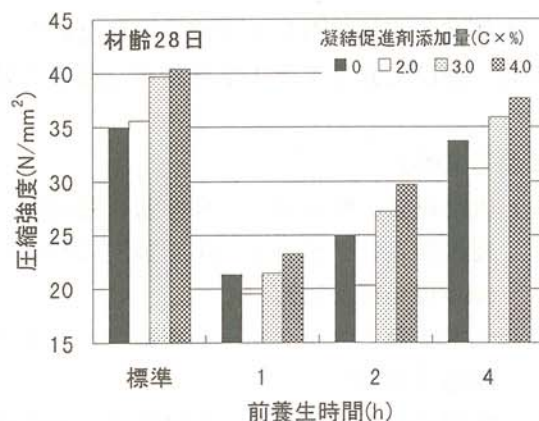


図3 前養生時間と圧縮強度(材齢 28 日)

30N/mm<sup>2</sup> 程度、4 時間行った場合では 35N/mm<sup>2</sup> 以上の圧縮強度が得られ、良好な強度の発現性を示した。

以上の結果から、凝結促進剤を 3.0(C×%)あるいは 4.0(C×%)添加することで初期強度あるいは材齢 28 日までの強度の増進を図ることができることが明らかとなった。

### 3. 3 製品への適用性

現在コンクリート製品工場において、振動締固めが行われている道路用製品などの一般的製品の材齢 28 日の圧縮強度は 30N/mm<sup>2</sup> 程度である<sup>4)</sup>。従って、図 5 から凝結促進剤無添加でも前養生を 4 時間行うことで製品に所要の強度を得ることができるといえる。しかし、凝結促進剤を 4.0(C×%)添加することで前養生を 2 時間行うだけで所要の強度を得ることができるとことが明らかとなった。

## 4 結論

凝結促進剤を添加した高流動コンクリートの強度発現について検討した結果をまとめると、本研究の範囲では以下になる。

- (1) 蒸気養生による凝結速度が強度発現に影響を及ぼし、凝結を速めることが強度増進につながる。凝結促進剤を 3.0、4.0(C×%)添加することで材齢 28 日までの強度増進を図ることができる。
- (2) 凝結促進剤を 4.0(C×%)添加し、前養生を 2 時間行うことで一般的な製品に要求される強度を得ることができる。

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（山上岩男理事長）並びに北見工業大学猪狩平三郎氏に感謝申し上げます。

### 【参考文献】

- 1) 大沼康弘、鮎田耕一、桜井宏、藤村満、橘井康寛：前養生時間と配合が蒸気養生を行った高流動コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響、土木学会北海道支部論文報告集、第 53 号(A)、pp. 512-517 (1997)
- 2) 土木学会：コンクリート技術シリーズ No. 15、高流動コンクリートに関する技術の現状と課題 (1996)
- 3) 庄司芳之、竹下治之、佐原晴也：高流動コンクリートの硬化後の品質に及ぼす蒸気養生の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol. 16、No. 1、pp. 195-200 (1994)
- 4) 日本コンクリート工学協会編：コンクリート便覧[第二版] 第 8 編、技報堂出版 (1996)

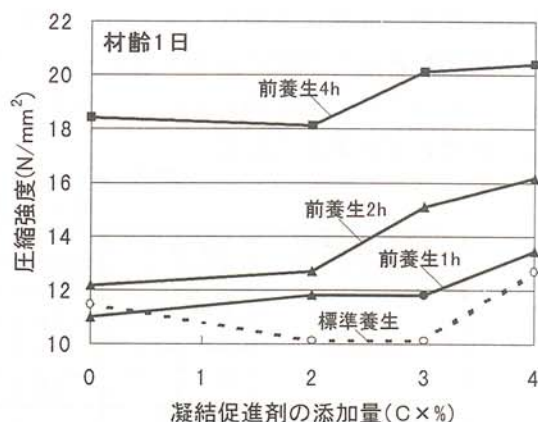


図4 凝結促進剤添加量と圧縮強度  
(材齢 1 日)

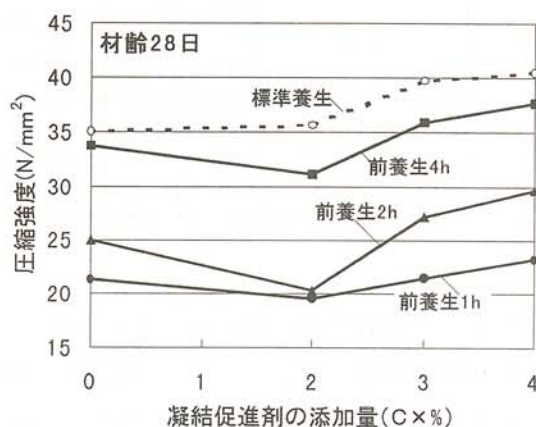


図5 凝結促進剤添加量と圧縮強度  
(材齢 28 日)



# 氷海域海洋コンクリート構造物の 耐久性に関する研究(第2報)

A Study on Durability of Marine Concrete in Cold Regions(Second Report)

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

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

Key words : marine concrete, frost resistance, exposure test, strength, cold regions

## 1. はじめに

氷海域におけるコンクリート構造物は、凍結融解作用に加え、海水や流水等の化学的、物理的作用も受ける厳しい自然条件下にあるので、内陸のコンクリート構造物に比べ劣化しやすい。このことから、寒冷地では海岸・港湾に建設されるコンクリート構造物の耐久性は重要な問題となってくる。コンクリートの耐久性は内的条件と外的条件により変化する。前者は空気量、養生方法等のコンクリート自体に関するもので、後者は気象や海象等の環境作用によるものである。これらの複合作用により長い年月をかけて劣化が進行する。

筆者らは、これらの劣化の実態を実気象・海象条件下で調査するために、オホーツク海に面している網走鱒浦漁港及び北見市の2カ所で10年間に及ぶ暴露試験を行っている。図1に網走鱒浦漁港と北見市の位置を示す。

本研究では、10年間暴露したコンクリートの圧縮強度の結果を基に、異なる内的条件や外的条件下におけるコンクリートの強度発現性状を評価し、氷海域におけるコンクリートの耐久性向上について検討した。



図1 暴露場所

## 2. 暴露試験の概要と結果

### 2. 1 暴露試験

暴露試験は、網走鱒浦漁港及び北見市の2カ所で1987年9月から開始した。表1に網走市及び北見市の1987年から1997年までの年平均の最高気温と最低気温を示す。



網走鱒浦漁港における暴露試験は、干満帯にある排水トラフの中にコンクリート供試体（円柱： $\phi 10 \times 20\text{cm}$ ）を設置して行った。満潮時には、排水トラフは完全に水没し供試体は海水に浸された状態にある。干潮時には、供試体は大気中にある。このように、潮の干満による乾湿の繰返しを受ける厳しい環境下にあり、土木学会コンクリート標準示方書の海洋コンクリートの環境区分の「飛沫帯」に相当する環境である。以下、この暴露実験を干満帯暴露と称する。暴露状況を写真1に示す。また、供試体中心部の温度から凍結融解温度を $-2^{\circ}\text{C}$ として求めたコンクリートの年平均の凍結融解回数を表1に示す。

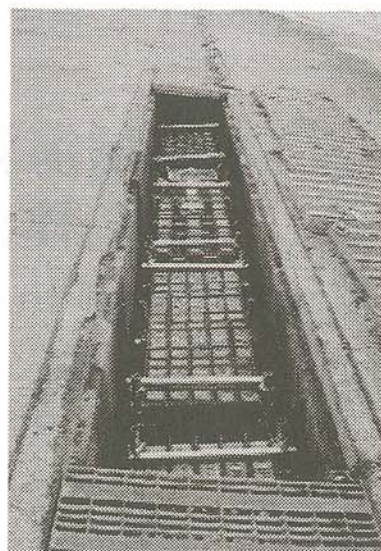


写真1 干満帯暴露の状況

北見市における暴露試験は、網走鱒浦漁港から約50km内陸に位置する北見工業大学の建物屋上に供試体（円柱： $\phi 10 \times 20\text{cm}$ ）を設置して行った。冬期間の除雪は行わなかった。以下、この暴露実験を内陸暴露と称する。暴露状況を写真2に示す。また、供試体中心部の温度から凍結融解温度を $0^{\circ}\text{C}$ として求めたコンクリートの年平均の凍結融解回数を表1に示す。



写真2 内陸暴露の状況

## 2. 2 使用材料

暴露した供試体の作製に用いた材料を表2に示す。

## 2. 3 配合及び練上がり性状

暴露供試体の配合を表3に示す。練上がり性状は、スランプを $8.0 \pm 1.0\text{cm}$ 、AEコンクリートの空気量を目標値（4、6、8） $\pm 0.5\%$ とした。

## 2. 4 養生方法

供試体は、打込み後、24時間湿空養生（室温 $20^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度90%）を行い、脱型した後、所

表1 年平均の最高気温、最低気温及びコンクリート供試体の凍結融解回数  
(1987年～1997年)

暴露場所	年平均最高気温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	年平均最低気温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	年間凍結融解回数 (回)
網走市	32.8	-16.2	54 (干満帯暴露)
北見市	33.3	-22.7	138 (内陸暴露)

表2 使用材料

使用材料	品 質
セメント	普通ポルトランドセメント（比重：3.16、比表面積： $3270\text{cm}^2/\text{g}$ ）
粗骨材	札内川産川砂利（最大寸法：25mm、比重：2.66、吸水率：1.63%、粗粒率：6.78）
細骨材	札内川産川砂（比重：2.61、吸水率：2.40%、粗粒率：2.68）
混和剤	AE減水剤（主成分：ヒドロキシ系複合体天然樹脂酸塩）、AE剤（主成分：天然樹脂酸塩）



表3 配合及び圧縮強度

ケース	空気量	W/C (%)	s/a (%)	単位 セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			
					材齢28日		材齢10年	
					5日間 標準養生	28日間 標準養生	5日間 標準養生	28日間 標準養生
干満帯 暴露用	NonAE	52.6	33	304	29.3	33.5	32.0	25.7
	4%	54.2	33	260	27.0	29.3	26.4	22.3
	6%	52.3	33	260	23.5	24.8	22.5	21.3
	8%	50.4	33	260	23.0	24.1	22.4	20.2
内陸 暴露用	NonAE	52.1	33.3	303	-	34.9	-	38.9
	4%	54.2	33.3	259	-	29.0	-	32.2
	6%	52.5	33.3	259	-	26.4	-	29.4
	8%	50.6	33.3	259	-	30.4	-	32.1

定の材齢（5日あるいは28日）まで標準養生（20℃、水中）を行った。暴露試験開始材齢は28日である。標準養生5日間の供試体は、養生後暴露試験開始まで実験室（室温約20℃）で気乾状態で保存した。

## 2. 5 圧縮強度

JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じて、材齢28日及び材齢10年のコンクリートの圧縮強度を測定した。結果を表3に示す。

## 3. 考察

### 3. 1 圧縮強度に及ぼす暴露環境の影響

図2に28日間標準養生後に暴露したコンクリートの10年後の圧縮強度を暴露開始時の値を100%とした百分率で示す。

この結果によれば、干満帯暴露のコンクリートの圧縮強度は、各空気量の場合とも暴露開始時の75～85%まで低下している。一方、内陸暴露の場合は、圧縮強度が5～10%程度増加している。干満帯暴露の強度低下の原因は、海水の化学的作用によるコンクリートの多孔化など組織の弱体化及び物理的作用によるコンクリートの損傷などのためと考えられる。以上のことから、干満帯はコンクリートにとって厳しい環境下であるといえる。

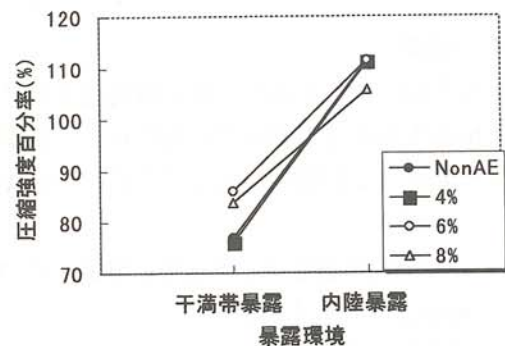


図2 圧縮強度に及ぼす暴露環境の影響

### 3. 2 干満帯暴露供試体の圧縮強度に及ぼす空気量の影響

図3に28日間標準養生後に干満帯に暴露したコンクリートの10年後の圧縮強度に及ぼす空気量の影響を示す。圧縮強度百分率は暴露開始時の値を100%としたものである。

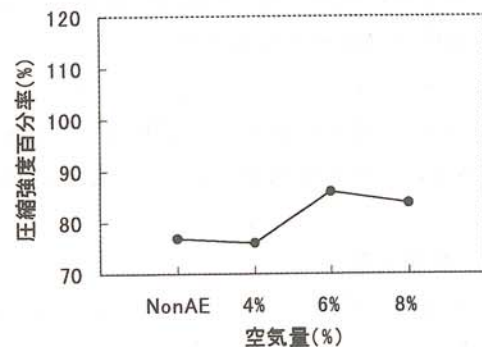


図3 圧縮強度に及ぼす空気量の影響

この結果によれば、空気量が6、8%の場合は、NonAE、4%の場合に比べ圧縮強度の低下が少なかった。これは、空気をより多く連行させることで凍結時に生じる水の膨張圧によるコンクリート内部の破壊が抑制されたため<sup>1)</sup>と考えられる。

以上のことから、本研究の範囲では、空気量を6、8%（粗骨材最大寸法25mm）とすることにより干満帯にあるコンクリートの圧縮強度の低下を抑制することができるといえる。

### 3. 3 干満帯暴露供試体の圧縮強度に及ぼす養生日数の影響

図4に10年間干満帯に暴露したコンクリートの圧縮強度に及ぼす養生日数の影響を示す。圧縮強度百分率は暴露開始時の値を100%としたものである。

表3によれば、5日間標準養生のコンクリートの暴露開始時（材齢28日）の圧縮強度は、28日間標準養生のものより5～10%程度低い。しかしながら、図4によれば、5日間標準養生のコンクリートの圧縮強度は10年後もほぼ同じなのに対し、28日間標準養生のものは暴露開始時の75～85%まで低下している。5日間標準養生供試体の圧縮強度の低下が抑制された原因としては、初期養生後の乾燥によってコンクリート中の含水量が低下し、凍害を受けにくくなったことが考えられる。このことから、養生終了後海水にあてるまでの間、気乾状態においておくことは、長い供用年数を要求される氷海域におけるコンクリート構造物の圧縮強度の低下を抑制するためには有効な手段であるといえよう。

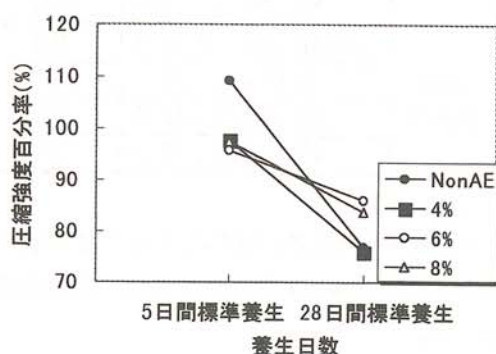


図4 圧縮強度に及ぼす養生日数の影響

## 4. 結論

10年間に及ぶ干満帯（網走鱒浦漁港の排水トラフ内）及び内陸（網走鱒浦漁港から約50km内陸に位置する北見工業大学の建物屋上）暴露の試験から氷海域におけるコンクリートの圧縮強度について検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 28日間標準養生後、干満帯に暴露したコンクリートの材齢10年の圧縮強度は、内陸に暴露したものより大きく低下した。
- 2) 28日間標準養生後、干満帯に暴露したコンクリートは、空気量を6、8%程度（粗骨材最大寸法25mm）にすると材齢10年の圧縮強度の低下が抑制された。
- 3) 養生後に乾燥させ、干満帯に暴露したコンクリートの材齢10年の圧縮強度は、材齢28日の圧縮強度とほぼ同じであった。

本研究の遂行にあたり、ご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、中村匡志氏に感謝申し上げます。

## 5. 参考文献

- 1) 林正道、鮎田耕一：コンクリート工学、耐久性・寒中コンクリート詳説、山海堂、 pp.65～83、1993



# 極域の海氷および氷河氷床の変動(第3報)

## Fluctuations of Sea Ice, Glacier and Ice Sheet in the Polar Region (Third Report)

榎本浩之 (北見工業大学土木開発工学科)

高橋修平 (北見工業大学土木開発工学科)

百武欣二 (北見工業大学土木開発工学科)

白崎和行 (北見工業大学土木開発工学科)

舘山一孝 (北見工業大学土木開発工学科)

渡辺昭彦 (北見工業大学土木開発工学科)

太田和夫 (宇宙開発事業団)

Hiroyuki ENOMOTO (Kitami Institute of Technology)

Shuhei TAKAHASHI (Kitami Institute of Technology)

Kinji HYAKUTAKE (Kitami Institute of Technology)

Kazuyuki SHIRASAKI (Kitami Institute of Technology)

Kazutaka TATEYAMA (Kitami Institute of Technology)

Akihiko WATANABE (Kitami Institute of Technology)

Kazuo OHTA (National Space Development Agency of Japan)

Key Words: remote sensing, sea ice, Sea of Okhotsk

### 1. はじめに

オホーツク海の海氷は低緯度に存在する海氷域であり、また薄氷域も多く熱的にも不安定であると考えられる。Cavalieri *et al* (1997) は北極海の海氷面積の減少傾向を報告しており、またモデル計算からも温暖化に対し急激に減少することが予想されている。海氷変化の観測には、海氷の面積だけでなく厚さの変化も観測することが必要となる (Enomoto, 1996)。オホーツク海のサハリンから北海道の沿岸にかけては、南北1000kmの範囲に海氷が分布する。このためシベリアからの寒気の吹き出しの影響を受けるサハリン北方から、冬期でも融解がおきる北海道周辺まで多様な熱的条件を含んでいる。また沿岸ポリニア、薄氷域の拡大、大氷盤形成過程、定着氷の形成など多様な力学的条件を反映する氷タイプが存在している (Shirasaki *et al*, 1998)。本研究では、ADEOS 衛星の高分解能可視近赤外放射計 AVNIR による雪氷圏の詳細な観測を行った。この観測域での詳細な可視近赤外センサーによる解析は、オホーツク海の海氷の地域性の把握とともに、環境変化に対する応答を考える基礎情報、マイクロ波放射計などの海氷観測手法の開発のための検証データとしても有効である。

### 2. 解析資料

ADEOS AVNIR のマルチバンドデータを用いて、オホーツク海の海氷域を観察した。データ

検索により、薄氷域や定着氷域のデータを選び解析を行った。解析は主に画像解析ソフト VI<sup>2</sup> STA を用いて行った。比較データとして、本学地域共同研究センターで受信解析している NOAA 衛星の高分解能放射計 AVHRR のデータおよび DMSP 衛星のマイクロ波放射計 SSM/I のデータも使用した。1998 年 2 月 23 日に (株) オホーツク航空のセスナ機による航空観測を行い、海氷や湖氷の分布や表面状態、表面温度などについて観測を行った。また、1996 年及び 1997 年冬期に行われた同様な航空観測及び、2000 年に打ち上げの予定されている ADEOS II 衛星に搭載されるマイクロ波放射計 AMSR と同一の観測バンドを持つ航空機搭載マイクロ波放射計 AMR 実験によるビデオ画像も参照した。サハリン北部の 1997 年冬期については、サハリン北端のシュミット岬の気象観測データを利用して気象条件などの確認を行った (Enomoto *et al.*, 1998)。

### 3. 海氷の可視近赤外スペクトル特性

薄氷は近赤外域の反射率が低下する。また、起伏の多い定着氷域では、平坦な積雪や氷盤とは異なった可視近赤外の反射特性を示す。大きな起伏による日陰部分の増加のため、観測される光の中に散乱光の寄与が増える。このため可視近赤外の全体の強度が小さくなるとともに、特に近赤外の強度が小さくなる。起伏の多い雪面では、衛星からは日向と日陰が混在して観測

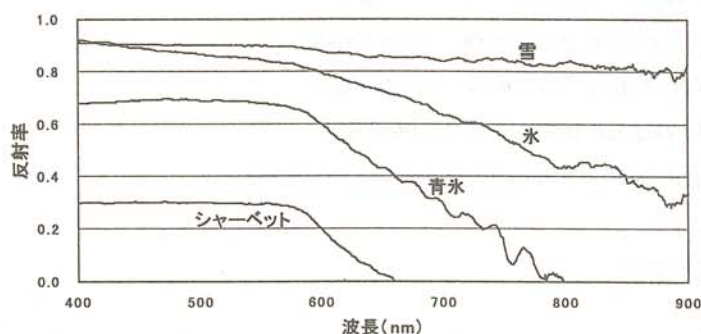


図 1 北海道東部のサロマ湖付近の海岸での観測例 (1998 年 2 月 15 日)

されるため二つのスペクトル分布を合成したような結果となる。この場合もやはり近赤外の減少となる。図 1 に北海道東部のサロマ湖付近の海岸での観測例を示す。1998 年 2 月 15 日には、50cm ~ 1 m の起伏を持った定着氷が分布していた。この周辺で観測された海氷上の積雪、雪を取り除いた氷面、青氷、シャーベット状に浮遊する氷粒の反射率の測定結果を図 1 に示す。

### 4. AVNIR による薄氷の観測

サハリンのテルペニエ岬付近のデータを用いて、海氷タイプの違いの解析を行った。図 2 に 1997 年 2 月 7 日の画像を示す。岬の西側 (a) は薄氷で覆われている。岬の東側沿岸部 (c, d) は氷盤に覆われている。(c) や (d) の氷盤域では水路と氷盤の違いが顕著であるが、その沖 (e) では小氷盤の密集域と思われる連続した海氷域となっている。また、海岸に沿って定着氷が形成されており、成長した湖水や陸上の雪原と区別しにくい均一な表面となっている (b)。

各地域について、AVNIR の各チャンネルのカウント値を調べると、ch2 の値に対し、ch1 や ch3 の値はほぼ直線的に増加し情報の独立性が小さいが、ch4 の近赤外域では異なった傾向を示す。ch2 に対する ch4 の変化の違いを強調するために ch4 を ch2 で割り、その結果を図 3 に示した。横軸には ch2 の大きさをとっており、可視域における反射率の大きさ、すなわち目視により判別される海氷の明るさを示している。様々な海氷-水面混在率の観測域を選んで、ch4/ch2 の計算を行い、×マークで表示した。点線は海水と定着氷の ch2 と ch4 の値を元に、そ



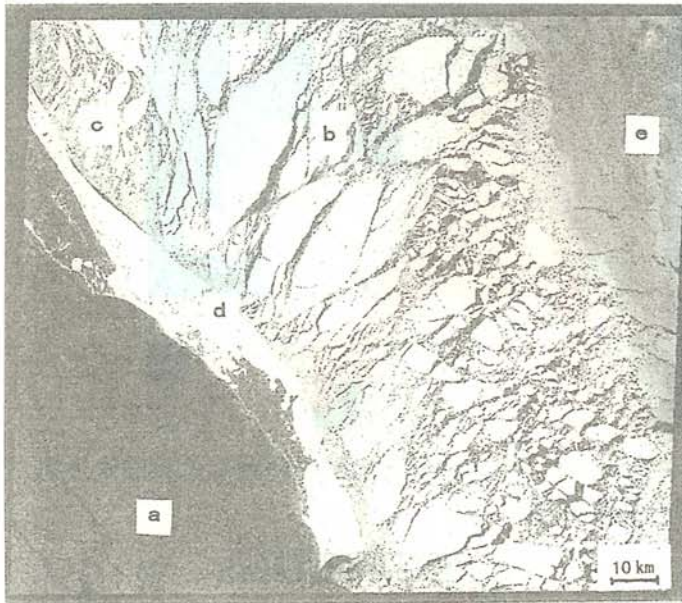


図2 サハリンのテルペニエ岬付近の画像  
(1997年2月7日)

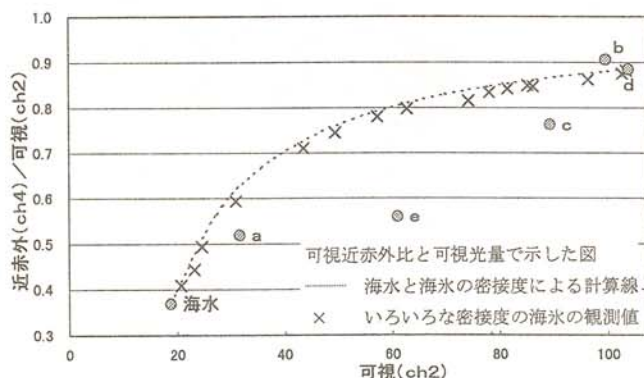


図3 可視の反射率と近赤外／可視比の分布

## 5. マイクロ波観測への応用

詳細な海氷情報はマイクロ波放射計による海氷観測アルゴリズムの開発にも重要である。多くのマイクロ波海氷観測の検証は LANDSAT などの衛星データを用いて行われている。このため衛星による可視画像の解析精度が、マイクロ波観測にとっても観測の限界となる。可視データでは従来さまざまな密接度の氷盤域が利用されていた。従来、検証に利用されていたのは氷盤 (Floe) である。その他の薄氷など海氷のタイプによる違いはほとんどの考慮されていなかった。本研究では衛星 ADEOS II のマイクロ波放射計による新たな海氷アルゴリズムの開発を検討しているが、例えば図2の AVNIR 画像は薄氷域の検証画像として使用できる。そこで、DMSP 衛星のマイクロ波放射計 SSM/I による海氷観測アルゴリズム (Tateyama *et al.*, 1998) による解析結果を図4(a)に示して比較する。また、従来の NASA チームのアルゴリズムによる密接度表示も図4(b)に示す。半島の西側の薄氷域、東側の氷盤域が判別されるが、これらの情報は従来の密接度のみの表示では示すことが出来ない。同様の方式をオホーツク海全域に適用したものを図5(a)に、NOAA AVHRR の比較画像も図5(b)示す。従来の NASA アルゴリズム密接度表示の結果も比較のために示す。

それぞれの占める割合を変えていった場合に得られる  $ch4/ch2$  の計算値である。観測値 (×マーク) と計算値 (点線) はほぼ一致している。積雪のある明るい氷盤と水面から構成される観測域では、 $ch4/ch2$  の値はこの点線に沿った分布となるものと思われる。a, e, c の領域では  $ch4/ch2$  の値は点線から外れている。とくに e で顕著である。表面が濡れているか薄氷が多く混在しているものと思われる。a の領域では  $ch2$  の値が小さく水面と近い値になっているが点線からは外れている。

薄氷は可視の反射率が低いため、可視データからだけでは検出が難しいが、近赤外を考慮することにより判別が可能になるとと思われる。また、AVNIR のような高い空間分解能では、薄氷域を構成する薄氷盤や蓮葉氷のサイズに近い空間分解能が得られるため、これらの海氷で生じる氷盤周縁部の重なりの影響を検討できる。



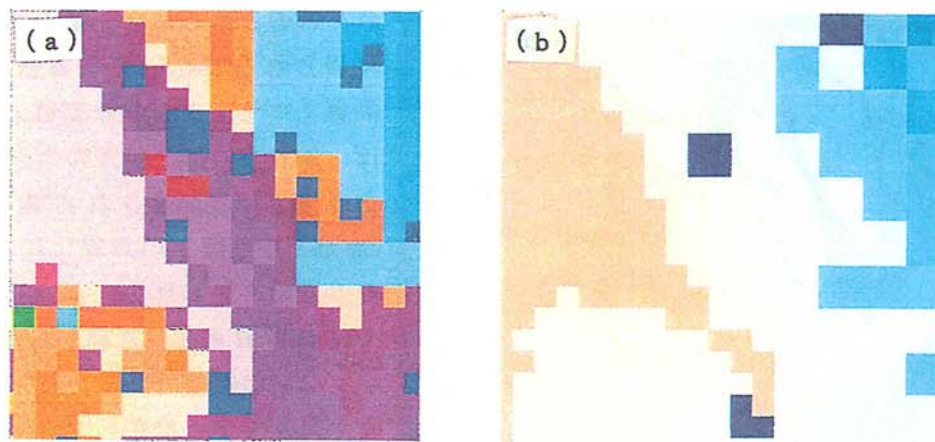
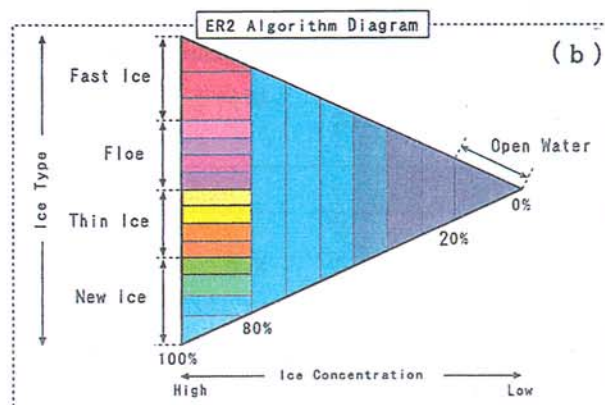
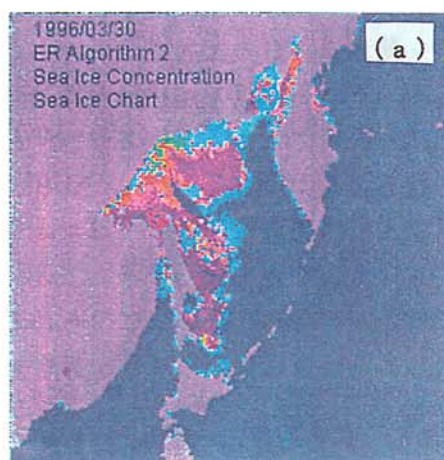


図4 サハリン東岸のテルペニエ岬付近の (a) マイクロ波薄氷解析画像による海水分類, (b) NASA アルゴリズムによる密度度表示。



ER2 アルゴリズムの海水分類ダイアグラム

青色のグラデーションで示される部分は海水氷密度度が 20% から 80% の海水域であり、密度度 20% 未満は WMO の定義に従い密度度 0% とする。密度度 80% 以上の海水域は氷種を示し、緑色は新生氷、橙色は薄氷、紫色は氷盤、赤色は沿岸定着氷と設定している。

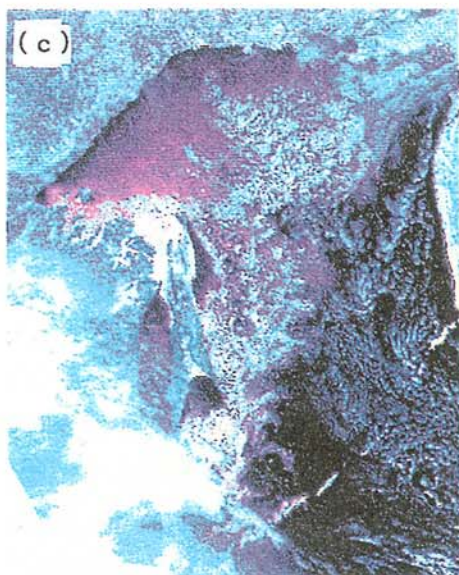


図5 オホーツク海の海水分布  
(a) マイクロ波放射計薄氷解析画像による海水分類,  
(b) 海水分類ダイアグラム,  
(c) NOAA AVHRR 可視画像  
(1996年3月30日)

## 6. 定着氷の観測

定着氷は、サハリン北部で多く形成されている。特にスタムハ (Stamukha (露): grounded hammock ice) と呼ばれる氷の集積が起きることが報告されている (Beketsky, 1998)。このスタ



どの維持にとっても重要な問題となっている。また、定着氷はマイクロ波観測における多年氷の疑似シグナルが出ることもあり、その観察はマイクロ波観測の基礎情報としても重要である。

1997年3月28日のサハリン北部の観測域を図6(左)に示す。サハリンの東岸に沿って、幅数kmの定着氷があり、その沖は開水面、さらに沖に氷盤域が観測される。サハリン東岸に沿って南下する氷盤群は、サハリン北部の沿岸で形成される。沿岸の定着氷は長さ150kmにわたって形成されていた。図6(右上、右下)に図6左のA地域付近の拡大図を示す。沿岸から3つのゾーンに分けられ、(a)表面の均一なゾーン、(b)起伏の大きなゾーン、(c)その沖に水没部を含むと思われるゾーンが見られた。起伏の大きな地域の存在は可視光(図6右上)からわかるが、その内部の不連続域(c)は近赤外の強度が小さな地域として判別される。(図6右下)。このような起伏の多い様子は北海道周辺の画像からは観測されなかった。定着氷と氷盤域の間は、開水面または薄氷域となっており、サハリンより沖に向かって吹く風により開水面の形成と拡大、薄氷の被覆が冬期に繰り返し生じている。このびょうな沿岸ポリニアとして活発な海水生産が起きていると予想される。

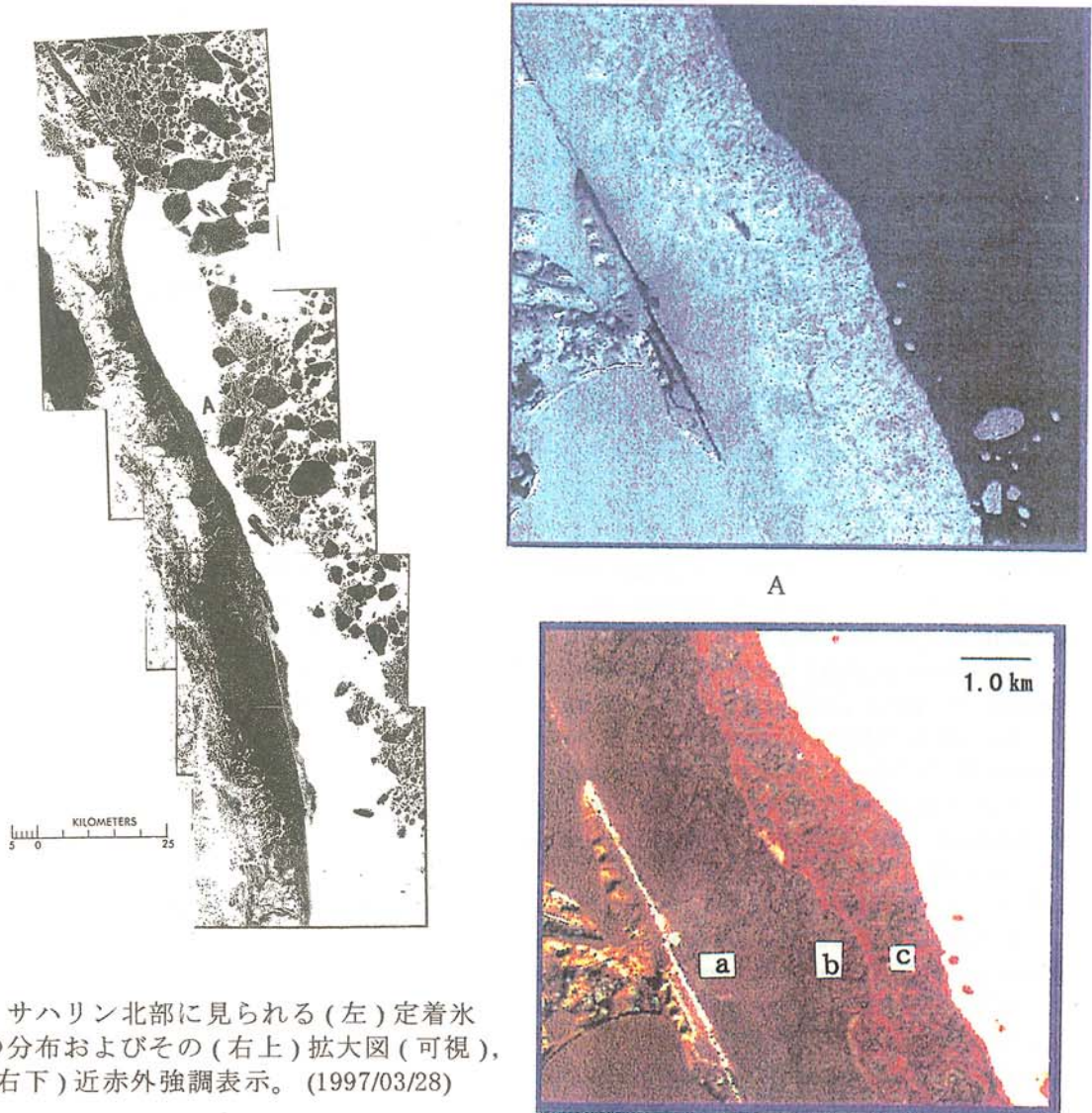


図6 サハリン北部に見られる(左)定着氷の分布およびその(右上)拡大図(可視)、(右下)近赤外強調表示。(1997/03/28)



サハリン東岸の定着氷は、冲向きの季節風により離岸して流出することも報告されている(Kalinin, 1998)。この画像のような定着氷も冲向きの風により離岸することも考えられる。その場合、氷厚の大きな海水群が漂うことになり、海水分布の解析、海水の生成期の調査の際には注意が必要である。海上の交通、建造物への影響も考えられる。

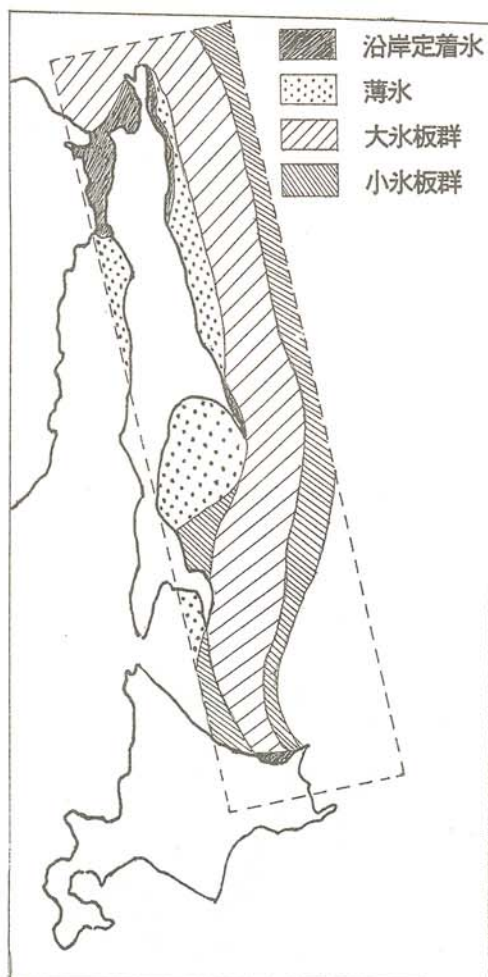
## 7. 海水分布の特徴

オホーツク海北部では、薄氷域が大きく拡大したまま維持されることが多い。これは、図2のテルペニエ岬の西でも顕著であり、海水成長過程における熱的条件(低温)と衝突や圧縮などの力学過程、さらに積雪の影響などを考える資料となる。

オホーツク海北部やサハリン東岸の湾では広大な薄氷域、サハリン東岸に沿って南下する流水ゾーンでは大氷盤群の形成などが起きており、詳細な解析や気象データとの比較により海水成長について検討できる。

図7にAVNIRによって観測された海水タイプを元にNOAA AVHRR, DMSP SSM/Iなどの他衛星の情報と組合わせて作成したサハリンから北海道にかけての海水分布の特徴をまとめる。

図7 オホーツク海サハリン～北海道周辺の海水分布の概略。



## 参考文献

- Beketsky, S. (1998): Sakhalin ice gouge measurements through Stamukha drilling, Abstracts of the 13th international symposium on Okhotsk Sea and sea ice, held at Mombetsu, 1-5 Feb. 1998, 245-250.
- Cavalieri, D. J., P. Gloersen, C. L. Parkinson, J. C. Comiso and H. J. Zwally (1997): Observed hemispheric asymmetry in global sea ice changes, Science, Vol. 278, 1104-1106.
- Enomoto, H. (1996): Observation of thin sea ice area in the Okhotsk Sea and Impacts for climatological study, Jour. of the Remote Sensing Society of Japan, Vol. 16, 100-111.
- Enomoto, H., M. Aota, K. Shirasawa, S. Takahashi, Y. Kodama, M. Ishikawa, M. Ikeda, T. Takatsuka, T. Takizawa and N. Ishikawa (1998): Recurring coastal polynya and sea ice extent in the northern part of Okhotsk Sea, Abstracts of the 13th international symposium on Okhotsk Sea and sea ice, held at Mombetsu, 1-5 Feb. 1998, 136-141.
- Kalinin, E. N. (1998): Breakoff and drift of fast ice from the north-eastern Sakhalin coast, Abstracts of the 13th international symposium on Okhotsk Sea and sea ice, held at Mombetsu, 1-5 Feb. 1998, 334-335.
- Shirasaki, K., H. Enomoto, A. Watanabe and F. Nishio (1998): Sea ice observation in the Sea of Okhotsk using ADEOS AVNIR, Abstracts of the 13th international symposium on Okhotsk Sea and sea ice, held at Mombetsu, 1-5 Feb. 1998, 154-158.
- Tateyama, K., H. Enomoto, S. Takahashi, K. Hyakutake and F. Nishio (1998): Observation of sea ice using 85GHz channel of DMSP SSM/I in Sea of Okhotsk, Abstracts of the 13th international symposium on Okhotsk Sea and sea ice, held at Mombetsu, 1-5 Feb. 1998, 148-153.



# 凍結防止剤を用いた冬期土工法の開発

## Development of Winter Earth Work Using Anti-Freeze Agent

鈴木 輝之 (北見工業大学土木開発工学科)

澤田 正剛 (北見工業大学土木開発工学科)

中地 章 (北海道日本油脂株式会社)

角谷 文彦 (北海道日本油脂株式会社)

時田 和司 (北海道日本油脂株式会社)

Teruyuki SUZUKI (Kitami Institute of Technology)

Seigou SAWADA (Kitami Institute of Technology)

Akira NAKACHI (Hokkaido NOF Corporation)

Fumihiko SUMIYA (Hokkaido NOF Corporation)

Kazushi TOKITA (Hokkaido NOF Corporation)

Key word: anti-freeze agent, frozen soil, winter earth work

### 1 研究の背景及び目的

寒冷地における冬期土工作業は、地盤凍結や積雪のため、工程上やむを得ず限られた範囲で行う場合を除けば、一般には行われていない。限られた範囲で行われたとしても、現状では特別の重機を用いて凍結地盤を掘削するため、夏期土工に比較し、作業効率が極端に低下することや、市街地では大きな騒音、振動などが発生して、住民に深刻な影響を及ぼすことが指摘されている。更に、掘削後に埋め戻しの作業を行う場合、埋め戻した凍土が春以降に融解して地盤沈下を引き起こすことなどの、土工の品質上の問題も指摘されている。

本研究は、地盤凍結期において、重機等の特別の装置を必要とせず、作業効率を損なうことなく、また多大な騒音、振動の問題もなく、埋め戻しの作業においてもその後の地盤沈下のおそれのない冬期土工法を開発しようとするものである。具体的には、凍結防止剤によって凍土を融解もしくは脆弱化して掘削・埋め戻しの作業を可能にしたり、或いは凍土が形成される前の地盤に凍結防止剤を混合しておき、凍土の形成を阻害、若しくは脆弱な凍土にしようとするものである。

今回の実験は、凍土形成前の地盤に凍結防止剤を混合し凍土形成の阻害、若しくは脆弱な凍土とする方法の基礎検討として、凍結防止剤を混合した凍土の圧縮強度の測定を行った。また、掘削凍土を用いた埋め戻し作業を想定して、凍土に凍結防止剤をふり混ぜたときの締め固め特性についても実験を行った。

## 2 実験方法

### 2.1 凍結防止剤

本実験では、冬期土工へ応用するための凍結防止剤として酢酸カリウム系液状凍結防止剤（酢酸カリウム：43.75%、グリセリン：6.25%、水：50%）を使用した。本凍結防止剤の特徴としては、①液状であるため、高い速効性を有する。②凝固点が $-75^{\circ}\text{C}$ 以下であり、高い凍結防止効果及び融氷能力を有する。③他の凍結防止剤に見られるような高濃度領域での凝固点の上昇がないため、高濃度で使用することも可能である。④塩素系化合物を含有していないため、動植物や金属、コンクリート等への薬害の影響が少ない。⑤生分解性が高く雪解け後の土中残留の心配がほとんどない等があげられる。

### 2.2 土試料

土試料としては、風化火山灰土と豊浦砂の2種を用いた。これらの物理試験の結果を表-1に示す

表-1 風化火山灰土と豊浦砂の物理特性

項 目		風化火山灰土	豊浦砂
土 粒	子 密 度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.40	2.65
粒 度	75 $\mu\text{m}$ 以下 (%)	53.4	0
	75~2000 $\mu\text{m}$ (%)	38.4	100
コンシステンシー	液 性 限 界 (%)	38.8	—
	塑 性 限 界 (%)	37.3	—
締固め特性	最 適 含 水 比 (%)	28.2	—
	最 大 乾 燥 密 度 ( $\text{t}/\text{m}^3$ )	1.35	—
凍上特性	凍 上 率 (%)	136.5	0
	凍 結 様 式	霜降状	コンクリート状

### 2.3 凍土の圧縮強度試験方法

(1) 所定の含水比に調整した上記土試料に種々の割合で凍結防止剤を混合し、5cm モールドと1.0kg ランマーを用いて3層25回で突き固めて供試体を得た。このときの含水比は風化火山灰土で10, 20, 30, 40%の4種、豊浦砂で15, 20%の2種とした。但し、供試体作成時の締固めエネルギーはJISA1210（突き固めによる土の締固め試験法）と同じになるようにして行った。

(2) この突き固めた試料を、 $-30^{\circ}\text{C}$ に維持した低温恒温器中に約3時間放置して凍結させた後、さらに実験温度（ $-5^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}$ ）に24時間放置した。

(3) 次に、実験温度に調整した低温恒温器内の一軸圧縮試験器に供試体を設置し、 $16 \times 10^{-2} \text{mm}/\text{min}$  の速度で載荷した。そして、供試体が破壊し強度が低下するか、または2mm 歪むまで載荷を行い、そのときの最大圧縮強度を求めた。

### 2.4 埋め戻しを想定した土の締め固め試験方法

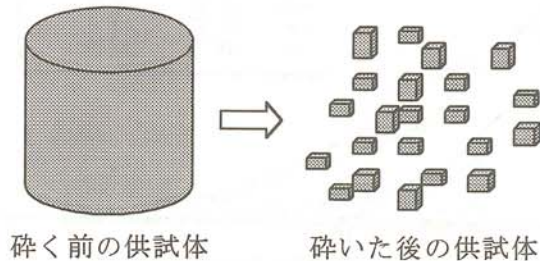
(1) 初期含水比30%に調整した前記風化火山灰土をJISA1210（突き固めによる土の締固め試験法）に準じて、10cmモールドと2.5kgランマーを用いて3層25回で突き固めた。

(2) この突き固めた試料を、 $-30^{\circ}\text{C}$ に維持した低温恒温器中に24時間放置し凍結



させた。そして一定の大きさに砕いた後、篩分し 19.1mm～9.52mm の凍土塊としてから、実験温度（ $-5^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}$ ）でさらに 24 時間放置した。

（3）この凍土塊に所定量の凍結防止剤を散布し、その直後或いは実験温度で 24 時間放置して、土の標準締固め試験を行った。



図－1 供試体概要図

### 3 実験結果と考察

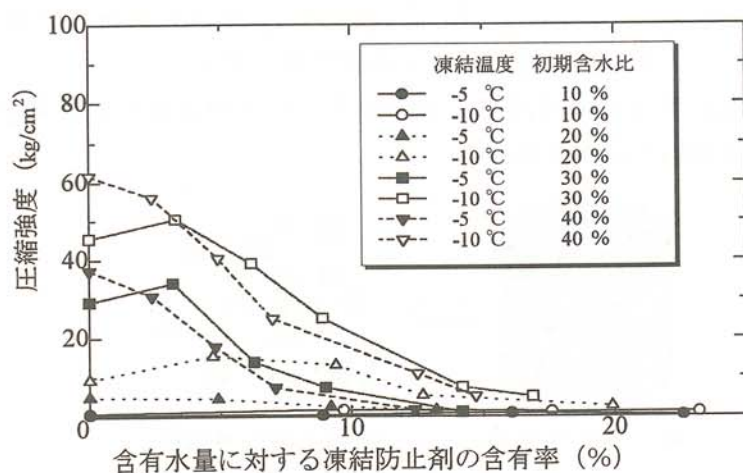
#### 3.1 凍土の圧縮強度試験

初期含水比を 10、20、30、40% に調整した風化火山灰土に凍結防止剤を所定の割合で混合し、凍結させたものの圧縮強度を図－2 に示す。また、初期含水比を 15、20% に調整した豊浦砂の圧縮強度の測定結果を図－3 に示す。尚、図中の含有水量には凍結防止剤中の水分量も含めて計算した。風化火山灰土、豊浦砂ともに凍結防止剤を混合することで著しく強度が低下している。そして、凍結防止剤の含有量の増加によって、凍土の圧縮強度の低下も大きくなることが確認できた。特に豊浦砂では凍結防止剤の添加の有無による圧縮強度の差は大きく、凍結防止剤の添加による圧縮強度の低下が顕著であった。

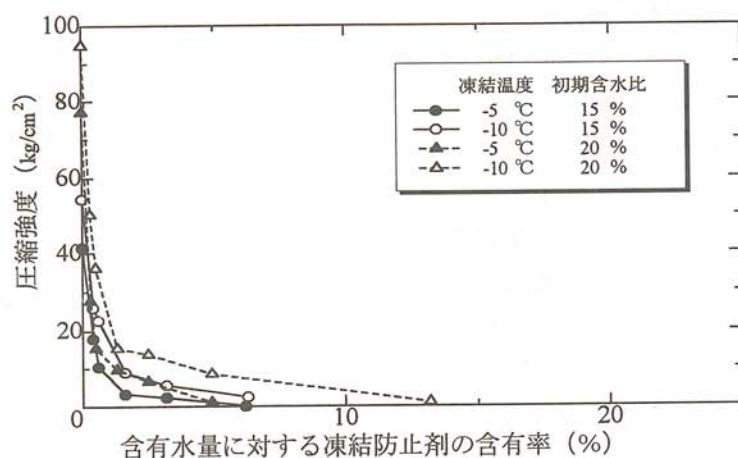
凍結防止剤を混合した凍土の強度が低下するのは凍土中の氷が凍結防止剤の影響により脆弱化し、ある量に達すると凍結しなくなる為と考えられる。豊浦砂で特に強度の低下が大きいのは、土粒子径が大きい為に、粒子同士の結合の影響が少ないこと、及び比表面積が小さく土粒子が水分に覆われる割合が大きくなる為、氷の強度が支配的となり、凍結防止剤添加が凍土の強度に直接影響した為と考えられる。逆に、風化火山灰土は土粒子径が小さい為に、土粒子同士の結合の影響があったり、水分に覆われる土粒子の割合が比較的少ないことで氷の強度が支配的でないことから、凍結防止剤添加の有無による差が豊浦砂ほど顕著にならなかったと考えられる。

次に凍結温度と含水比の影響について検討した。凍結温度が低く、初期含水比が多い凍土ほど、圧縮強度が高く、凍結防止剤の含有率の増加による圧縮強度の低下も鈍い傾向であった。図－2、図－3 では含有水量と凍結防止剤の比が同じで、含水比の異なる凍土の比較を行っている。従って、氷の強度が同一のもので、その氷の量が異なるものの比較をしていることになる。含水比の多いものほど強度が増すのは、氷に覆われる土粒子の割合が増える為と考えられることから、凍土の強度は凍土を形成する氷の強度と土粒子がその氷にどの程度覆われているかに影響されると考えられる。

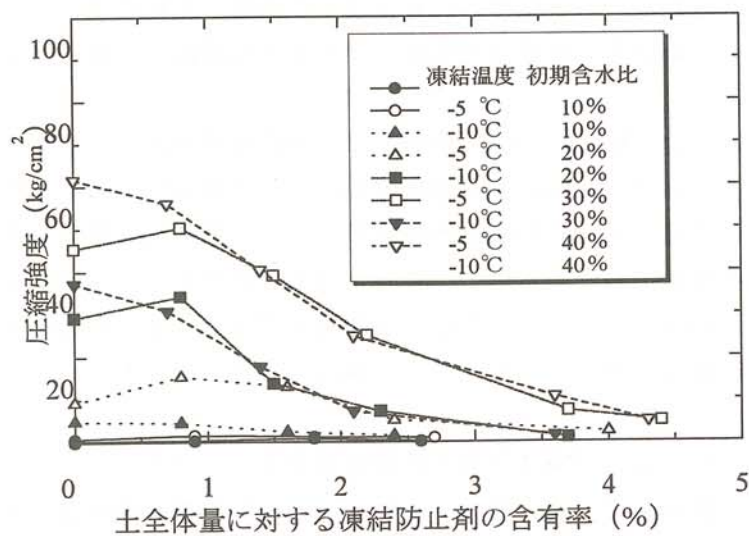
次に土全体量（土粒子量、初期含水量及び凍結防止剤の水分量の合計）に対する凍結防止剤の割合と圧縮強度の関係を図－4、図－5 に示す。この結果は実際の土工現場で凍結防止剤を使用する場合に目安になるものである。この結果からも少量の凍結防止剤で、凍土の脆弱化が可能であることが判る。



図－2 風化火山灰土の含有水量に対する凍結防止剤の割合と強度

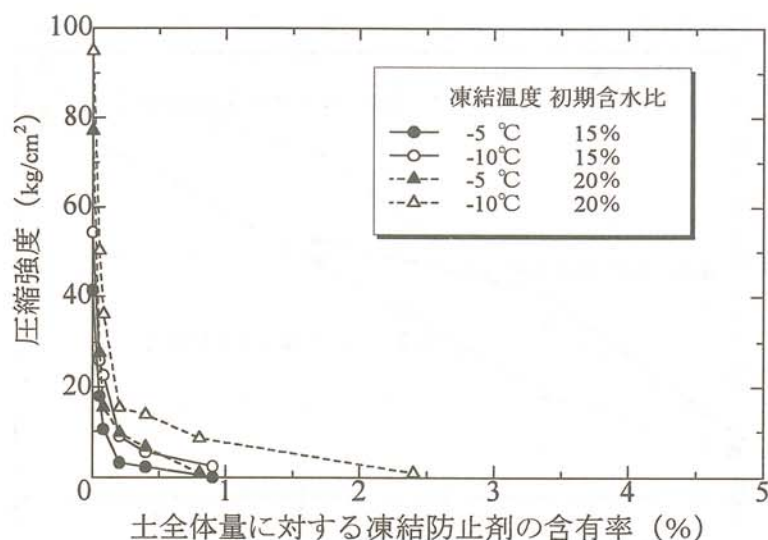


図－3 豊浦砂の含有水量に対する凍結防止剤の割合と強度



図－4 風化火山灰土の土全体量に対する凍結防止剤の割合と強度

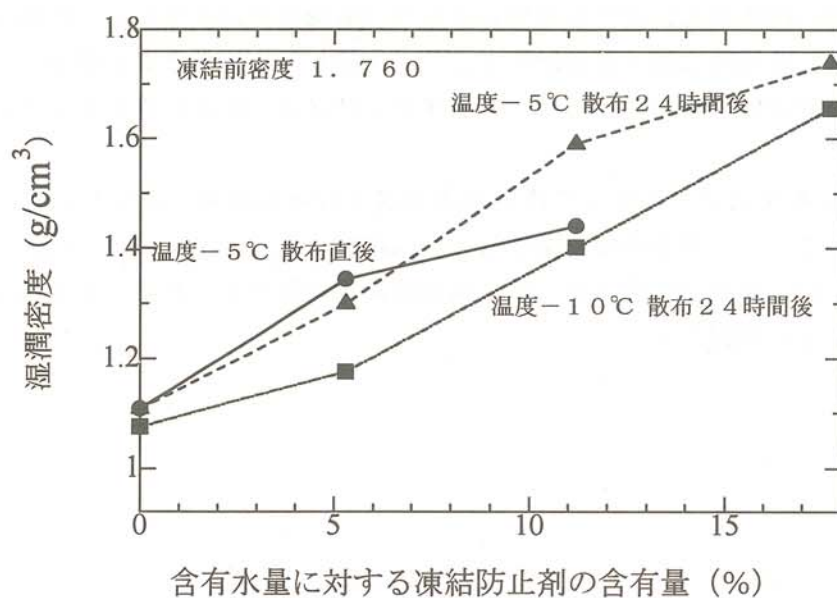




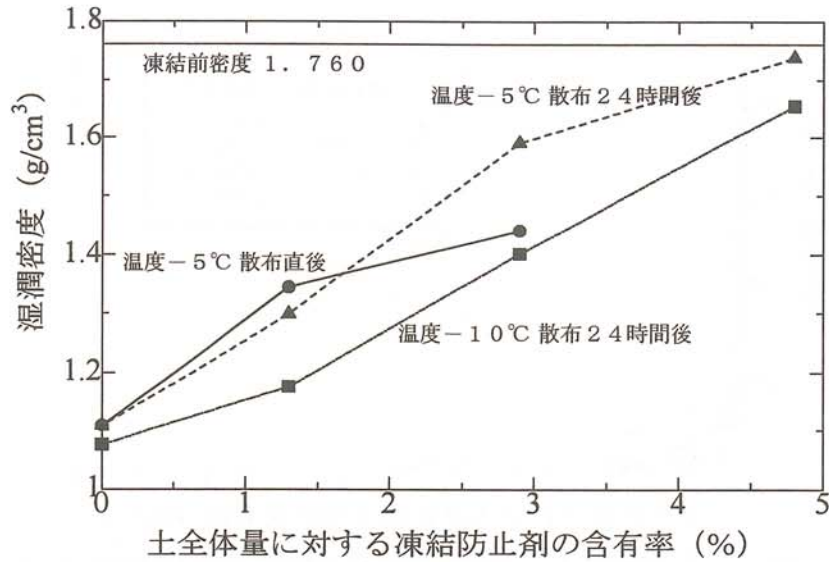
図－5 豊浦砂の土全体量に対する凍結防止剤の割合と強度

### 3. 2 埋め戻しを想定した土の締め固め試験

一定の大きさに粉砕した凍土に所定量の凍結防止剤をふり混ぜ、締め固め試験を行った結果を図－6，図－7に示す。ここで、横軸にはふり混ぜた凍結防止剤の量を、縦軸には締め固め試験後の凍土の湿潤密度を示した。凍土塊に混ぜる凍結防止剤の量を増やすことで、締め固め後の密度も増加する傾向であった。また、含有水量に対する凍結防止剤の含有率が約18%、土全体量に対する凍結防止剤量の含有率が約5%で、未凍結土とほぼ同じ密度に達している。従って、凍土でも埋め戻し前に凍結防止剤を散布することで、十分な締め固めを行うことができる。と判断できる。



図－6 凍結防止剤を混入したときの凍土の密度



図－7 凍結防止剤を散布したときの凍土の密度

#### 4 まとめ

凍結防止剤を配合した凍土の圧縮強度試験から以下のことが明らかとなった。①土に凍結防止剤を混ぜることで、凍土の圧縮強度を低下させることができた。②凍土の圧縮強度は、凍結防止剤の含有率の増加にともない、低下した。③豊浦砂は風化火山灰土と比較し、凍結防止剤の有無による強度の差が顕著であった。④凍結温度の高い凍土の方が、低い圧縮強度を示す傾向であった。⑤含水比の低い凍土の方が、低い圧縮強度を示す傾向であった。⑥凍土の強度は、凍土中の氷の強度と土粒子がその氷にどの程度覆われているかに影響されると考えられた。

また、凍土掘削後の埋め戻しに対する凍結防止剤の効果確認では以下のことが明らかとなった。①凍土塊に混ぜる凍結防止剤の量を増やすことで、締め固め後の密度も増加する傾向であった。②また、凍結防止剤の量によっては、未凍結土とほぼ同じ密度に達することが明らかとなった。

この様に凍結防止剤を用いた冬期土工法の基礎検討を行った結果、凍土形成前の地盤に凍結防止剤を混合することで、凍土形成を阻害若しくは脆弱な凍土とすることが可能であることが確認できた。さらに、凍土でも埋め戻し前に凍結防止剤を混ぜることで、十分な締め固めを行うことができることも確認できた。



# 氷掘削装置開発に関する基礎研究(第3報) —ロシア製サーマルドリルの試験結果—

Fundamental Studies on Development of Ice Coring System (Third Report)

—Experimental Results of Russian Thermal Drill—

高橋 修平 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

庄子 仁 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

榎本 浩之 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

亀田 貴雄 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

百武 欣二 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

高橋 昭好 (㈱地球工学研究所)

宮原 盛厚 (㈱地球工学研究所)

渡邊 興亜 (国立極地研究所)

Shuhei TAKAHASHI (Kitami Institute of Technology)

Hitoshi SHOJI (Kitami Institute of Technology)

Hiroyuki ENOMOTO (Kitami Institute of Technology)

Takao KAMEDA (Kitami Institute of Technology)

Kinji HYAKUTAKE (Kitami Institute of Technology)

Akiyoshi TAKAHASHI (Geo Techs Co. Ltd.)

Morihiro MIYAHARA (Geo Techs Co. Ltd.)

Okitsugu WATANABE (National Institute of Polar Research)

Key words: ice coring system, thermal drill, ice core, ice sheet, glacier, polar regions

## 1. はじめに

極地に広がる氷河や氷床には、過去の地球環境に関する情報が記録されている。そこで、これらの氷を採取し、化学・物理分析により過去の地球環境をさぐる研究が活発に行われ始めている。これまで、日本ではメカニカル方式(氷の周囲を切削し、円柱状サンプルを採取する方法)の掘削機を使用して氷サンプルを採取してきたが、例えばロシアではサーマル方式(氷の周囲を融かし、円柱状サンプルを採取する方法)を伝統的に採用し、氷サンプルを採取してきた。このサーマル方式は採取した氷が急激な温度変化を受けるので、それに起因する微少な割れ目が氷に発生する場合が多く、採取した氷サンプルの質が悪い場合が多いが、掘削機自体の構造は単純であるので、掘削の信頼性は高いといえる。特に、氷が融点近傍にある温暖氷河では氷温が高く氷が軟らかいために、メカニカル方式の掘削で必要なアンチトルク機構が効かず、氷サンプル採取が困難になる場合もあるが、サーマル方式では氷温が高いために掘削がか

えて容易となるという利点もある。今回は、ロシアの北極南極研究所 (Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg) が開発したサーマル方式の掘削機 (ETB-3 型) の掘削テスト結果を報告する。

## 2. ドリルの仕様

表 1 にドリルの仕様をまとめる。特徴は、掘削機の内部に不凍液を満たしてから掘削を開始する点である。ドリル全長は3.4m、重量60kgで一回の掘削で2.8mの氷サンプル（氷コア）を採取できる。なお、以下の値は、ドリル添付のマニュアル (Technical description and operators manual for Electrical thermal drill ETB-3, prepared by Eco-Shelf) に記載されている値を使用した。

表 1 ドリルの仕様

項 目	仕 様
ドリルの形式	不凍液貯蔵排出式液封サーマルドリル
ドリルヘッドの外形／内径	108／84mm
ドリルの全長	3.4m
ドリルの重量	60kg
一回で採れる氷コア長	2.8m
コア径	78～80mm
孔径	115mm
消費電力	2～3kW
掘削速度	3～5m/hr
最高深度	1000m
適応氷温	0～-33℃

## 3. 実験方法

図 1 のように高さ4mの三脚をマストとして直径6mmのワイヤーでドリルを吊り下げた。ワイヤーの一端はウインチに導き、ドリルの上げ下げを行なった。テスト氷は、地下の左右に移動するコロ付きの氷箱に入っており、深さ1.8mの掘削が10本程度行なうことができる。ETB-3型ドリルの電気系統はいたって簡単であり、ドリル先端のヒーターとつながっている電線が一本出ているだけである。この1本の線と本体に電源を接続すれば配線が終了する。今回は、ケーブル内部の電線を使用せずに、キャブタイヤー電線を使用して配線した（図 1 参照）。この配線のために、ドリル本体に1相の電流が流れ、それが三脚や氷を介して地面に電流が流れてしまい、漏電ブレーカーが働く事が想定された。そこで、今回は、10kVAの外部発電機を使用して実験を行なった。氷温は、-20℃であった。図 2 に実験の様子を示す。

## 4. 実験結果

### 4.1 第 1 R u n

150V から始め、徐々に電圧を上げていったところ、205V でドリル先端のヒーターが火花とともに断線した。これは、たぶんヒーター部の絶縁不良が原因であると思われる。



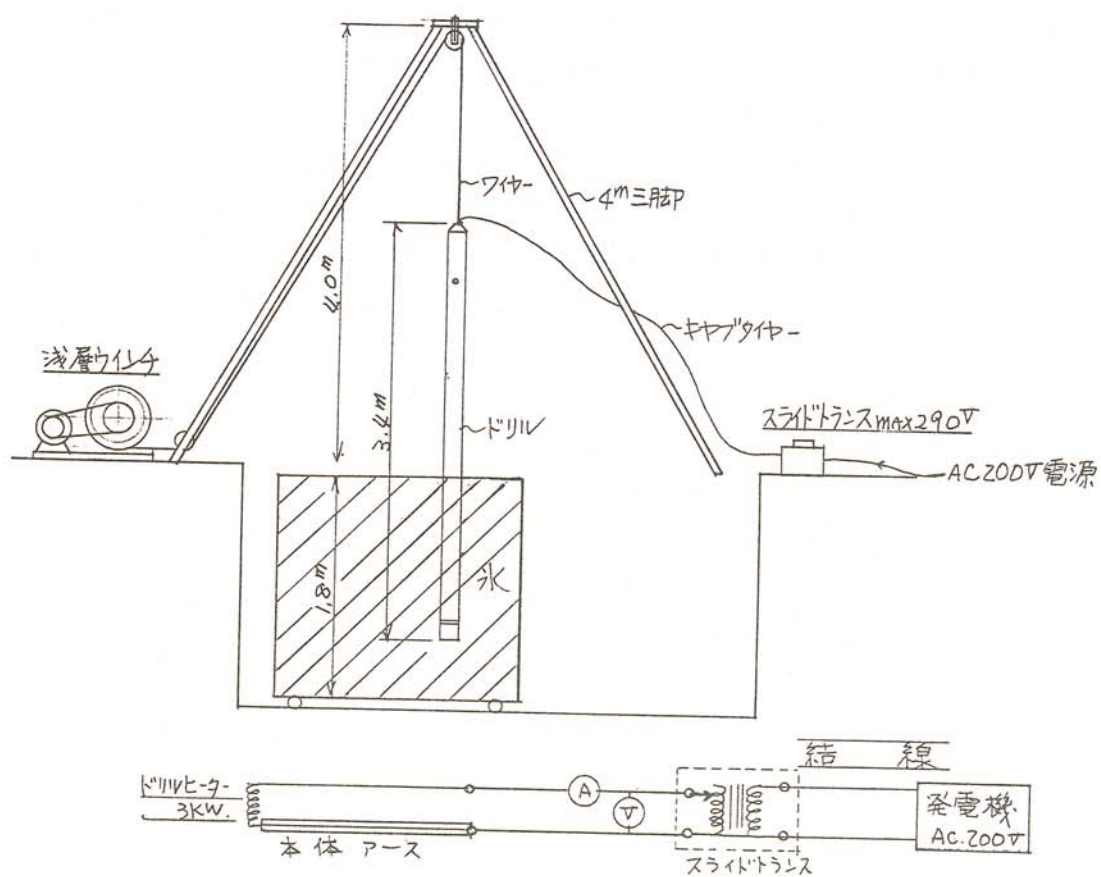


図1 実験方法



図2 実験の様子（北見工業大学地域共同研究センター第3低温室内）

#### 4.2 第2Run

ヒーターを新しいものに交換して、実験を再開した。180Vから開始し、徐々に電圧を上げていった。実験結果を表2にまとめる。掘削速度は電圧に比例して速くなる。電力が2kWになると、掘削速度が3.5m/hrを越えることがわかった。途中で掘削速度が遅くなった部分があるが、これはドリルが氷に引っかかった様な感じで、間欠的に掘削が進んでいた。また、掘削終了後にコア氷を回収するコアキャッチャー機構は、まったく問題がなかった。ただし、ドリルを掘削孔から引き抜く際にドリルが抜けなくなった。これは、掘削孔内の融け水が再凍結したためだと思われる。そこで、暖めた不凍液を掘削孔に注入したら、ドリルが引き上げられるようになった。また、掘削機内の氷サンプルは、簡単には抜けずに、抜き出し口と反対側から棒でドンドンついてようやく抜き出した。

表2 第2RUNの実験結果

掘削時間 (min)	掘削深度 (m)	電圧 (V)	電流 (A)	電力 (W)	掘削速度 (m/hr)	平均掘削速度 (m/hr)	注
0	0.00	0	0	0	0	0	
2.7	0.05	180	4.4	790	1.1	1.1	
5.1	0.10	200	4.8	960	1.2	1.6	
6.7	0.15	200	4.8	960	1.9		
7.8	0.20	205	4.9	1000	2.6	2.3	
9.3	0.25	205	4.9	1000	2.0		
10.7	0.30	220	5.3	1170	2.3	2.2	
12.2	0.35	220	5.3	1170	2.0		
13.7	0.40	240	5.3	1270	2.0	2.0	
15.8	0.45	253	6.1	1540	1.4		途中で遅くなった
18.2	0.50	253	6.1	1540	1.3		"
19.7	0.55	270	6.4	1730	2.0	2.8	
20.5	0.60	270	6.4	1730	3.6		
21.3	0.65	288	6.9	1990	3.6	3.5	
22.2	0.70	288	6.9	1990	3.6		
22.9	0.75	288	6.9	1990	4.0		
23.8	0.80	288	6.9	1990	3.4		
24.6	0.85	288	6.9	1990	3.8		
25.5	0.90	288	6.9	1990	3.5		
26.4	0.95	288	6.9	1990	3.2		
27.3	1.00	288	6.9	1990	3.5		
28.1	1.05	288	6.9	1990	3.6		
28.9	1.10	288	6.9	1990	3.7		
30.0	1.15	288	6.9	1990	2.9		
30.8	1.20	288	6.9	1990	3.4		
31.8	1.25	288	6.9	1990	3.2		
32.7	1.30	288	6.9	1990	3.2		

#### 4.3 第3Run

スピードに問題はないが、第2Runと同様に間欠的に掘削が進行した。また、今回も掘削終了後にドリルが抜けずに、加熱した不凍液を入れてようやく抜いた。実験結果を表3にまとめる。



表3 第3RUNの実験結果

掘削時間 (min)	掘削深度 (m)	電圧 (V)	電流 (A)	電力 (W)	掘削速度 (m/hr)	平均掘削速度 (m/hr)	注
0	0.00	0	0	0	0	0	
3.1	0.05	200	4.8	960	1.0	1.9	加熱不十分
4.5	0.10	200	4.8	960	2.1		
5.8	0.15	200	4.8	960	2.4		
7.2	0.20	200	4.8	960	2.0		
12.9	0.30	200	4.8	960	1.0	3.7	途中で遅くなった
14.4	0.35	200	4.8	960	2.1		
15.2	0.40	287	6.9	1980	3.8		
16.0	0.45	287	6.9	1980	3.5		
16.8	0.50	287	6.9	1980	3.8		
17.7	0.55	287	6.9	1980	3.5		
18.5	0.60	287	6.9	1980	3.7		
19.3	0.65	287	6.9	1980	3.7		
21.3	0.70	287	6.9	1980	1.5		途中で遅くなった
22.0	0.75	287	6.9	1980	4.0		
22.9	0.80	287	6.9	1980	3.4		
24.6	0.85	287	6.9	1980	1.8		
26.9	0.90	287	6.9	1980	1.3		途中で遅くなった "
27.6	0.95	287	6.9	1980	4.3		
28.5	1.00	287	6.9	1980	3.3		

## 5. まとめ

ドリルの構造がシンプルであるために、故障要因が非常に少なく優れたドリルであることがわかった。また、消費電力を2KWにすると掘削速度は3.5m/hrになった。図3に掘削速度と消費電力との関係を示す。掘削速度[Y: (m/hr)]は、消費電力[X: (kW)]と以下の関係があることがわかった。

$$Y = 1.7 X + 0.05$$

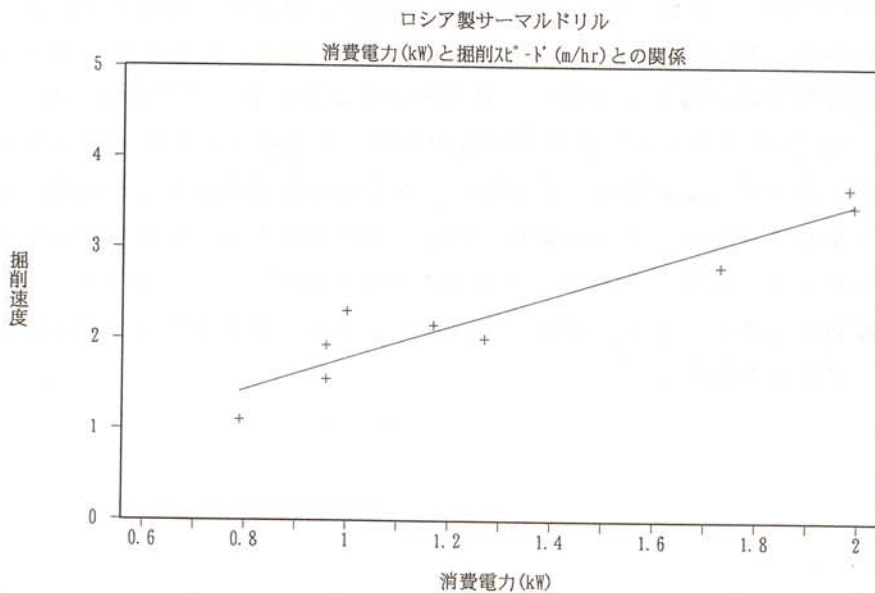


図3 使用電力と掘削速度との関係

以上のように、このロシア製ドリルは賞賛に値する点もあることがわかったが、一方ドリルが掘削中に間欠的に進行する点やコアが抜きづらい点などの問題もあることがわかった。その主な問題点と解決方法を以下にまとめる。

表 4 サーマルドリルの問題点とその解決方法

サーマルドリルの問題点	解決方法
掘削が間欠的に進行する。	掘削孔を広げるように、ドリル先端のヒーター形状を変更する。
接地圧センサーがない。	接地圧センサーをドリルに取り付ける。
コアが抜きづらい。	コア径が細くなるように、①ドリルを半吊下げ状態とし、ヒーターの接地圧を減らす、②ドリル先端のヒーター形状を変更する。
ヒーターの仕様	ヒーターの抵抗にばらつきがある。
ケーブルの接続方法	強度不足で脱落する恐れがあるので、何らかの補強が必要。
コア径が不定	掘削速度を一定にする。

今後、北極や南極の氷河上でこのサーマルドリルを使用する際には、これらの問題を解決しておく必要があると思われる。

また、このサーマルドリルを実際に使用する際には、ケーブルやウインチなども新たに製作しなければならない。ケーブルは、ドリルヒーター入り口で345V、電流8.7A、ケーブル長1000m、地上での電圧500Vとすると、許容電圧降下は、 $500-345=155\text{V}$ 、許容ケーブル抵抗は、 $155/8.7=17.8\Omega$ となり、米国ロチェスター社の製品から選ぶと、南極ドームふじ基地で深層掘削で使用したもの（ $17.3\Omega/\text{km}$ ）がほぼ適合する。この場合、片相をアーマーに流し、7本の内部ケーブル全部を動力線として使い、通信線は0本とする。この場合、ケーブル外径は、7.8mmとなる。ウインチはケーブル重量の増加のために従来型よりも出力を大きくする、ケーブル径増加のためのドラム的大型化、1分間に3～5cmの微速度繰り出し機構、などの改良が必要である。ドリルマストは、ドリル重量（60kg）や不凍液注入の手間を考えると、樋付きの回転式が望ましい。ドリルコントローラーはいたって単純で、スライダック1台と500V用昇圧トランス1台あればよい。また、細かな付随物としては、液注入用ポンプ（0.4kW程度、小型のギヤー式）が必要であらう。



# 低温始動時の始動白煙の定量的評価方法について

## An Evaluation Method of White Smoke at the Cold Start

常本 秀幸 (北見工業大学機械システム工学科)

石谷 博美 (同上)

中島 繁則 (いすゞ自動車株式会社)

Hideyuki TSUNEMOTO (Kitami Institute of Technology)

Hiroimi ISHITANI (Kitami Institute of Technology)

Shigenori NAKAJIMA (ISUZU Motor CO. LTD.)

Key words : diesel engine, white smoke, CCD camera, cold engine

### 1 まえがき

ディーゼル機関の低温始動時に発生する青・白煙は、水蒸気成分と共に目、のどを刺激し、また強い臭気を伴う有害な物質を含んでいるため低減しなければならない課題である。発生原因は、低温時の不完全燃焼による燃料の微粒子および燃焼中間生成物の排出によるものであり、現在排出を低減させるための研究が進められている。これらの低減策の効果をj知る上で煙の濃度を定量的に評価する方法が必要になる。

従来行われてきた青・白煙の計測法は、透過型スモークメータに代表される光学的評価法、パネラーにより直接観察を行う官能評価およびF I D分析計を用いたH C分析法による評価が挙げられるが、各評価法には問題点があり、信頼性の高い評価方法になっていない。

なお、現在の主流は目視評価法であり、内燃機関の計測法の中でも計測手法の確立が最も遅れている分野である。そこで本研究では、目視評価のように主観に左右されない新たな煙の定量的評価法として、第三者の目となるデジタル(C C D)カメラを利用する事を考えた。この方法は、撮影した青・白煙の写真画像をコンピューターに取り込み、画像処理ソフトを用いて処理を行い評価するものである。この方法は、従来の方法より処理方法が簡単で精度が高く、少人数・短時間での評価が行えるなど、評価効率、評価精度の大幅な向上が期待できる。

### 2 実験装置および方法

#### 2. 1 模擬青・白煙発生装置

軽油を用いた煙発生装置を図1に示す。

この装置は、実車の青・白煙発生状況を簡略に再現するもので、ガスコンロで鉄板表面を約400℃に加熱し、その上に軽油を滴下させ発生した煙をファンで排出させるものである。なお、排気煙の濃度調整は燃料コックで滴下する軽油量を増減させて行っている。また、煙の排気管出口での流速は約10 m/sとした。

この装置を用い、撮影可能な天候条件など、撮影条件と撮影可能範囲、人間の視覚的な評価との相関性などの検討を行った。

#### 2. 2 使用カメラ

本実験で用いたデジタルカメラ（オリンパス光学工業株式会社製のCAMEDIA C-410 L）は、画質（色調）に重点を置くとともに、画像処理ソフトとの対応性、コストなどを総合的に考慮して選択した。

使用カメラはフルオートフォーカス方式であるため、同一条件での撮影時の場合でも、外光などの影響により露出やピントが変動し、一定の写真が撮れないことがある。そのため、本研究においてはフォーカスロック機能の利用を試みた。

この機能を利用し、カメラの近くにファインダー全体をカバーするような一定濃度のプレートを置き、このプレートを疑似撮影体としてフォーカスロックを行い、色調、コントラスト、シャッタースピード、絞りなどを固定した後、プレートを移動し煙の撮影を行った。

また、背景の大きさを小型化するためマクロ（近接接写）機能を用いるとともに、画質向上のため、高画質モードで撮影を行った。

### 2.3 画像処理ソフト

使用した画像処理ソフトは、市販のPhotoshop4.0Jであり、このソフトを用いて撮影した写真の画像処理を行い、排気煙濃度の数値化を行った。

このソフトの場合、撮影した画像の濃淡は、青煙・白煙に関わらず輝度レベル値（階調値）で表示され、黒を0、白を255とした256階調となり、全反射するような白色物体の場合輝度は高くなるが、光を吸収する黒い物体では反射率が低下し輝度は低くなる。

## 3 実験結果および考察

### 3.1 背景色

青・白煙を撮影するためには背景色を選択する必要があるが、黒色の背景の場合に青・白煙を最も明瞭に識別できる事がわかっている。さらに、数種類の黒色生地を背景に用いて煙の撮影を行った。

図2は、ベルベット、暗幕、黒色カーペットを背景に用いて、同一濃度の煙を撮影した場合の結果である。図中には、背景の輝度レベル値に対する煙の輝度レベル値の比率および目視評価値とを示している。なお、目視評価は高濃度煙を1、無煙時を10とした10段階評価で表示している。図から明らかなように、ベルベットに比べ黒色カーペットと暗幕では、煙と背景との濃度の差が少ない。これは、黒色カーペットおよび暗幕の場合は、背景自体が入射してきた外光などの光により白く反射するためである。一方、ベルベットを用いた場合、入射してきた光の殆どを吸収するため、青煙との濃淡の差が大きくなっている。また、目視評価において

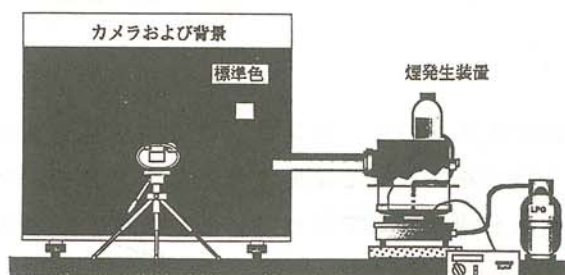


図1 模擬煙発生装置

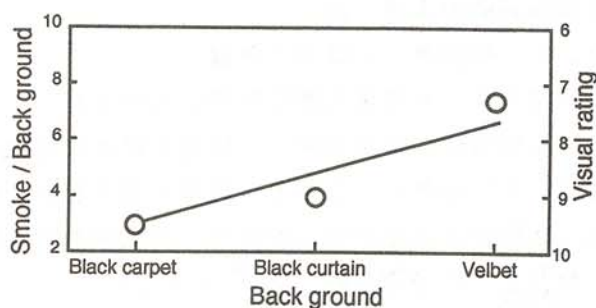


図2 煙濃度の背景色による影響



も黒色カーペットと暗幕では、低濃度としてしか認められなかった煙でも、ベルベットでは高い濃度の煙として識別可能であった。

以上の実験結果から、本実験では黒色のベルベットを背景に決定した。

### 3.2 外光条件

写真撮影時には、太陽光や建物、地面からの照り返し光など様々な外光が作用し、画像に影響を与えることから外光条件と撮影場所を変化させ、それぞれの場合について煙の撮影を行った。

図3は、暗室におけるカメラの強制発光（フラッシュ）と屋外における直射日光、日陰および太陽光の向きと平行に煙を発生させて煙のみに直射日光を当てた場合（以後、半直射とする）について、背景の輝度レベル値に対する煙の輝度レベル値の比率および目視評価値とを示している。図に示すように、煙と背景色の濃淡差は半直射で撮影を行った場合が最も大きくなる。したがって、この半直射が煙の濃淡を識別する上で最適ではあるが、実車での撮影においては、事前に試験車両を移動しておく必要があること、また、晴天で無ければならないなど、撮影条件に制限があり現実的でない。このため本実験では、煙の濃淡の識別ができ、曇天および晴天でも撮影が可能な日陰条件下で撮影を行うことにした。

### 3.3 カメラ設定の条件

3.3.1 焦点固定 本研究で使用したデジタルカメラは、焦点設定がフルオートになっているため、低濃度の煙の場合には背景に、また高濃度の煙の場合には煙に焦点対象が移動し、一定の輝度レベル変化を示すような写真が得られない。そこで、煙撮影時には別の被写体で焦点固定を行うことを考えた。まず白色および黒色の標準濃度プレートを用いて、これを被写体として焦点固定を行った後に煙を撮影した。その結果、白色のプレートを用いて撮影した画像は全体的に暗い画像となり、また黒色のプレートを用いて撮影した画像は全体的に明るい画像となる。

以上の検討から、焦点固定のためのプレートは、グレーとし、撮影画像が目視に近い明るさを確保できるようにした。色々なグレーの生地を調べたが、ベルベットに近い素材で、光が反射しにくいベツチンを用いて撮影を行った結果、撮影した画像の色調変化が少ないことから、このベツチンを焦点固定プレートとして用いることにした。

次に煙の撮影に際して、標準濃度プレートで焦点固定を行う時のカメラとプレートの距離について検討を行った。

図4は、背景とカメラ間の距離を60cmにして、プレートの距離を順次変化させて焦点固

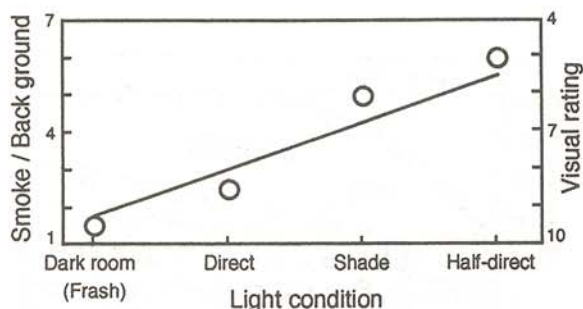


図3 煙濃度の外光条件による影響

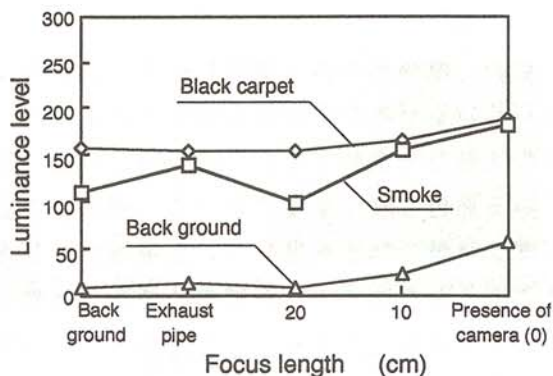


図4 焦点固定距離と輝度レベル値の関係

定を行い、煙を撮影したときの画像の輝度レベル値の変化について示したものである。

図中、煙の輝度レベル値にばらつきが見られるが、背景と標準色の各輝度レベル値に着目してみると、カメラから20cm以上離れた位置で焦点固定を行った場合には、各輝度レベル値が一定になっていることがわかる。以上のことから、焦点固定プレートをカメラから20cm以上離して撮影を行えば、撮影画像には支障がないと考えている。

**3.3.2 標準色** 日陰下で同一濃度の煙を撮影した場合でも、撮影場所や日時などが異なる場合、コンピュータ上での画像の濃度に違いが見られた。これは、主として外光条件の変化により、焦点固定を行ってもプレートやCCDカメラに入射する光量に差が生じるための影響が大きいと思われる。このように、撮影時間に対して外光量が変化した場合の濃度誤差を補正するためには、撮影条件が異なった場合でも煙の変化割合が推定できる標準色が必要である。そこで、青色シートあるいはライト光を標準色とする実験などを行ったが、焦点固定用プレートと同様なベッチンを用いたところ、煙との相関を取ることができたため、これを標準色として背景に用いることにした。

また、煙の高濃度評価の最大値である白色を標準色の内側に設けているが、これも外光による反射の影響が少ないエクセーナという生地を利用している。

### 3.4 排気煙濃度の数値化

**3.4.1 照度変化の影響** 外光の下で撮影を行う場合、太陽の移動とともに変化する光量の画像への影響を調べる必要がある。そこで、光の量を照度計を用いて測定しながら実験を行うことにした。

図5は、煙の撮影を日中から日没に至るまで行った場合の、照度に対する青・白煙の輝度レベル値の変化および背景、白色あるいは標準色などの輝度変化について示したものである。

図から明らかなように、照度が減少するに伴い各輝度レベル値も減少し、日没時で全ての輝度レベル値が0に収束した。

**3.4.2 輝度レベルの補正** 同一濃度の煙を撮影した場合でも、外光条件が変わると輝度レベル値は変化するが、煙の評価値は同じにならなければならない。そこで、図5の結果を用いて、照度の減少に伴う標準色の輝度変化を利用した煙濃度の補正方法を検討した。

補正の方法であるが、まず、撮影した画像より、標準色の飽和輝度値に対する変化比率を求める。次に測定した煙の輝度レベル値から背景補正を行った補正測定輝度を求める。この値を標準色の変化比率で割ると、真の輝度値が求まると考えた。

真の煙輝度 = 補正測定輝度 / 煙の変化比率 (1)

なお、標準色の真の輝度レベルは、背景に利用しているパネルの設置方向などによって、日陰の状態でも変動する。この場合、背景に使っている黒色も変化することから、標準色の測定輝度は背景の輝度を差し引いた値で計算した。このような方法で求めた標準色の飽和輝度レベルは175程度であった。したがって、標準色の変化比率の計算は、輝度レベル175に対し

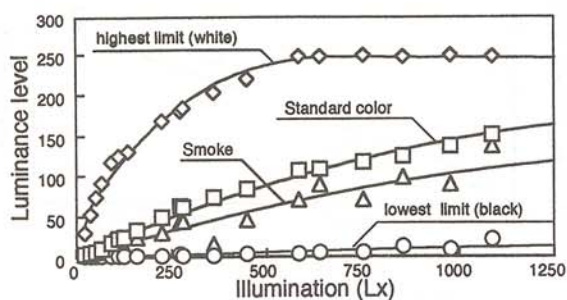


図5 照度に対する各色の輝度変化



て求めることとした。また、測定した煙の輝度は背景の輝度の影響を受けるが、背景を光源と仮定した透過光強度を考えると、Beer-Lambertの式にしたがって、煙の濃度が高い場合に透過光が減少するような補正が妥当と考えており、次の式より補正値を求めている。

$$\text{背景補正値} = \text{背景の測定値} \exp(-\text{煙測定輝度}/128) \quad (2)$$

補正測定輝度は、測定輝度から背景補正値を引いた値で、(1)式はこの補正測定輝度を用いて計算する。このような補正を行った場合の、照度変化に対する煙の濃度指示値は図6のようになっている。この結果より、照度が250Lux以上であれば、照度に変化しても一定の濃度が得られると言える。

**3.4.3 輝度の数値化** 本研究で用いた画像処理ソフトは、撮影した画像の濃淡を、青煙・白煙に関わらず、黒を0、白を255とした256階調の輝度レベル値で表現する。この256階調による評価は画像処理上での評価であるため、メーカーなどで行われている煙の濃淡の評価値に読み替える必要がある。

そこで、背景が見えないような白煙が発生した場合の評価を1、煙が確認できないときの評価値を10とした10段階とし、補正法により推定した真の輝度値を比例計算より10段階評価値に換算した。これによって、輝度レベルが0の時の評価値が10、輝度レベルが255の時の評価値は1となる。

なお、測定した煙には濃度分布があり、どの濃度範囲で評価を行うかが問題となる。

図7は、撮影した煙をポスタリゼーション機能で階調数を10段階に制限する処理を行ったものである。ポスタリゼーション処理後の場合、各輝度レベル値に対するピクセル数が、ポスタリゼーションで指定した段階数に従い断続的に現れる。そこで、代表煙輝度レベル値の選定対象として、最大値のみを求めるのではなく、目視法との相関を調べることも含めて、煙の輝度レベル値の最大値から上位5点および10点での評価も試行した。その結果、煙輝度レベル値の最高値を用いた評価値以外は、目視評価に比べ評価値誤差が大きく、目視法の評価より煙を薄く評価する傾向がある。これは、目視での判断が高濃度領域に影響されるのに対して、写真撮影法は、低濃度域の煙を含めて平均化されるためである。したがって、排気煙の代表輝度レベル値は、ポスタリゼーション処理後のヒストグラムにおける煙の最高輝度レベル値とした。

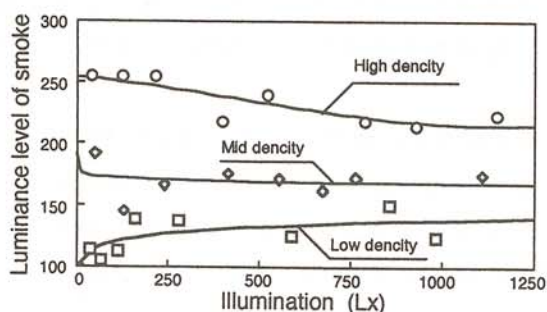


図6 補正後の煙濃度指示値

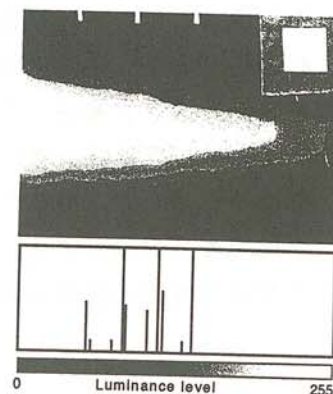


図7 ポスタリゼーション処理後のヒストグラム

3. 4. 4 目視法と新方式の相関 本研究で行った写真撮影法と、現評価法である目視法との相関関係を検討し、写真撮影法が新たな青・白煙の定量的評価方法として用いることが可能かどうかを考察する必要がある。この場合、目視評価の濃度値には真の値が明確でないが、両評価値に一定の関係がある場合、評価法として利用可能である。そこで、様々な濃度の青・白煙を目視法と同時に写真撮影法で評価し、両評価値の関係を調べた。

図8は、軽油を用いた煙発生装置で高濃度から低濃度までの煙を目視評価と同時に写真撮影し、画像処理を行った場合での評価値との関係を示したものである。

図に示すように、評価値4から8の範囲において両評価値の差は大きい。この差は、目視法において最も評価判断が難しい範囲であるため、パネラー間での煙評価の判断基準の違いによる差が生じたものと思われる。しかし、目視法の誤差を考慮すると写真撮影法との間に直線性が見受けられる。したがって、写真撮影法は、目視法と相関性を十分に持ち、新たな青・白煙評価方法としての可能性があると考えられる。

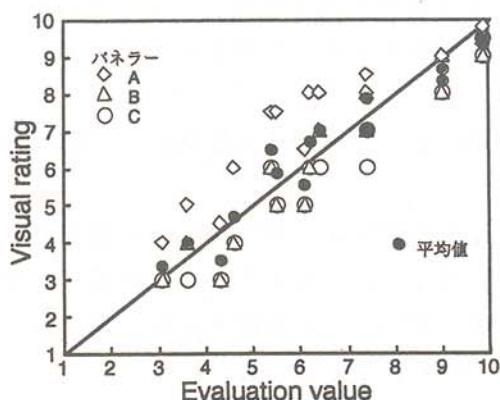


図8 目視法と本方式との相関

#### 4 まとめ

CCDカメラを用いて青・白煙の評価を行う場合、次のような条件のもとで撮影を行い、画像処理ソフトを利用すれば、官能評価と同様な評価が可能となることがわかった。

- 1) 煙の識別が明瞭にできるよう、画面いっぱいに入る黒色ベルベットを張った垂直板を背景に用い、安定した映像を得るためにカメラを含め日陰を作って撮影する。
- 2) 標準色（グレーのベッチン）を決め、これを疑似物体としたフォーカスロックを行い、その直後に煙を撮影する。なお、この標準色は背景板にも張り、照度の変化による煙の輝度変化の補正に用いる。
- 3) 撮影した画像は、市販の画像処理ソフト（フォトショップ）のポスタリーゼーション機能を使って、煙の濃度を10段階の分布図に分割し、最高値を読みとる。同時に、背景および標準色の輝度値を読み取り、補正に用いる。
- 4) エクセルなどの計算機能を使い、煙、背景および標準色の輝度から10点法に数値化する。この場合、輝度レベル0が10点で輝度レベル256が1点になるように比例計算を行う。ただし、同一の煙でも外光条件によって測定輝度レベル値が異なるので、標準色の飽和輝度に対する変化割合および背景の輝度を利用して、煙の真の輝度を先に示した式によって推定する。



# ホローカソード型プラズマジェットの実用

## Development and Application of Hollow Cathode Type Plasma Jet Torch

二俣 正美 (北見工業大学機械システム工学科)

倉本 宏 (株式会社倉本鉄工所)

Masami FUTAMATA (Kitami Institute of Technology)

Hiroshi KURAMOTO (Kuramoto Iron Works Co.,Ltd.)

**Key words:** New plasma spraying torch, Axial feeding solution materials, Hollow cathode, Movable cathode, Thermal spray coatings

### 1. 緒言

プラズマジェット熱源は、非移行型で高温・高速が容易に得られることから、高融点材料の溶射をはじめ、溶解、ガス分解炉などへの応用が進められている。しかし、プラズマジェットを発生させる従来型トーチでは、例えば溶射においてはトーチノズル（陽極）端近傍から粉末を供給するのが一般的であり、この方法では最も高温なジェットの中心部へ粉末を供給できないという難点がある。このためジェットの温度を上げる必要性から大電流の供給が余儀なくされる結果、陽極及び陰極の消耗が激しくなる。溶射材料をジェットの中心部に供給する方法としては、ホローカソード（中空陰極）<sup>1)</sup>や3電極型トーチ<sup>2)</sup>が提案されているものの実用化には至っていない。本研究では、軸方向に移動可能なホローカソードを採用した新しいトーチを開発し、液相状態の材料を用いることを特徴とする、液相溶射と呼ぶ薄膜創製法について検討している。

### 2. 実験装置

実験装置のブロックダイアグラムを図1に示す。本装置は新規に開発したトーチとガス、電気、材料系統から構成されている。作動ガス（30l/min一定）、キャリアガス（4l/min）にはアルゴンを用い、トランジスタ式直流電源による直流方式でプラズマ化している。金属イオンを含む溶液は精密定量ポンプによってトーチ後部から最高温度部のジェット中心へホローカ

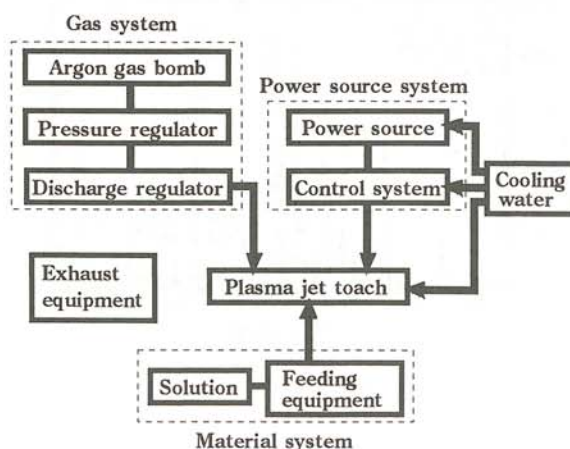


図1 実験装置の概略

ソード（タングステン製）を介して供給される。図2にトーチの全体構造、図3にホローカソードの構造を示す。ホローカソードは軸方向へ移動が可能で、ノズル（陽極で銅製）間距離の調整によって放電電圧を可変できる特徴がある。

液相材料には、金属塩化合物として硝酸鉄(III)9水和物を純水に飽和状態まで溶かした硝酸鉄水溶液、有機金属化合物として2種類のチタンテトライソプロポキシド( $\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]$ )溶液を用いた。溶射条件は、電流100~150 A、溶液供給量1.50~2.17 ml/min、トーチ移動速度172 mm/min、溶射距離100 mmである。アルミナまたはすりガラス基板上に作製された薄膜についてはX線回折分析、SEM観察、厚さ測定を行った。

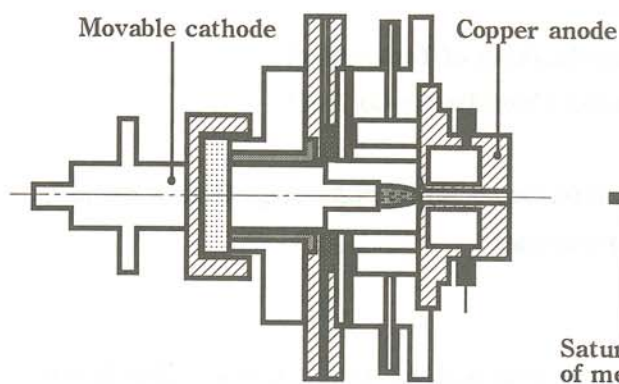


図2 プラズマジェットトーチの概略

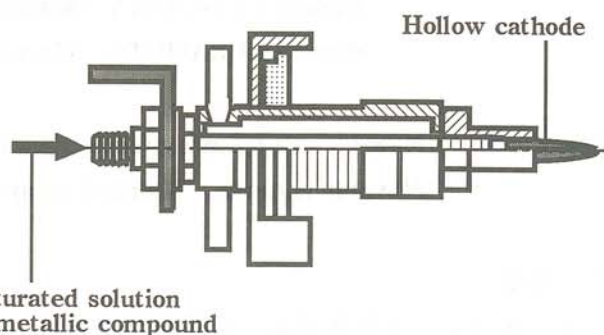
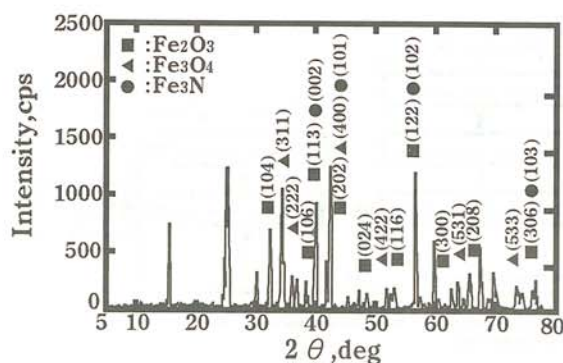


図3 ホローカソードの概略

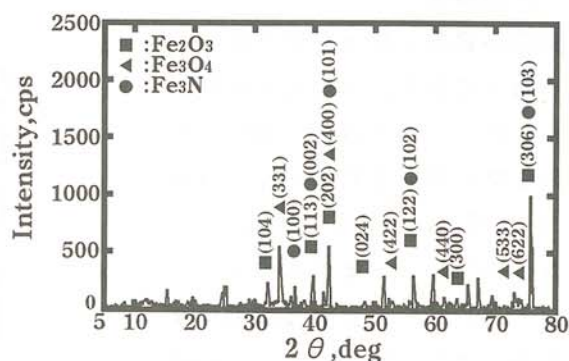
### 3. 実験結果

#### 3. 1 硝酸鉄水溶液の場合

図4、図5に、硝酸鉄水溶液で得られた薄膜のX線回折分析結果を示す。いずれの電流値、溶液供給条件においても溶媒は完全に蒸発、除去され、溶質中の鉄イオンが雰囲気中のガスと結合し、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_3\text{N}$ を主成分とする薄膜が形成されている。溶液をトーチノズル先端部から供給する従来方式では、溶液がそのままの状態では基板に付着することがあり、この場合



(a) 溶液供給量 : 1.5 ml/min



(b) 溶液供給量 : 2.0 ml/min

図4 X線回折分析結果（電流値：100 A）



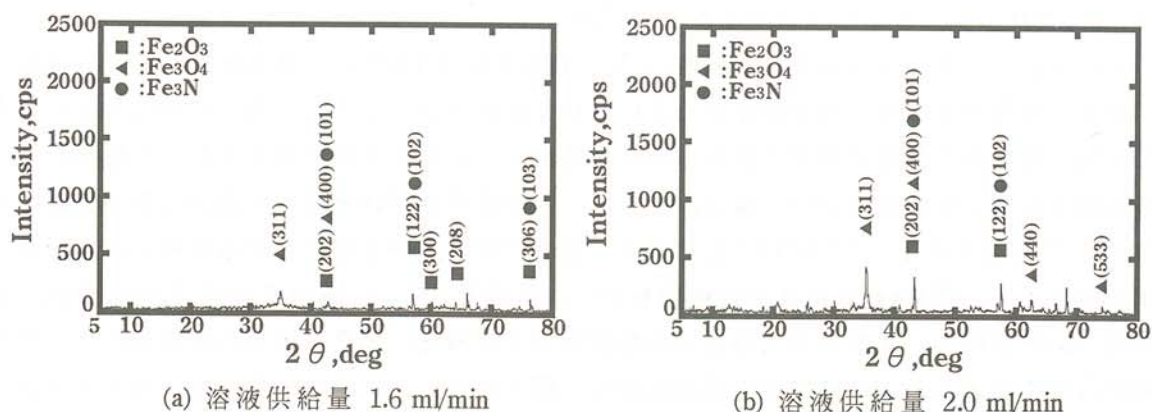


図5 X線回折分析結果（電流値：150A）

には膜は形成されない。したがってホローカソードの採用は、液相溶射法の開発にとって極めて効果的といえる。図4、図5に見られる溶液供給量及び電流値の違いによる回折線の相対強度の変化は、ピークの数、位置に大きな変化が認められないことから、皮膜厚さと結晶構造の違いに原因があると考えられる。

図6は、電流値 100A(a)、150A(b)で得られた薄膜の表面SEM写真である。表面状態はいずれも類似したものになっている。

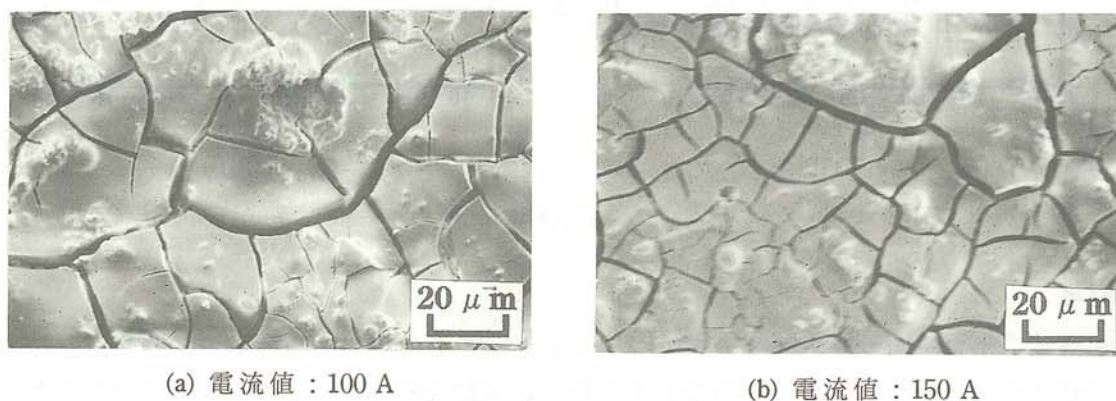


図6 表面SEM写真

図7は、電流値 100 A(a)、150A(b)、溶液供給量 1.67~2.00ml/min、トーチ移動速度 172 mm/minの条件ですりガラス基板上に作製した薄膜について、JIS H 8401に規定の触針走査式膜厚測定法によって測定した中心線間膜厚さの結果である。粉末やワイヤを用いる従来の溶射法では不可能であったミクロンオーダーの薄膜が形成されている。

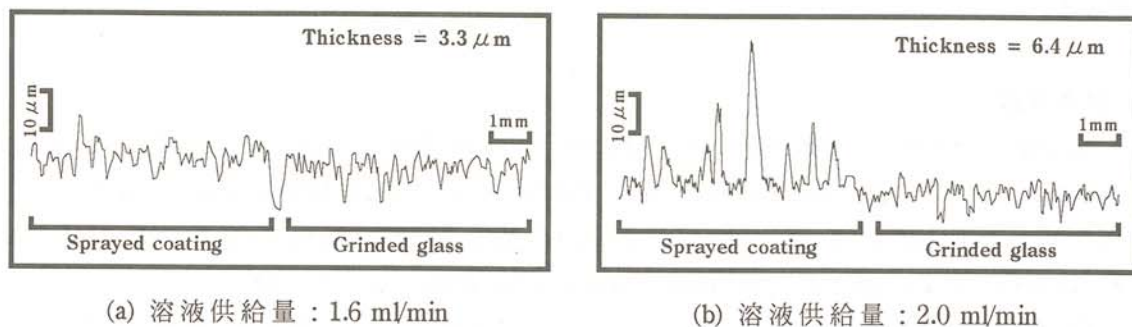


図7 皮膜厚さの測定結果

### 3. 2 チタンテトライソプロポキシドの場合

チタンテトライソプロポキシド溶液(以下、TTIPと称す)を用いた薄膜作製では、溶媒の分離・除去は容易であるが、密着強度が小さいという難点があった<sup>3)</sup>。一方、TTIPは水または湿った空気に触れると急速に加水分解し、同時に縮合して巨大分子に成長するという特徴があり、液相溶射に適しているとはいえない。そこで、本研究ではTTIPと純水を混合し加水分解したコロイド溶液(以下、TTIP(A)と称す)、及びTTIPと酢酸を混合し加水分解した水溶性ゾル状溶液(以下、TTIP(B)と称す)の2種類を用い、電流値 150 A、溶液供給量 2.00ml/min、溶射時間 10sの条件で、すりガラス基板への薄膜作製を試みた。図8に得られた薄膜についてのX線回折分析結果を示す。薄膜の主成分は図から明らかなように酸化チタンで、その表面はかなり平滑である。また定性分析の結果によれば、TTIP(A)ではブルーカイト型、TTIP(B)ではアナタース型の酸化チタンとなっている。なお、基板との密着強度についてはTTIPの場合よりは大きいものの、機械的力を受ける部分での実用には不十分と思われる。

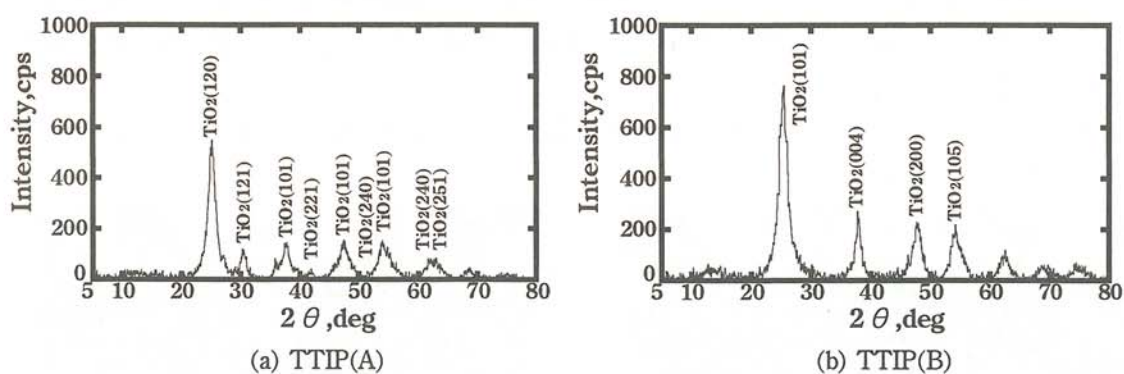


図8 X線回折分析結果

### 4. 結言

本研究は、ホローカソード型プラズマジェットトーチの応用の一環として、液相溶射法と呼ぶ液相状態の材料を用いることを特徴とする新しい薄膜作製について検討したものである。ここでは硝酸鉄水溶液とTTIP溶液を対象に、薄膜の生成と溶射条件の関係を調べ、従来の溶射法では不可能であったミクロンオーダーの酸化鉄及び酸化チタンの薄膜が容易に得られることを明らかにした。本報告では割愛したが、プラズマ雰囲気を変えることによって例えば窒化鉄や窒化チタンの薄膜創製が期待できることから、雰囲気制御を目的とした減圧チャンバーを設計、試作した。雰囲気制御した条件での薄膜作製については平成10年度の共同研究として計画予定である。

### 5. 参考文献

- 1) A. Notomi and Y. Takeda: Hollow Cathode Plasma Spray Stabilized by an Applied Magnetic Field, ITSC'95 International Conference, Vol.1(1995), pp.321-324.
- 2) H. Maruo, Y. Hirata et al.: Development of New Plasma Spraying Torch with Three Electrode, ATTAC'88 International Symposium(1988), pp.153-160.
- 3) 二俣、倉本: 多目的型プラズマジェットトーチの開発、北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書、第5号(1997)、pp.76-79.



# 難着雪氷機能を有する皮膜の開発

## Application of Thermal Spray Coatings to Development of Anti-icing Materials

二俣 正美 (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)

鈴木 実 (北辰土建株式会社)

Masami Futamata (Kitami Insutitute of Technology)

Kimio Nakanishi (Kitami Insutitute of Technology)

Minoru Suzuki (Hokushin Civil Eng. and Construction Co.,Ltd.)

**Key words:** Anchi-icing Material, Thermal Spray Coating, Fluorocarbon, Surface Modification, Compoosite Material

### 1. はじめに

積雪・寒冷地域における船舶・車輛・航空機・交通管制施設・電気通信施設・水理施設などへの雪氷の付着は、本来の機能を低下させるばかりでなく重大事故を誘発する恐れがある。雪氷の付着防止対策としては<sup>1)</sup>、(1)機械的除去、(2)熱的融解、(3)氷点降下剤散布、(4)着雪氷防止塗料の使用などがあるが、(1)は作業性、(2)は価格、(3)は環境汚染、(4)は耐久性に問題がある。本研究は、耐久性と防食性に優れ、大面積を安価に処理可能な表面改質処理技術の開発を目的に、超撥水性を有するフッ素化カーボン（以下、フッ化ビッチという）と溶射皮膜との複合化について検討している。

### 2. 実験装置及び方法

フッ化ビッチは、PTFE（テフロン）に代表されるフッ素系ポリマーの水に対する接触角 $\theta = 109^\circ$ に比べ $145^\circ$ と大きい。このためフッ化ビッチの担持・固定は困難で、無電解めっき皮膜との複合化が一部実用されているものの、大面積を安価に処理することはできない。本研究は、フッ化ビッチを固定する方法として溶射皮膜に存在する気孔内に含浸・固定する複合化を検討したもので、付着性を接触角、耐候性、氷の付着強度などから評価した。

試験片は、工業用純アルミニウム基板（寸法：150×75×2mm）に防錆防食性に優れた99.7%アルミニウム（Al）、亜鉛-5%アルミニウム（Zn-5%Al）を溶線式ガスフレーム溶射法で厚さ約300 $\mu$ mに被覆し超音波洗浄後、フッ素系、シリコン系、フェノール系樹脂、及びこれら樹脂にフッ化ビッチ粉末を重量比5:1~5:5で添加、塗布したものが主である。接触角は体積約1.8mm<sup>3</sup>の水滴を対象に接触角計（協和界面化学、CA-D型）で7点測定し、最大と最小を除いた5点の加算平均値で評価した。

### 3. 実験結果及び考察

### 3.1 接触角の測定

図1に、各試験片について測定した接触角を示す。接触角は、アルミニウム基板 ( $Ra=0.35\mu m$ ) の約 $40^\circ$  に対し溶射皮膜を被覆したものでは約 $80^\circ$  と大きくなっている。また皮膜に樹脂を塗布することによって $120^\circ$  以上とさらに大きくなり、特にシリコン系樹脂にフッ化ビッチを添加したものでは $140^\circ$  程度の大きな値を示している。

### 3.2 接触角と促進暴露試験時間の関係

樹脂材料は耐候性に劣るものが多い。そこで各試験片について紫外線蛍光灯式耐候性試験機（スガ試験機、DPWL-5R型）による促進暴露試験を実施し、接触角と暴露時間の関係を調べた。試験は4時間の紫外線照射と暗黒湿潤とを1サイクルとし、126サイクル（1008時間）までとした。図2(a)はアルミニウム基板に樹脂のみを塗布したもの、(b)は樹脂にフッ化ビッチを添加したものについての結果である。(a)では時間経過に伴う低下が著しく、(b)では $100^\circ$  程度を維持しているものもあるが、添加量が多くなると塗膜が剥離したり（5（樹脂）：3（フッ化

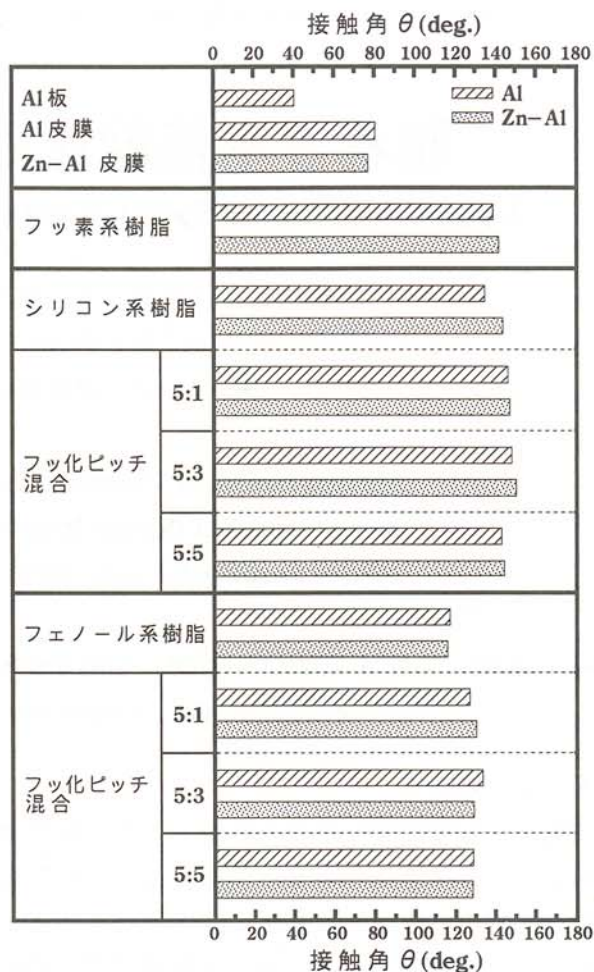


図1 接触角の測定結果

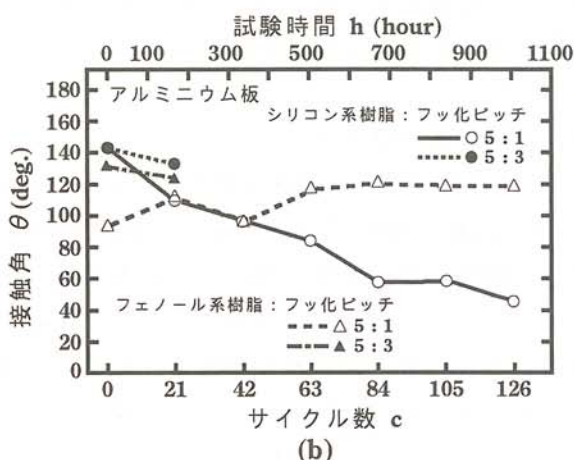
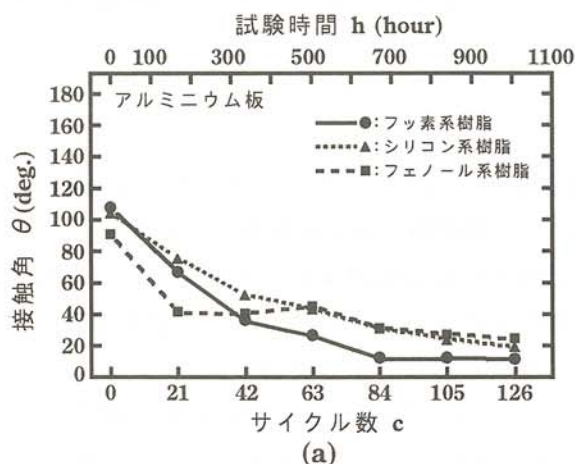


図2 促進暴露時間と接触角の関係（基材に直接塗布）

ビッチ) では21サイクルで剥離)、暴露試験前の乾燥処理の段階で剥離した（5：5の場合）。このように基材への直接塗布ではフッ化ビッチの保持が困難といえる。

図3は、促進暴露試験に伴う接触角の変化をアルミニウム基材、溶射皮膜(a)と溶射皮膜を介し所定の処理をした試験片(b)～(d)について対比している。これらの結果から接触角について次のことが分かる。



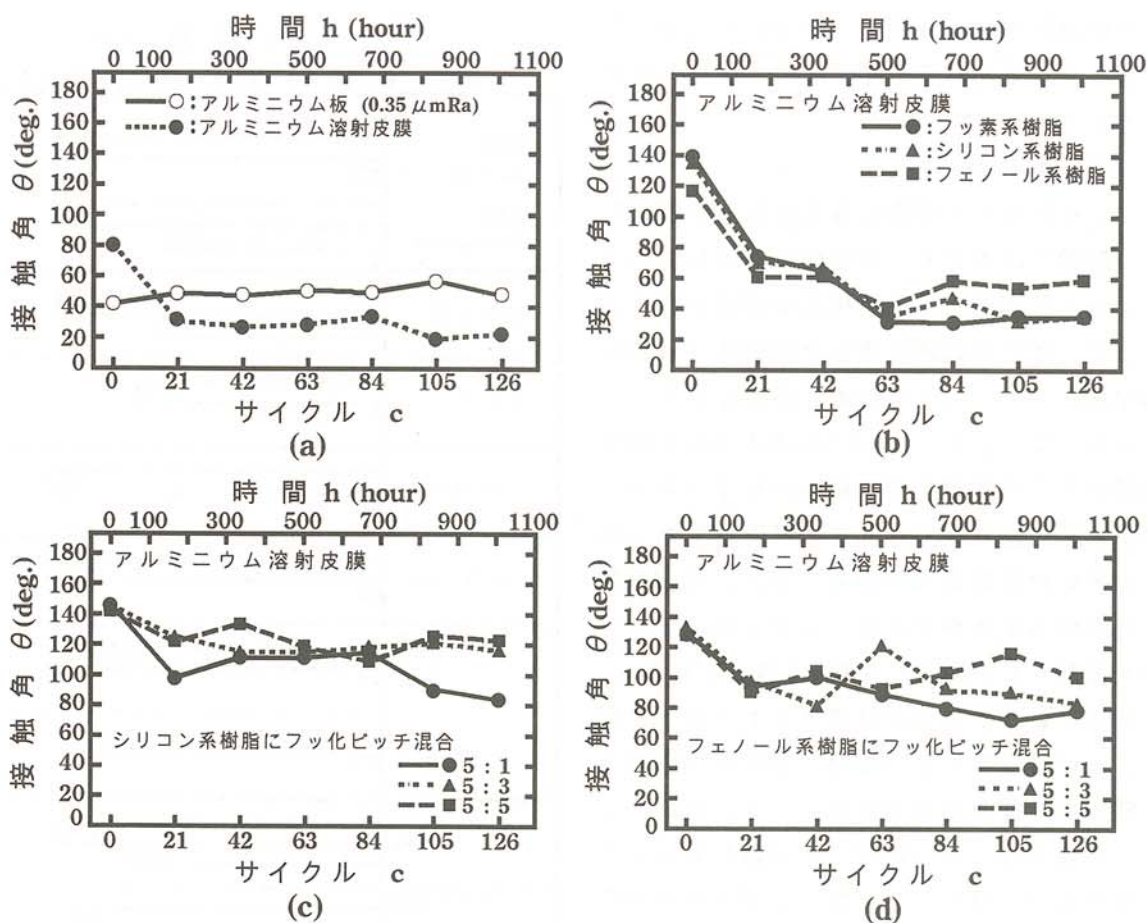


図3 促進暴露時間と接触角の関係（溶射皮膜に塗布）

(1)アルミニウム基板のみの場合、暴露時間の影響をほとんど受ない。溶射皮膜では暴露試験前には基板よりも大きい、21サイクル前後以降には基材よりもむしろ小さくなる（(a)の結果）。(2)溶射皮膜に樹脂のみを塗布したものは、暴露時間に伴う変化が大きく、試験前120～140°であったものが、42サイクル経過後には40～60°に低下している（(b)の結果）。(3)樹脂にフッ化ピッチを添加したものでは暴露時間の経過とともに低下するが、その変化は樹脂のみの場合より小さい（(c)–(d)の結果）。特に、シリコン系樹脂に5:3以上添加した場合の変化は小さく、126サイクル経過時点においても120°前後を維持している。なお、図は割愛するがZn–5%Al溶射皮膜についても同様の結果であった。このように、本実験範囲では、シリコン系樹脂にフッ化ピッチを添加、塗布した試験片での接触角が大きく、また時間経過に伴う変化の小さいことが明らかになった。

表1 塗布剤の粘度

フッ化ピッチ添加した樹脂を塗布し溶射皮膜の気孔内に含浸させには、適度の粘度が要求される。表1にB形回転粘度計（トキメック、B8H型）で測定した各塗布剤の粘度を示す。フッ化ピッチの添加量が多くなに伴って粘度は大きくなり、5:5のものでは測定不可能であった。したがって接触角

	粘度(mPa・s)
シリコン系樹脂	10.8
シリコン系 5 : フッ化ピッチ 1	14.2
シリコン系 5 : フッ化ピッチ 3	66.7
シリコン系 5 : フッ化ピッチ 5	—
フェノール系樹脂	21.2
フェノール系 5 : フッ化ピッチ 1	26.6
フェノール系 5 : フッ化ピッチ 3	92.2
フェノール系 5 : フッ化ピッチ 5	—

はやや小さくなるものの、塗布性の点からは樹脂とフッ化ビッチの割合は5:3程度が適当と考えられる。

### 3.3 水の付着強度

フッ化ビッチを樹脂に適量添加した試験片での接触角は大きく、耐候性にも優れていることから着氷防止への実用化が期待できる。そこで、所定の処理を施した試験片（φ25×150mmのアルミニウム丸棒及び同寸法のテフロン棒）について、-20℃の冷凍室内で30分間隔で5℃の蒸留水中へ試験片長手方向から浸漬を30回繰り返したときの累積着氷量の測定結果を白抜き表示で図4に示す。暴露試験で接触角の変化が小さかったフッ化ビッチ5:3を添加した試験片にも53g付着している。これは、いったん氷が付着するとその上に順次、氷が付着するようになり基材表面の処理に関係なくなるためである。一方、図のハッチング表示は、氷の付着した試験片を1mの高さからコンクリート平板上に落下させた時の氷の残量であり、図5は落下試験前・後の氷の付着状況を示す写真である。フッ素系、シリコン系及びフッ化ビッチ添加の試験片では氷はほぼ完全に剥離している。

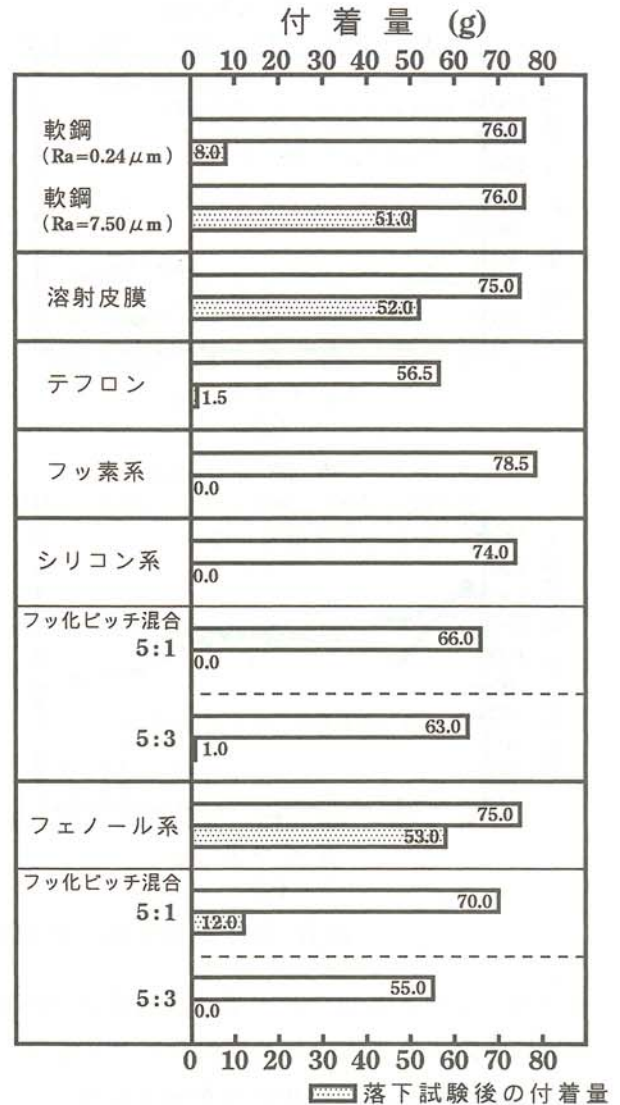


図4 落下試験前・後の氷の付着量

### 4. おわりに

本研究では、耐久性と防食性に優れた着氷防止機能皮膜の開発を目的に、超撥水性を有するフッ化ビッチと溶射皮膜との複合化について検討を行った。実験の結果、フッ化ビッチを添加した樹脂を溶射皮膜内の気孔で固定することによって、大きな接触角の確保と優れた耐候性の得られることが明らかになった。この処理面には氷は付着するもののその強度は小さく、防錆・防食機能を併せ持っていることから各種構造物等への応用が期待できる。

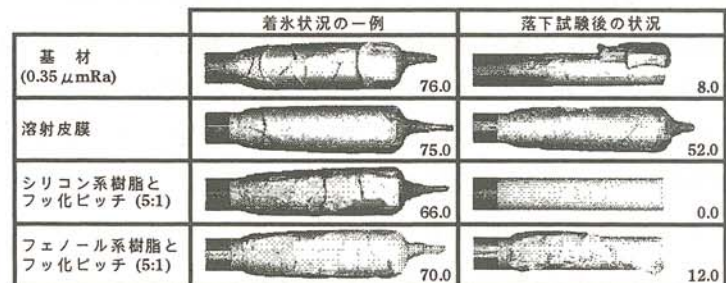


図5 落下試験前・後の氷の付着状況

### 参考文献

- 1) 二俣正美、中西喜美雄、鴨下泰久、大友秀之：着氷防止皮膜処理への溶射皮膜の応用、溶接学会全国大会講演概要第61集、PP.120-121、(1997)。



# 塩水噴霧した溶射皮膜の摩擦特性

## Friction Characteristics of Thermal Spray Coatings with Salt Spraying Test

二俣 正美 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

有田 敏彦 (北見工業技術センター)

Masami Futamata (Kitami insititute of Technology)

Toshihiko Arita (Kitami Industrial Technological Center)

**Key word :** Friction characteristic, Thermal spray coating, Salt spraying test, Surface treatment, Bolted joint

### 1. 目的

固体間の摩擦現象は主に材料表面近傍の問題であり、接触面を溶射皮膜で被覆、改質することによって基材とは異なる摩擦特性の創出が可能になる<sup>1)</sup>。本研究は、腐食環境下での高力ボルト摩擦接合継手への使用を想定し、塩水噴霧試験を行った溶射皮膜の摩擦特性について検討しものである。

### 2. 実験方法

試験片は、研削加工によって平滑化した軟鋼基材SS400 (寸法: 80×50×9mm) の片面にブラスト処理後、Al、Zn-5%Al、アルミナ ( $Al_2O_3$ ) の溶射皮膜を厚さ約300 $\mu$ mに被覆したものが主である。この他、比較試験用として研削及び研削後ブラスト処理したものを用いた。これら試験片は超音波洗浄し表面粗さを測定後、JIS Z 2371に準じた塩水噴霧試験に供し、500、1000、1500、2000時間後の摩擦特性を調べた。

### 3. 実験結果

図1は塩水噴霧試験前・後の各試験片についての摩擦力の測定結果である。Zn-5%Al皮膜(a)では、塩水噴霧前には凝着の生成と破壊が交互に生じる典型的な「付着-すべり」(Stick-slip)現象が見られるのに対し、塩水噴霧500時間以降にはその発生が見られず、静摩擦力が低下するとともに、波形の立ち上がりが緩やかになっている。Zn-5%Alは通常の大気中では良好な耐食性を有するが塩水中では水酸化物 $Zn(OH)_2$ を生成する。摩擦面には水酸化物の微粉末が観察され、これが潤滑剂的な作用をした結果、摩擦力を低下したものと推定される。Al皮膜(b)では、Zn-5%Al皮膜と同様、静摩擦力は低下し波形の立ち上がりも緩やかで、この場合にも摩擦面に微粉末が観察される。一方、 $Al_2O_3$ 皮膜(c)では塩水噴霧500時間で基材から浮き出た錆で皮膜が薄茶色に染まり時間の経過とともに濃褐色となって1500時間後には皮膜の一部が基材からはく離した。 $Al_2O_3$ は耐食性に優れた材料であるが、溶射皮膜に存在する微小な亀裂や気孔から塩水が侵入して基材に錆を発生させ、その成長に伴う膨張力によって皮膜をはく離したものと理解される。したがって腐食環境下で $Al_2O_3$ 皮膜を使用する際には耐食性を有するアンダーコートや封孔処理が必要になる。基材にブラスト処理のみを施した試験片(d)では、塩水噴霧後の摩擦力は著しく大きくなり、適度の錆の発生は、高力ボルト摩擦接合継手においてブラ

スト後に鋅を故意に発生させて使用しているように、摩擦力を上昇させる。ただし、鋅の発生は溶射皮膜を被覆した試験片よりも格段に早く、時間の経過に伴って表面に盛り上がるようになる。

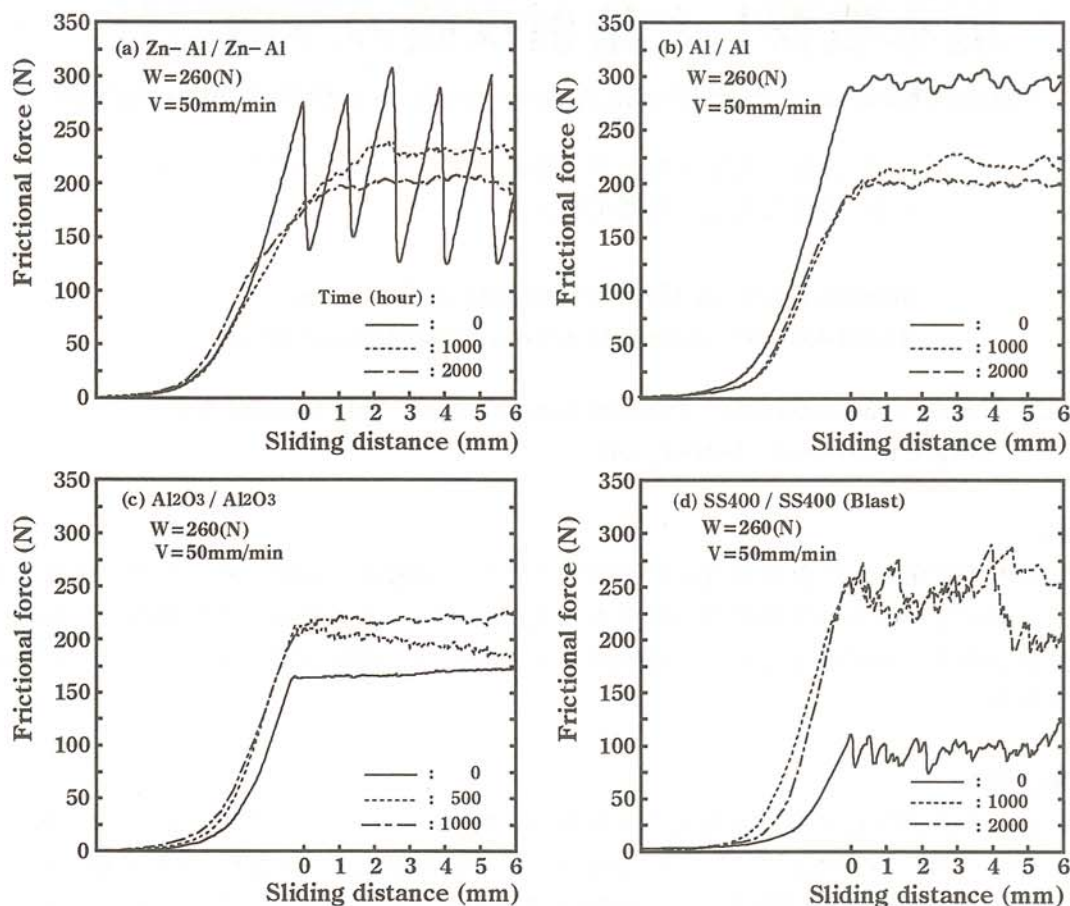


図1 塩水噴霧試験前・後の摩擦力の測定結果

摩擦力の測定結果からJIS K 7125 に規定の摩擦係数試験法に準拠し、最初に現れた摩擦力の山を静摩擦力  $F_s$ 、荷重  $W$  ( $=F_p=260(N)$ ) とし静摩擦係数  $\mu_s$  を  $\mu_s = F_s / W$  から求め、図2に示す。Zn-5%Al、Al皮膜両者の摩擦係数は塩水噴霧後には約2/3に低下しているが、高力ボルト摩擦接合で採用のブラスト法で粗面化した試験片に比べると2倍程度大きい。

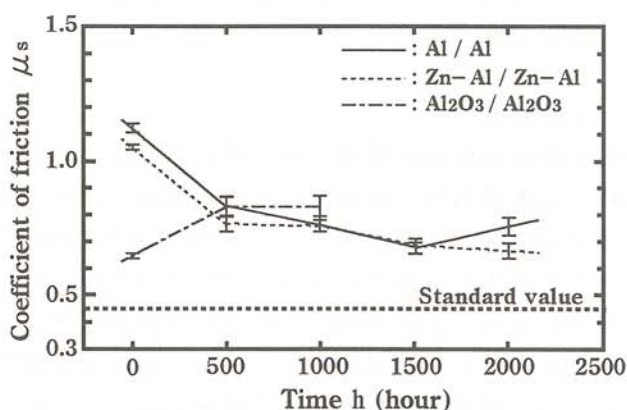


図2 摩擦係数におよぼす塩水噴霧時間の影響

#### 4. 結論

塩水噴霧試験した溶射皮膜の摩擦力、鋅の生成状況を調べ、海岸地帯など腐食環境下においても鋼構造物の高力ボルト摩擦接合継手に溶射皮膜を適用できることが明らかになった。

#### 参考文献

- 1) 二俣、有田ほか：溶射皮膜の摩擦特性と高力ボルト摩擦接合部への応用、溶接学会論文集、第15巻、1号（1997）、p.187-192.



# 住宅用光発電-新型蓄電池機能付系統連系システムの 研究開発(第3報)

Study on Grid Connected Photovoltaic System for Domestic Building  
with Newly Developed Batteries (Third Report)

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)
新山 信一郎	(北見工業大学電気電子工学科)
手塚 博文	(京セラ(株) ソーラーエネルギー事業部)
松田 高明	(京セラ(株) ソーラーエネルギー事業部)
柿添 重光	(京セラ(株) ソーラーエネルギー事業部)

Susumu Yamashiro	(Kitami Institute of Technology)
Koichi Nakamura	(Kitami Institute of Technology)
Shinichirou Niiyama	(Kitami Institute of Technology)
Hirofumi Tezuka	(Kyocera Corporation)
Takaaki Matsuda	(Kyocera Corporation)
Shigemitsu Kakizoe	(Kyocera Corporation)

Key words: solar energy, photovoltaics, grid connected PV, lead-acid battery

## 1. まえがき

環境対策、資源・エネルギー確保などの主要課題への対策において、太陽光発電(PV)への期待が高まっているが、経済性の面で難点が指摘されている。

PVの導入促進を図って、わが国でも1994年度より、逆潮流付き住宅用PVシステムへの経済的支援策が実施されているが、これらのシステムは電力貯蔵装置を持たず、電力系統を「電力貯蔵装置」として利用している。

本研究は、蓄電池を備えた住宅用PVシステムを対象に、著者らが提案してきた「蓄電池機能付き住宅用PVシステムの運用方式と経済性評価<sup>(1)</sup>」に基づいて開発したPVシステムの運転実績について報告する。

## 2. 実験で用いたPVシステムの概要

図1に開発したPVシステムの構成、表1に機器の諸元を示す。

住宅負荷は、1年を中間期(3月～6月、10月、11月)、冬期(12月～2月)、夏期(7月～9月)の3期間に分け、図2に示す特性で表すものとする。

また、今回用いた新型蓄電池としては、長寿命小型シール鉛電池(期待寿命6年)で、その放電特性などについては文献[2]に示している。

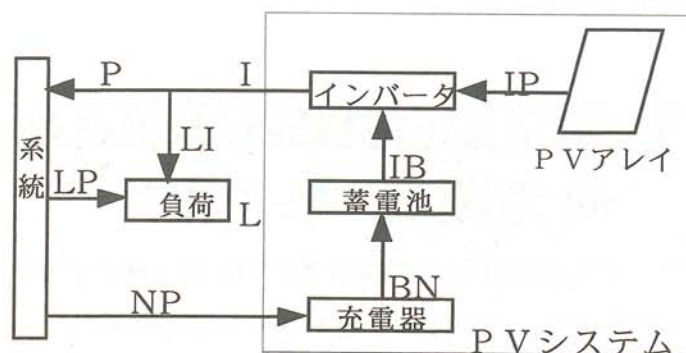


図1. 住宅用P Vシステムの構成

表1. 構成機器の諸元

機器	定格
P Vアレイ	0.962kWp
インバータ	3kW
バッテリー	48V 100Ah
充電器	入力200V 出力48V
負荷	9189.72kWh/年

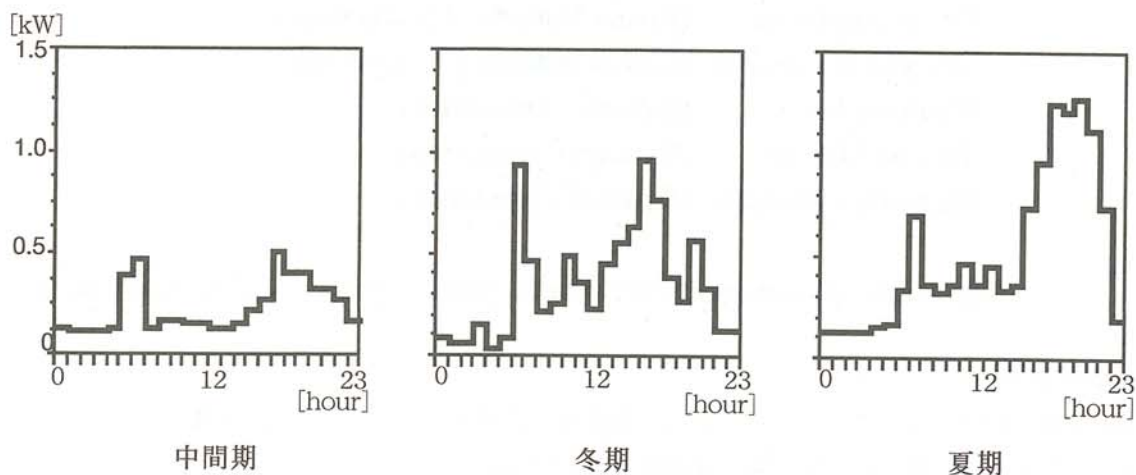


図2. 各期間の住宅負荷

### 3. 蓄電池付き住宅用P Vシステムの運用方式

文献〔1〕で提案した運用方式に従って、1日の運転時間帯を昼間帯(7:00~23:00)と夜間帯(23:00~7:00)に区分し、P V出力の逆潮流及び電力貯蔵を考慮して、次の運用条件を満足するように運転制御を行った。

- (1) 住宅負荷へはP Vシステムと系統から電力を供給し、P Vアレイの出力が負荷を上回る場合は、余剰電力として系統へ売電する。
- (2) 蓄電池は所定の放電深度範囲内で運用可能とし、P V出力が負荷より小さい場合は不足分を補うように放電する。

また、夜間帯終了時点では満充電状態になっているよう充電する。ただし昼間帯では系統から



の充電は行わない。

#### 4. 実験結果とシミュレーションとの比較検討

文献〔1〕で提案した蓄電池を含む住宅用PVシステムの各装置のエネルギー効率に関し、シミュレーションでの設定値及び実測結果との比較検討結果を表2に示す。

なお、実験期間は'96年7月5日から'97年7月10日である。

表2. 各装置効率

	$\eta_i(\%)$	$\eta_B(\%)$	$\eta_c(\%)$	$\eta(\%)$
実測値	66.6	74.4	83.5	59.4
(1)で設定した値	82.2	81.0	92.0	74.2
誤差	-19.0	-8.1	-9.2	-19.9

$\eta_i$  = インバータ効率,  $\eta_B$  = 蓄電池効率,  $\eta_c$  = 充電器効率,  $\eta$  = PVシステム効率

PVシステムのエネルギー効率はシステムへの入力をPV発電電力(IP)と、蓄電池への充電電力(NP)の和として、システムの出力はインバータからの出力(I)として算定した。(式(1))

$$\eta = \frac{I}{NP + IP} \times 100(\%) \dots \dots (1)$$

各装置の効率において、参考文献で想定した値との誤差が最も大きいのはインバータの効率であり、この理由はいくつか挙げることができる。

先ず実験期間において、特に夏期であるが天候状態が悪く、PVの発電電力が予想したほど得られなかったことが挙げられる(図3参照)。本来であれば最も発電量の期待される季節であるにも関わらず、一番発電量の少ない季節となった。

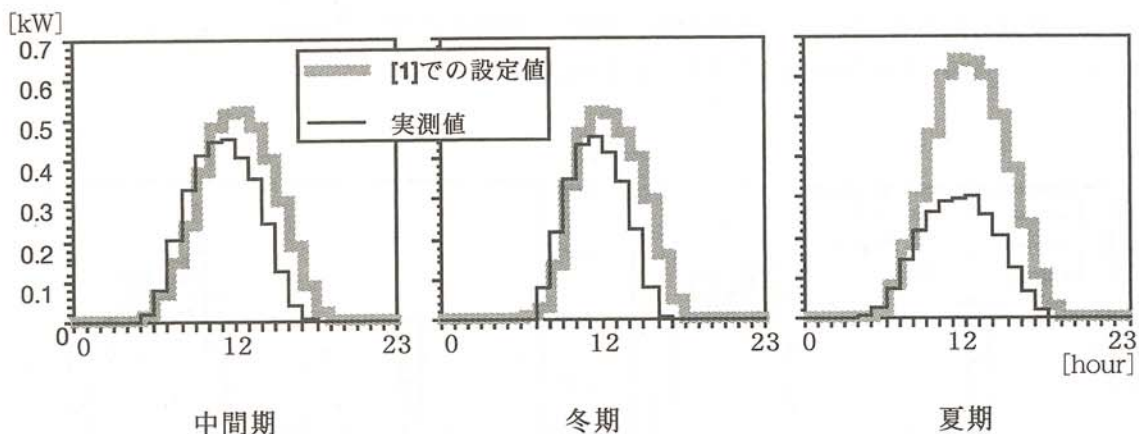


図3. 各期間毎の発電量比較

次に、テストシステムにおいてはインバータの入力部分に昇圧コンバータを設置しているため、インバータ効率にコンバータの効率も影響したためであると考えられる(図1には記載されていない)。加えて、インバータ定格がPV定格に対して大きいためにインバータの動作点が効率の低い領域となったことも原因の一つとしてあげることができる。PVの定格が約1kWpであるのに対し、インバータ定格は3kWである。図4にインバータ効率特性を示す。

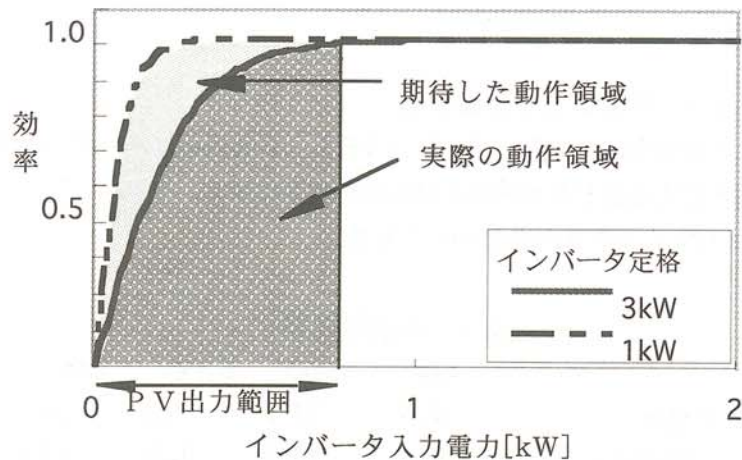


図4. インバータ効率特性

この図より、システム設計においてインバータの定格が大きめに設定されているのは、設計段階では約2kWpのPVを接続する予定であったためである。

蓄電池の効率に関しては、想定した数値とほぼ同じ効率を得ることもできるが、その日の周囲条件（例えば気温など）や放電量、それに伴う充電量など様々な要因が混在しており、試験が毎回同じ条件で行われるわけではないので、一定の効率を得ることができない。従って、平均すると表2のような結果となる。

コンバータの効率についてはデータ収集の方法に問題が生じており、検討を行っている。再計算の結果では想定値に近くなってはいるが、結論は出せず、さらなる検討を行っている。

次にこれら各効率の実測値を用いて文献〔1〕の方法に従ってシミュレーションを行い、図1に示す各種のエネルギー量を求め実測値と比較した。

図5には負荷とインバータ出力、系統からの買電電力を示している。太い実線は負荷量であり、細い実線である買電電力との差がPVシステムより供給された電力量であり、細い波線で示されたインバータ出力が負荷曲線を上回っている箇所は、系統へ売電された電力である。

表3には各流量の年間総量を示してあり、各名称は図1に従う。

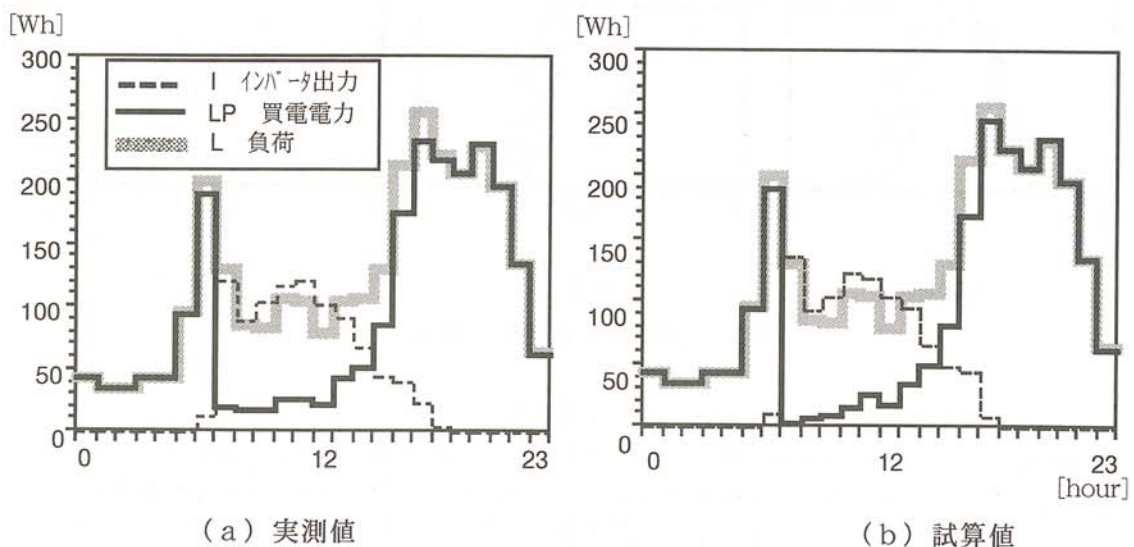


図5. 実測値と試算値の比較



表 3. 試算値と実測値の比較

	P(kWh)	LI(kWh)	LP(kWh)	IB(kWh)	NP(kWh)
実測値	239.4	736.2	2084.2	276.9	445.5
試算値	204.2	788.5	2014.1	273.9	443.3
誤差 (%)	-14.7	7.1	-3.4	-1.1	-0.5

系統への売電電力Pと、インバータから負荷へ供給電力量L Iが最も誤差が大きいが、インバータの総出力としてみると1.8%の誤差であり、試算値と実測値の誤差は比較的小さいので、各装置効率及び発電量、負荷量などの各設定値が適切であればこのシミュレーション法により、エネルギーフローに関して信頼性のある数値が得られる事が分かる。

次に、システムの経済性評価における比較検討を行うが、各評価値の計算手法は文献[1]で述べられているので、ここでは簡潔に述べる。

本研究において経済性評価を行うPVシステムは長期間にわたり使用されるので、現在価値換算と呼ぶ、将来の価値を現在の価値に換算する手法を用いる必要がある。この現在価値換算を用いたPVシステム運用上のメリットは(2)式で与えることができる。

$$C_M = (\gamma_1 \cdot P - \gamma_2 \cdot NP + \gamma_3 \cdot LI) \cdot \sum_{k=1}^n \left( \frac{1+r}{1+i} \right)^k \dots \dots (2)$$

$\gamma_1$ : 余剰電力売電価格     $\gamma_2$ : 深夜電力料金     $\gamma_3$ : 商用電力料金  
 $r$ : コスト上昇率     $i$ : 利子率     $n$ : 考察期間年数

上式は、系統への買電電力PとPVシステムから負荷への供給電力L Iはシステム運用上のメリットとして考えることができ、蓄電池充電のために購入する深夜電力をデメリットとして考えられるので、それぞれに価格を加味することで全体のメリットを計算し、それに考察期間に関してコスト上昇と現在価値を考慮したものである。

更に、PVシステムの単位電力量当たりの発電コストを算出することで商用電源との料金比較を行う。前述のようにPVシステム運用が長期間ではあるが、運用上のメリットと同じように、毎年発電コストを算出し比較を行うことはできない。

従って、システムの発電コストを考察期間において毎年同じ発電コストとする必要があるため、均等化経費と呼ぶ、毎年同一額換算手法を用いた均等化発電コストを定義し、商用電力料金との比較を行う。

よって、PVシステムの均等化発電コストは式(3)で与える。

$$\bar{R} = \frac{\delta \cdot LI + \gamma_2 \cdot LP}{L} \dots \dots (3)$$

$\delta$ : L I から見たシステムの均等化発電コスト     $\gamma_2$ : 商用電力均等化発電コスト

以上のように各経済評価値を求め、比較を行った。

次に実測値をパラメータとしてシミュレーションし、文献[1]でのシミュレーション結果との比

## 北見工業大学 地域共同研究センター

### 研究成果報告書 第5号

---

発行日 平成10年 7 月 1 日

編 集 二俣 正美 (地域共同研究センター長(併)・機械システム工学科教授)  
青木 清 (地域共同研究センター兼任教官・機能材料工学科教授)  
海老江邦雄 (地域共同研究センター兼任教官・土木開発工学科教授)  
大野 晃 (地域共同研究センター兼任教官・共通講座教授)  
小林 正義 (地域共同研究センター兼任教官・化学システム工学科教授)  
坂本 弘志 (地域共同研究センター兼任教官・機械システム工学科教授)  
鈴木 輝之 (地域共同研究センター兼任教官・土木開発工学科教授)  
藤原 祥隆 (地域共同研究センター兼任教官・情報システム工学科教授)  
山城 迪 (地域共同研究センター兼任教官・電気電子工学科教授)  
宇都 正幸 (地域共同研究センター助教授)

発行者 北見工業大学地域共同研究センター  
〒090-0013 北海道北見市柏陽町603番地  
TEL 0157-26-4170 (センター長室)  
0157-26-4163 (専任教官室)  
0157-26-4161 (事務室)  
FAX 0157-26-4171  
E-mail center@crc.kitami-it.ac.jp  
URL <http://crcenter.crc.kitami-it.ac.jp/>

印 刷 (株) 北 海 印 刷

---