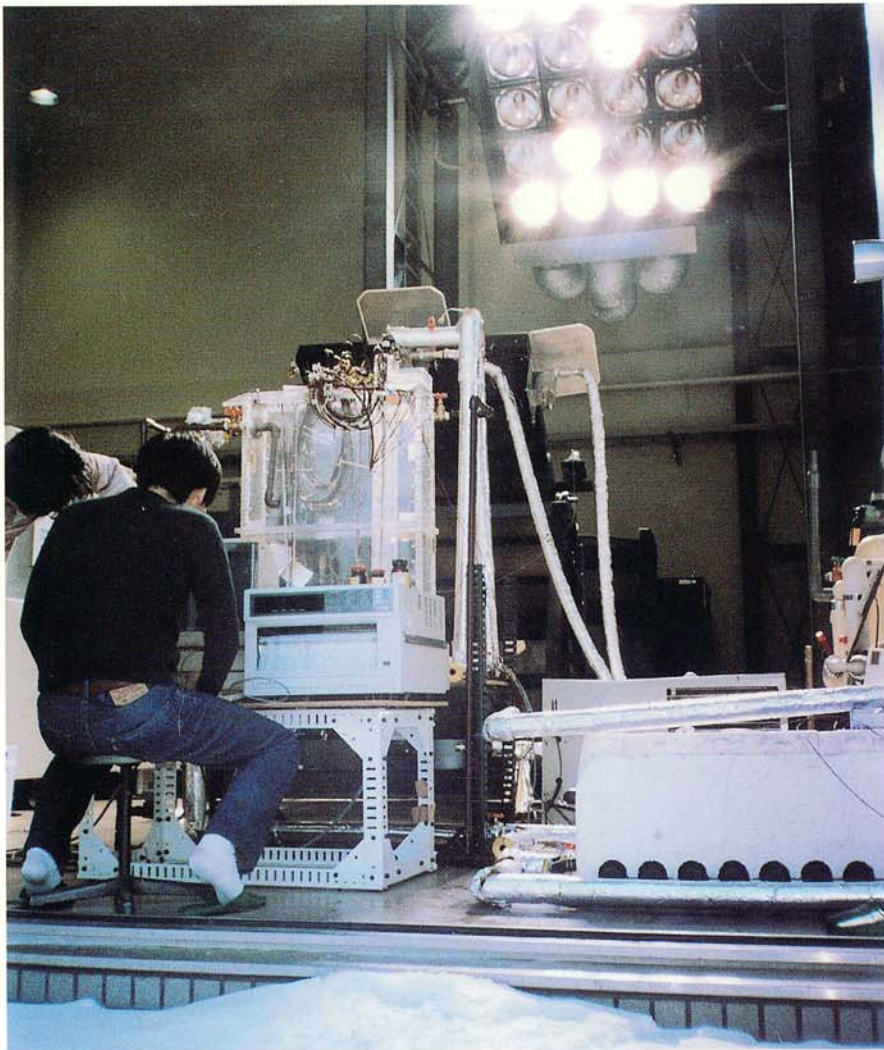


**北見工業大学
地域共同研究センター
研究成果報告書
第4号**

MEMOIRS OF THE COOPERATIVE RESEARCH CENTER
KITAMI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

NO.4
1997



北見工業大学地域共同研究センター

表紙写真の説明：大型ソーラシミュレータを使用したソーラーヒートポンプシステムの性能試験（本成果報告書43ページ参照）の実験風景。1997年3月撮影。通用口を開放して屋外から撮影したもので、屋外では10cmの積雪（手前下）。真冬でも1灯8kWのキセノンランプ10灯を点灯することで実験室内で真夏の北見の太陽光を再現できます。ソーラエネルギー関連の研究を計画通り実施するのに大きな力を発揮します。（詳細はセンターホームページ(<http://crceter.crc.kitami-it.ac.jp/setubi.html>)をご覧ください。）

目次

客員教授論文

- 雨水ギャロッピング現象事例解析
田所裕((株)工学気象研究所 代表取締役) . . . 1
- 太陽光発電システムの発電量に対する異方位アレイ並列接続の影響
手塚博文(京セラ(株) ソーラーエネルギー事業部長) . . . 7
- たまねぎジュースの老齡ラット性行動に及ぼす影響
中井義昭(荻田バイオ・サイエンス研究所 東京支所長) . . . 11

共同研究

区分A

- がいし絶縁特性監視システムの開発
菅原宣義・保苺和雄・土方正範・山内亮治郎・斉藤昭弘 . . . 17

区分B

- コンクリート製品の高品質化に関する研究(第4報)
鮎田耕一・桜井宏・藤村満・古西力 . . . 21
- 氷海域海洋コンクリート構造物の耐久性に関する研究
鮎田耕一・桜井宏・木村伸之・桐生宏 . . . 27
- 極域の海氷および氷河氷床の変動
榎本浩之・高橋修平・百武欣二・白崎和行・舘山一孝・太田和夫 . . . 33
- 橋梁の健全度診断と老朽度ランク付けの研究
大島俊之・三上修一・山崎智之・本間美樹治・阿部英俊 . . . 39
- 温度選択蓄熱タンクの組み合わせによる
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・手塚博文 . . . 43
- 着氷量予知用大気データ収集各種センサーの性能試験
菅原宣義・保苺和雄・土方正範・廣田充伸 . . . 49
- 寒冷気候利用に関する基礎的研究(第2報)
高橋修平・榎本浩之・亀田貴雄・百武欣二・石橋勉・仲野俊夫・加藤晋 . . . 51
- 氷掘削装置開発に関する基礎的研究(第2報)
一氷掘削ドリルによる回収切り粉の密度測定一
高橋修平・庄子仁・榎本浩之・亀田貴雄・百武欣二・宮原盛厚・高橋昭好 . . . 57
- 知的教育支援システムの研究
藤原祥隆・岡田信一郎・後藤寛幸・黒丸鉄男 . . . 64
- 力覚センサを利用したNC研磨技術
二俣正美・田牧純一・鎌田英博 . . . 70
- 多目的型プラズマジェットトーチの開発
二俣正美・倉本宏 . . . 76
- 下水汚泥および放流水中の微量成分の定量に関する研究
増田弦・南尚嗣・高橋信夫・高橋行雄・厚谷郁夫・荒木真
山田俊徳・佐々木次郎・山下弘一・斉藤達男・細川順市 . . . 80

※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。

雨氷ギャロッピング現象事例解析

Case Study of the Glaze Galloping phenomenon

田所 裕 (株式会社 工学気象研究所)

Yutaka TATOKORO (METEOROLOGICAL RESEARCH
INSTITUTE FOR TECHNOLOGY CO.,LTD)

key words; icing, glaze, galloping, overhead transmission lines, synoptic meteorology

1. 緒言

ギャロッピング現象は基本的には送電線に着氷(雨氷を含む)または着雪が付着して、電線の外形が筒上でなくなり、ギャロッピング発生に適した風向風速が比較的送電線路に直角に近く、しかも定常的に吹くと発生する現象であるとされている。この現象は架空送電線、特に超高圧、大容量の幹線にとっては大きな問題となっており、我が国あるいは諸外国においても早くからその調査研究や防止対策の研究が進められてきた。近年、我が国では平野部において広域着雪(一部、雨氷)ギャロッピング現象による送電線事故が発生しており電力安定供給に問題を残している。

ここでは、このような事例の中から我が国では稀にしか発生を見ない降水性の雨氷現象によって引き起こされたと思われる平地雨氷ギャロッピング現象例について、総観気象面からの予備解析を行った。

2. ギャロッピング現象と着氷雪の分類

着氷雪ギャロッピング現象は高標高山岳地の着氷地帯で発生する着氷ギャロッピングと主に平野部で発生する着雪あるいは過冷却の雨(雨氷)によって発生する平地ギャロッピングとに区分される。表2.1には山岳地送電線の着氷現象の研究において、送電線路への着氷・着雪の分類がなされたものを示した。

表2.1 送電線路への着氷・雪の分類 (電気学会技術報告II部第262号)

着氷・雪 (icing or ice accretion)
(i) 降水着氷・雪 (precipitation icing)
過冷却の雨による着氷-雨氷 (glaze due to supercooled raindrops)
着雪 (snow accretion)
毛管力形着雪 (wet snow accretion or snow accretion due to capillarity)
焼結形着雪 (dry snow accretion or snow accretion due to sintering)
(ii) 雲中着氷, 山岳着氷または単に着氷 (in-cloud icing or icing due to supercooled cloud droplets)
雨氷 (glaze)
粗氷 (hard rime)
樹氷 (soft rime)
(iii) 昇華着氷 (sublimation icing)
樹霜 (air hoar)

3. 雨水ギャロッピング発生時の総観気象解析例

平地部で発生する過冷却の雨による着氷-雨水現象には内陸盆地で比較的弱風下発生する内陸型雨水現象と海岸平野部の強風下で発生する沿岸型雨水現象とに区分される。

このうち送電線路にギャロッピング現象を発生させるものは強風下で発生する雨水型であり、高標高山岳地帯で発生する雲中の雨水と海岸平野部で発生する降水性の雨水が考えられる。

図3.1には過去の文献を基に、我が国で発生した主な雨水現象発生地域分布と内陸型雨水域の時間推移の分布例を示した。それら内陸型、沿岸型雨水現象ともほぼ全国的に分布している。

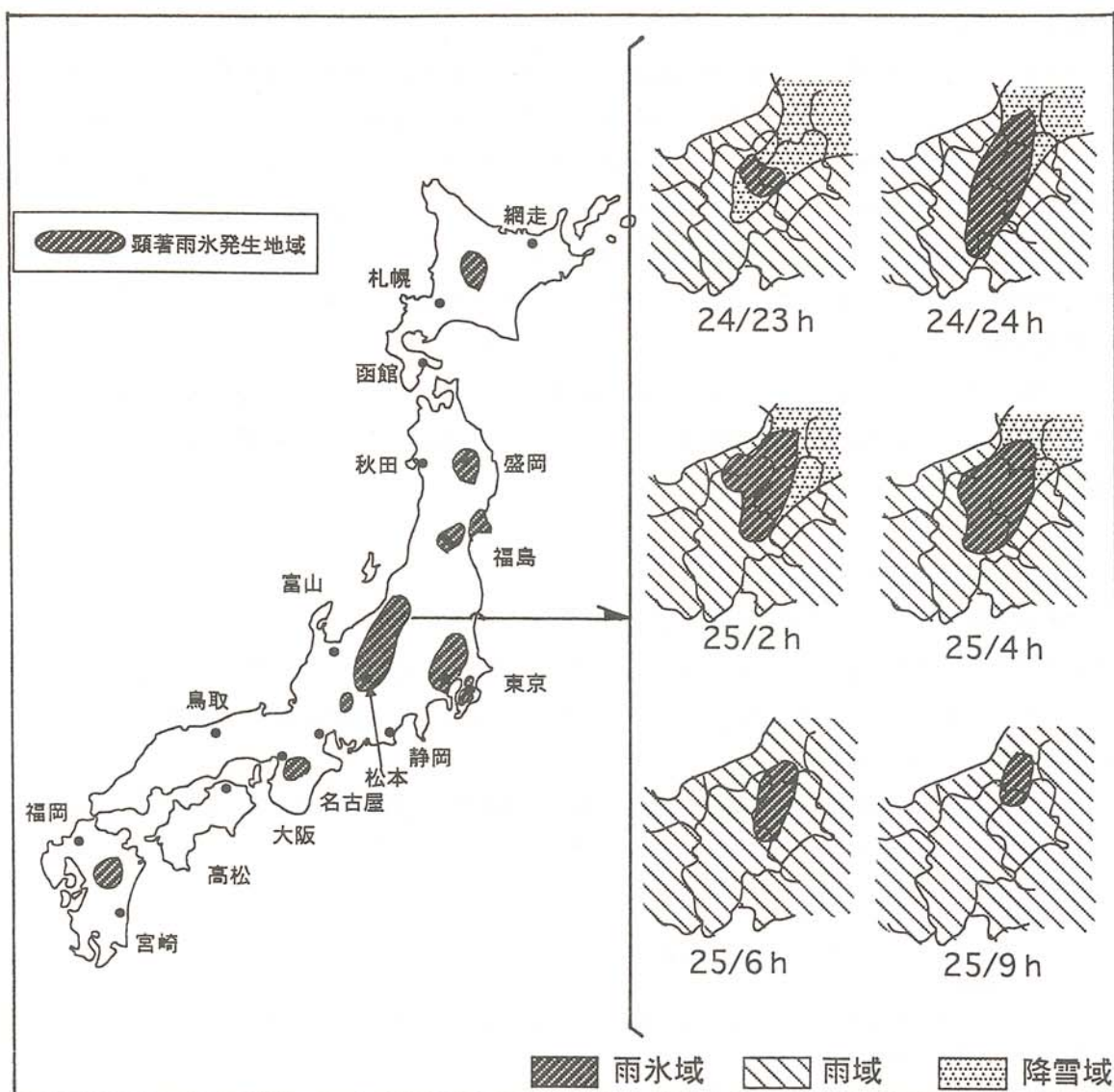


図 3.1 顯著雨水発生地域と雨水域の時間的変化の例 (1970年2月24~25日)

以下に、主な雨水発生事例についての総観気象解析例を示すが、これらはいずれも送電線路にギャロッピング事故を発生させた雨水現象である。

(1) 1974年1月21日～22日に神奈川県相模川周辺で発生した沿岸型雨氷現象

ここに記した雨氷記録は横浜地方気象台で得られたデータから確認されたもので、1月21日18時頃より過冷却の雨（以下雨氷）が降り始め22時頃まで降り続いた。この時の横浜の平均風速は5～6m/sで最大瞬間風速では10m/s前後の強風が記録されている。雨氷発生時の気温は約-1℃前後で推移し、気温の上昇に伴い雨となっている。この時の気圧配置を見ると図3.2の地上天気図に示されるように、上海付近にあった低気圧は北東進し、1月21日12時には浜田沖と四国とにある低気圧が二つ玉となり、これらの低気圧は発達しながら北東進し、21時にはこの天気図に見られるように、太平洋側の低気圧は東海沖から銚子沖へと進んでいる。この時、日本海の低気圧は佐渡西方で停滞気味であったが、これら二つ玉低気圧の間の等圧線は大きくくびれ、地上には三陸沖の高圧部から関東地方に北東～北と回り込んでくる気流が地上風系より確認された。図3.3の同時間の850hpa面の高層天気図には南西からの暖気の流入が顕著に見られる。

図3.4には館野高層観測所で得られた上空の風向のデータから地上および1000hpa面では低気圧の接近により、北よりの風であるが、900hpaより上空では南寄りの風となり、700hpaより上空では南～南南西～南西と変化し、低気圧性スパイラル状態になっていたものと思われる。

さらに、この期間中、雨氷出現地域に雷雨が記録されており、積乱雲の内部に強い下降気流の発生が考えられ、地上付近では風向の急変が想定された。

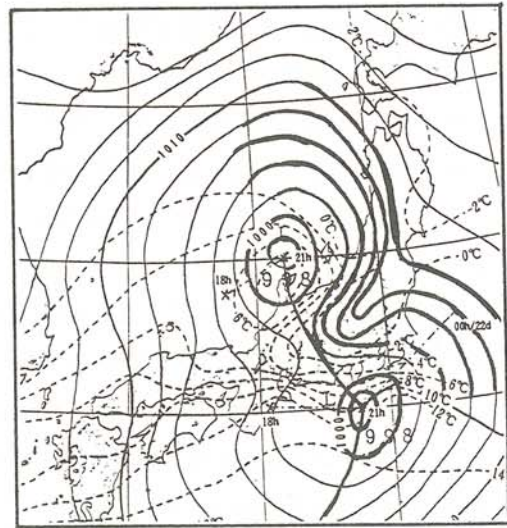


図3.2 地上天気図(1月21日21時)

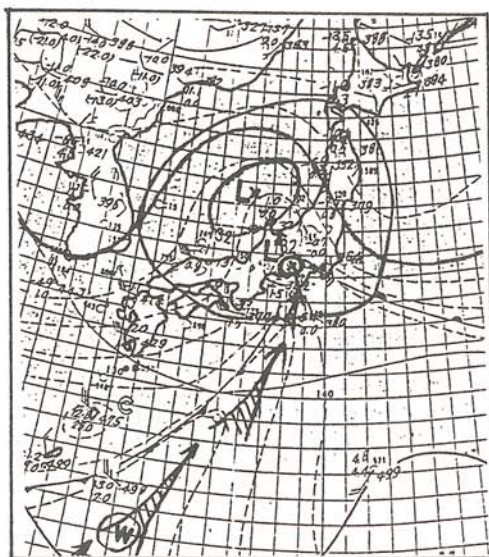


図3.3 高層天気図(850hpa、1月21日21時)

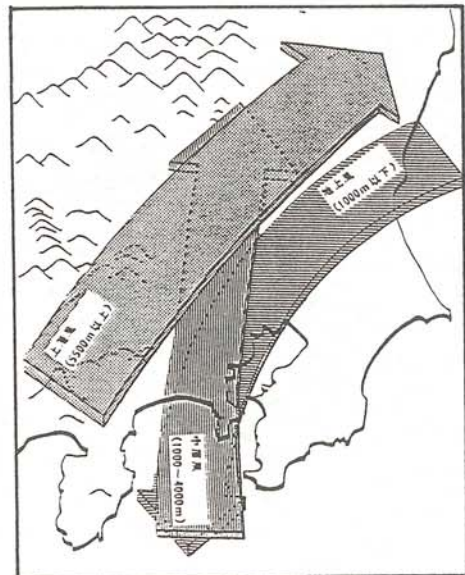


図3.4 風向の断面模式図

(2) 1989年12月14日に宮城県仙台平野に発生した沿岸型雨氷現象

雨氷現象は石巻測候所の記録から確認される。気象日原簿によると12月14日6時15分から凍雨が降り始め、7時10分より15時40分まで過冷却の雨(以下雨氷)が降り続いていた事が記録されている。その後雨となり、15日まで降り続いた。この期間の平均風速は3m/s前後から徐々に強まり、6m/s前後にまで達している。最大瞬間風速は12.8m/sが記録されている。気温は14日4時には-2.4℃の最低が記録され、その後、徐々に上昇して、15時すぎから正の気温帯となっている。この時の気圧配置を見ると14日9時には日本海中部に1008hpa、房総沖に1014hpa、紀伊半島沖に1012hpaの低気圧が発達しながら北東進し、等圧線のくびれの顕著な二つ玉低気圧が形成されていた。

図3.5には14日9時の地上天気図を、図3.6には14日21時の850hpa面の高層天気図を示した。この高層天気図を見ると低気圧の中心が信越上空にあり、日本上空は深い気圧の谷となり、太平洋側からの暖気の流入がみられ、切離寒冷低気圧となっている。仙台管区気象台の各高度による風向の変化を見ると、下層(0~500m)では北~北東の冷気流、その上空2500mまでは東寄りの暖気流さらに上空では南~南西の暖気流構造になっていたことが想定される。層別気流の変化の模式を図3.7に示した。このような気象状態で顕著な沿岸型雨氷現象が発生したものと思われる。

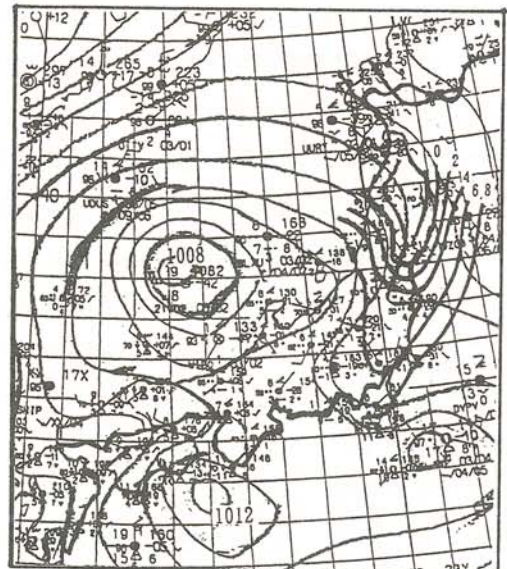


図3.5 地上天気図(12月14日9時)

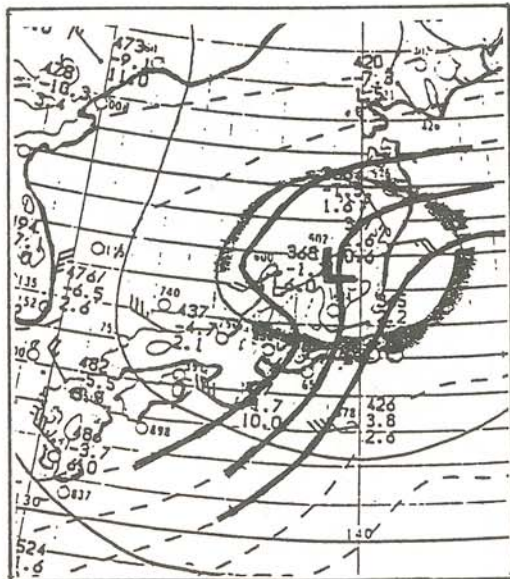


図3.6 高層天気図(850hpa、12月14日21時)

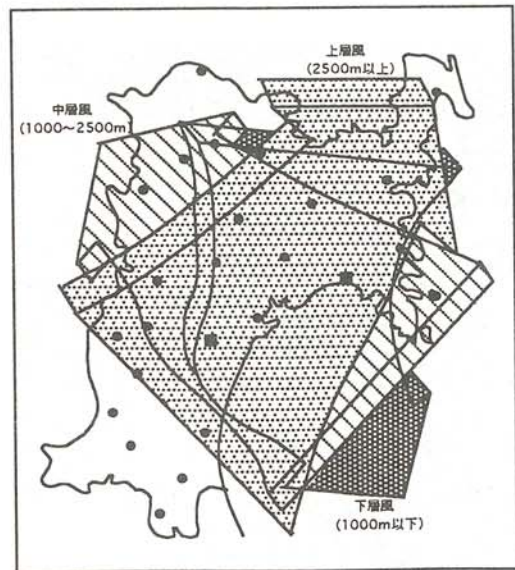


図3.7 風向の断面模式図

(3) その他の顕著雨水現象発生事例

1970年2月24日～25日に新潟県内陸部に発生した内陸型雨水現象

この雨水現象は新潟県の内陸部から長野県南東部にかけて発生した代表的内陸型雨水現象の発生例である。この内陸雨水現象は2月24日23時から25日9時頃にかけて、気温 $-2^{\circ}\text{C}\sim-1^{\circ}\text{C}$ 前後、風速も 1m/s 以下の静穏下で発生している。日本付近の気圧配置は本州南岸に前線が停滞し、前線上、房総沖には小低気圧が、九州北西沖には閉塞した低気圧があって中部地方を中心として暖気が強く流入するような気圧配置となっている。このため、関東以西は雨となっているが、東北地方、新潟県などでは雪となり、雨水現象は降雨域から降雪域に転移する地域に発生している。それらの模式的な変化は前の図3.1に示した通りである。高層状態を見ると、700hpa以下の層に顕著な暖気の流入が見られ、 0°C 以上の暖気が前線に沿ってくさび状に流入していた。

1969年1月28日～29日に長野県山間部に発生した雲中雨水現象

この雨水現象は長野県山間部に発生した雲中着氷（雨水）現象で、鉄道、林業関係に大きな被害をおよぼし、電力設備にも事故が発生している。電力設備の事故地点は標高が1200m前後の山岳地南斜面で発生しており、前に上げた3例とは明らかに発生要因は異なる。この時の日本付近の気圧配置は新潟県内陸部に発生した事例とほぼ同様なパターンであり、東海沖と四国沖に前線が停滞し、上層には暖気の流入が顕著に見られ、風速も南斜面上を強風が吹き上げていたことが報告されている。

1969年11月と1973年4月にカナダ・ケベック州で発生した雨水・粗氷現象

北米では屢々、顕著な雨水、粗氷現象が発生している。特に、カナダ・ケベック州では1969年と1973年には大規模な雨水、粗氷現象が発生し、送電線設備に甚大な被害が発生した。この雨水・粗氷発生は図3.8に見られるように、勢力の強い低気圧が東ケベックの沿岸部をゆっくりと北上し、この間に暖気の流入が顕著に見られ、平地では過冷却の雨水現象が、山岳地域では雲中着氷（粗氷）の発達を確認されている。また、この地域は我が国の太平洋沿岸を北東進する低気圧経路と類似しており、発生頻度の差はあるが気象学的には同様な地域環境を有しているものと思われる。

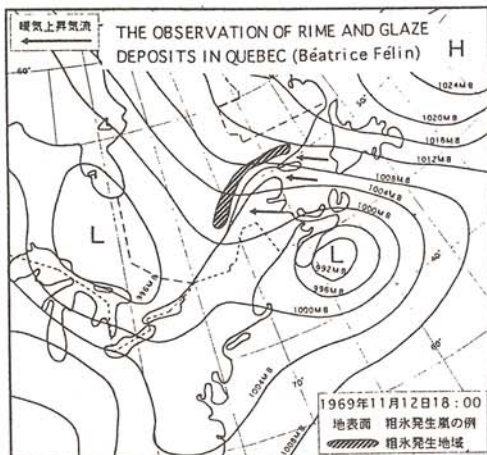


図3.8 顕著着氷（雨水）発生時の地上天気図

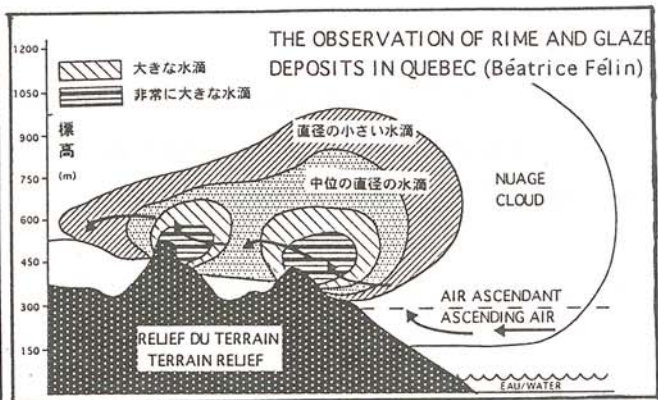


図3.9 ケベックにおける着氷（雨水）概念

4. 過冷却の雨による雨水発生時の気象条件とギャロッピング現象

過冷却の雨による雨水発生時のメカニズムの一要因として、筆者ら（石原、田所（1989））は気温の鉛直分布と降水粒子の関係について述べている。図3.10に示されるように、 0°C 以下の雪雲から雪片（乾雪）が落下し始め、 0°C 以上の暖気層を通過している時に湿雪になり、含水率が100%になると雨滴となる。その雨滴が地表付近の寒気層を通過する時、冷やされ過冷却水滴となる。この水滴が平地部の送電線や樹木に付着すると雨水現象が発生するが、過冷却水滴が寒気層で雨氷になるか凍雨になるかを区分する気象学的メカニズムは明らかではない。

この様に、雨氷の発生には上層の気象条件（暖気層の厚さ、気温、湿度等）や、下層の気象条件（寒気層の厚さ、気温、湿度、過冷却となるメカニズム等）が重要な雨水発生条件となる。送電線のギャロッピング現象はこの様な付着物が送電線に付着し、比較的強い層流性の風速が必要条件となる。この為、内陸盆地等で発生する弱風下の内陸型雨氷ではギャロッピング現象は起こりにくい。他方、沿岸部で発生する雨氷現象時は低気圧擾乱の激しい時であり、風速も比較的強く、ギャロッピング現象が起こりやすい条件となる。

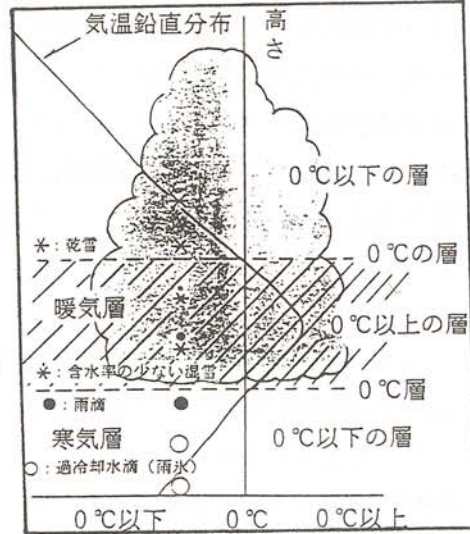


図3.10 雨水発生時の気温の鉛直分布と降水粒子の型（石原、田所による）

5. 結言

本研究では近年、平野部において広域的に発生している平地ギャロッピングの発生要因の一つである過冷却の雨による雨氷現象について総観気象学的な検討を行った。その結果、二つ玉低気圧の発生と、等圧線のくびれが出現し、これら低気圧の前面には高気圧帯のかぶさりも確認された。大気上層部では深い気圧の谷で切離寒冷低気圧が発生し、上層には暖気流、地上付近には冷湿気流が流れ込み、高度別の風向変化も顕著に見られた。なお、ギャロッピング発生はこれら気象条件以外に地形・設備条件等の相乗により発生するものであるが、これらは別の機会に述べる。

参考文献

- 石原健二、田所裕；雨水発生時の気象学的解析、寒地技術シンポジウム89、P.101-109（1989）
 財団法人電気学会；山岳地送電線の着氷現象、電気学会技術報告（Ⅱ）第262号（1988）
 Beatrice Felin ；Freezing rain in Quebec, Field Observation Compared to Model Estimations. IWAI'S'88, Paris, pp.119-123 （1988）
 J.N.Laflamme and G.Periard ； THE CLIMATE OF FREEZING RAIN OVER THE PROVINCE OF QUEBEC IN CANADA ; A PRELIMINARY ANALYSIS. IWIS96, QUEBEC （1996）
 Beatrice Felin ； THE OBSERVATION OF RIME AND GLAZE DEPOSITS IN QUEBEC CANADIAN ELECTRICAL ASSOCIATION SPRING MEETING. （1976）

太陽光発電システムの発電量に対する 異方位アレイ並列接続の影響

Effects of Parallel Connection arising from Different Direction Arrays
on Output Energy of PV

客員教授 手塚 博文 (京セラ株式会社)

Hirofumi TEZUKA (KYOCERA CORPORATION)

key words: PV system, parallel connection, different direction arrays

1. まえがき

石油、ガス等の化石燃料の大量消費は酸性雨や二酸化炭素による温暖化などの地球環境破壊やエネルギー枯渇の深刻な問題を引き起こしている。一方で、豊かな住環境を求める国民的ニーズから、ますます住宅におけるエネルギー消費は拡大傾向を示している。更に、それを支える電力供給においては、増大する電力需要に対応する電源立地の難しさや電力需要のピークと不需要期との格差問題、更には安全でクリーンな代替エネルギーへの転換などが国家的課題となっている。

そこで、クリーンな太陽エネルギーを効率的に住宅用エネルギーとして利用することは極めて重要な課題となっている。

そのような状況の中で、分散型代替エネルギーとして最も有力視されている住宅用太陽光発電システムにおいて、規制緩和や余剰電力購入のシステムが整備され、平成6年度からその普及のための通産省のモニター制度が実施されるなど、本格普及への環境整備が図られた。

このように普及への環境が整いつつある中で、我々太陽電池メーカーは安全で信頼性の高い製品をより安価に提供できるよう努力することはもちろんであるが、これに加えて製品が適正に使用され、新エネルギー導入の目的が達成されるよう技術情報の提供を行うことも大切な役割のひとつである。

住宅用太陽光発電システムは、住宅という多様な環境を持つものに設置するため、その設置条件も多様である。設置条件によっては、本来の性能を充分発揮しないことも考えられる。このようなことは、ユーザーにとっても我々にとっても本意ではなく、避けなければならない。

住宅用の場合、太陽電池はほとんどが屋根上に設置されるが、屋根形状も様々であり、制約も多く、分散して設置するケースが多い。設置する傾斜角や方位角が異なる太陽電池を組合せてシステムを組むと損失が発生し、本来の発電量が得られない場合があるが、どの程度の損失になるか詳しく検討されていなかった。

そこで、今回、異なる方位に太陽電池を設置した場合、最適な発電状態に比べてどの程度の損失が発生するかを実験とシミュレーションにより確認した。

2. 実験による発電量の確認

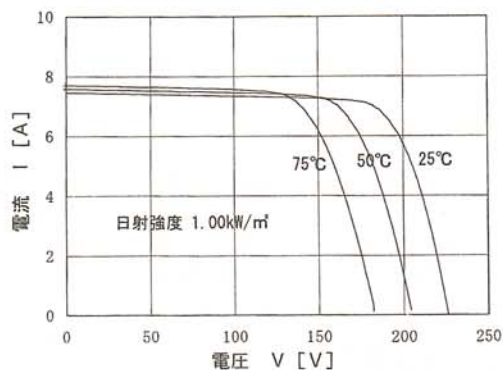
太陽電池は、第1図のように動作電圧の値に応じて電流値が変化する特性がある。従って、得られる電力は、第2図のようにある電圧（最大出力動作電圧という）で出力が極大値を示す。通常、太陽光発電システムでは、インバータによって太陽電池出力がこの極大値になるよう入力電圧（太陽電池の動作電圧）が制御される。

ところが、この最大電力動作電圧は日射強度や素子温度によって変化する。従って、同一角度（方位、傾斜角）に設置したアレイの最大出力動作電圧はほぼ一致するが、異なる角度に設置したアレイの最大電力動作電圧には差異が生じる。

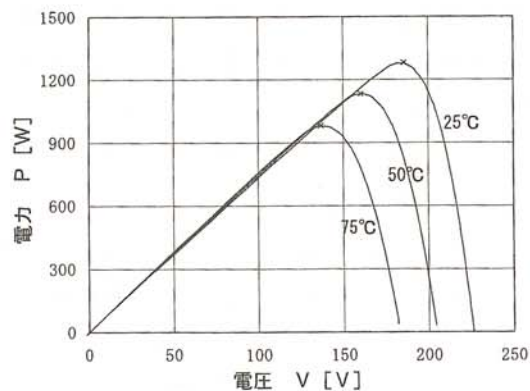
このような異なる角度に設置したアレイを並列接続してインバータに入力する場合、それぞれのアレイの動作電圧は同じ値になるので、それぞれのアレイは最大出力動作電圧では運転されない。従って、並列接続時の太陽電池出力は、それぞれのアレイの最大出力の合計値よりも小さくなる。

今回、この出力の低下がどの程度になるかを、第3図に示す実験系にて確認した。

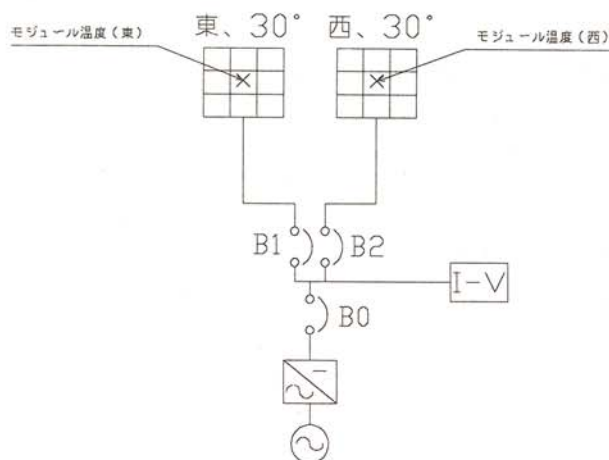
実験は、平成9年4月の晴天日に太陽光下で行った。第3図のブレーカB0～B2を閉じて、系統連系運転を行いながら、適時B0を開いて各アレイ、2アレイ並列時のI-V特性および外気温、モジュール温度、各受光面の日射強度を測定した。更に、それぞれのI-V特性から最大出力を計算し、並列時の最大出力がそれぞ



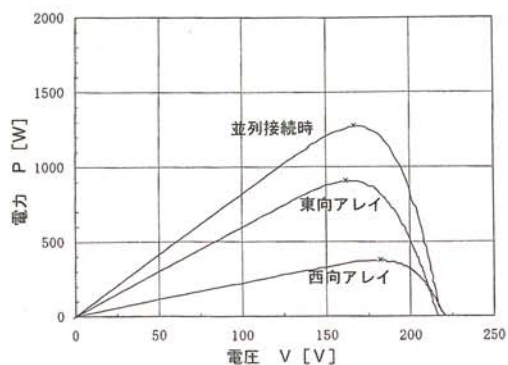
第1図 太陽電池のI-V特性



第2図 太陽電池のP-V特性



第3図 実験系ブロック図



第4図 実験結果

れのアレイの最大出力の合計値に対していかなる比率になるか計算した。その結果を第1表に、また、P-V特性の代表例を第4図に示した。

第1表の“発電量”の欄において、“西のみ”は西向きアレイのみの発電量、“東のみ”とは東向きアレイのみの発電量、“合計”とはこれら2つの値の合計である。従って、“合計”の電力が出力として得られるのが理想的である。これに対して“東西並列”とは東西向きの2アレイを並列接続した場合の発電量で、異方位アレイ並列接続による損失を含んでいる。“東西並列”の“合計”に対する比率を“比率 実験値”に示している。

例えば、9:54:36の測定値では、394.4Wと902.4Wの合計が1296.8Wとなり、1281.0Wを1296.8Wで除した値が98.8%となる。従って、異方位アレイの並列接続によって1.2%の損失が生じていることが判る。

この結果を見ると、どの時間帯（日射強度）においても、出力の低下率は2%程度までに収まっている。特に、出力の大きい時間帯では1%程度になっている。第4図は、比較的低下率の大きいときの各アレイのP-V特性の比較であるが、最大出力動作電圧の差は20V程度で、比較的输出電力の変化の小さい範囲であり、大きな損失につながっていないことが確認できる。

第1表 実験結果

時刻	気温	モジュール温度		日射強度		発電量				比率 実験値	比率 計算値
		西	東	西	東	東西並列	西のみ	東のみ	合計		
9:14:16	7.0℃	9.9℃	37.5℃	0.190 kW/m ²	0.795 kW/m ²	1074.0 W	220.6 W	874.6 W	1095.2 W	98.1%	99.1%
9:54:36	9.7	16.6	35.6	0.330	0.805	1281.0	394.4	902.4	1296.8	98.8	98.7
10:33:33	9.1	22.2	34.5	0.470	0.805	1425.2	558.4	882.4	1440.8	98.9	99.0
11:21:52	11.0	29.9	35.6	0.620	0.755	1528.5	705.6	838.6	1544.2	99.0	99.7
11:50:37	11.3	34.5	35.5	0.700	0.710	1535.8	764.5	776.5	1541.0	99.7	99.9
13:21:14	13.1	40.8	29.1	0.835	0.485	1402.9	887.5	530.5	1418.0	98.9	98.9
14:04:52	13.9	42.8	24.9	0.835	0.335	1233.8	898.6	353.4	1252.0	98.5	98.2
14:57:18	14.9	41	17.6	0.805	0.155	1003.6	872.8	139.5	1012.3	99.1	99.6

3. シミュレーションによる検討

前項の実験では測定条件が限られているので、他の条件での低下率を推定するためにシミュレーションを実施した。

シミュレーションは、標準状態でのI-Vデータを基に、式(1)、(2)で示したJISC8914の補正式により、運転条件での各アレイの特性を求め並列接続時の特性はそれぞれを合成して求めた。

$$I_2 = I_1 + I_{sc} (E_2/E_1 - 1) + \alpha (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$V_2 = V_1 + \beta (T_2 - T_1) - R_s (I_2 - I_1) - K \cdot I_2 (T_2 - T_1) \quad (2)$$

ここで、 V_2 、 I_2 、 E_2 および T_2 は標準状態での電圧値、電流値、日射強度、および素子温度であり、 V_1 、 I_1 、 E_1 および T_1 は計算しようとする状態での電圧値、電流値、日射強度、および素子温度である。

また、

α : 温度が 1°C 変化したときの I_{sc} の変動値 [$\text{A}/^\circ\text{C}$]

β : 温度が 1°C 変化したときの V_{oc} の変動値 [$\text{V}/^\circ\text{C}$]

R_s : モジュールの直列抵抗 [Ω]

K : 曲線補正因子 [$\Omega/^\circ\text{C}$]

I_{sc} : 標準状態での短絡電流 [A]

である。

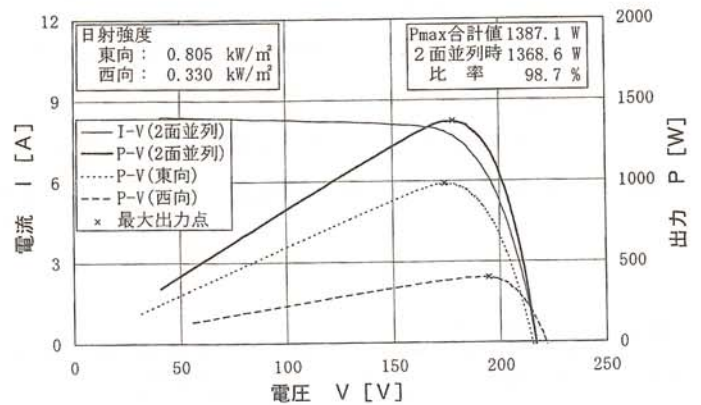
前項の実験条件に合わせてシミュレーションで求めた比率を第1表に示した。この値を実験より求めた値と比較すると比較的よく一致していることが判る。

また、第4図に対応したシミュレーション結果を第5図に示した。これらと比較すると、その傾向はよく一致している。ここで、実験結果の電圧がやや低くなっているが、これは配線や逆流防止ダイオードでの電圧低下が影響していると考えられるが、出力低下率の検討にはほとんど影響はなく、計算方法の妥当性が確認できる。

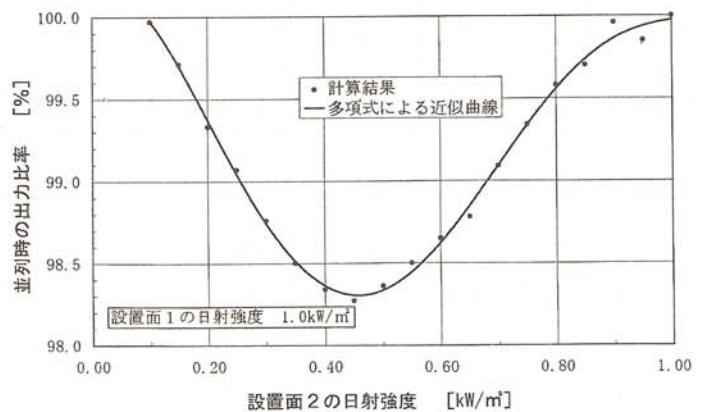
このシミュレーション手法を使用して他の条件での低下率を計算した結果が第6図である。これを見ると、最大で約1.8%の低下に留まっている。

4. 考察

今回、実験とシミュレーションにより、異方位設置アレイ並列接続時の出力低下率を確認した結果、年間発電量の低下率にして、最大で1.5%程度と推測できる結果をえた。この低下率は、本来の性能の著しい低下を示すものではなく、住宅の屋根の事情を考えれば、異方位アレイの並列接続は許容される設置条件であると判断する。



第5図 シミュレーションによる I-V、P-V 特性結果



第6図 シミュレーションによる出力低下率計算結果

たまねぎジュースの老齡ラット 性行動に及ぼす影響

Pharmaceutical Activities of Onion Juice
on Sexual Actions of Aged Rats

客員教授 中井義昭 (荻田バイオ・サイエンス研究所)

Yoshiaki Nakai (Ogita, s Bioscience
Research Laboratory)

Key Words : Onion Juice, Sexual Actions, Aged
Rats, Pharmaceutical Activities,

1. 緒言

たまねぎが人類の歴史に登場したのは非常に早く、古代エジプトの古王国時代（紀元前2300年頃）すでに魔力をもつ食品としての記載があり、古代ギリシャでも「聖菜」として重宝され、さらにローマ時代には軍隊のエネルギー食として活用したとされている。

しかし わが国で現在のような型のたまねぎが普及したのは意外に遅く、明治の初期 洋食の普及と同じ頃であった。これは たまねぎが洋食の名脇役であることから領ける。

たまねぎは前述の如く 古くから魔力（効き目）のある食品とされてきたが、最近になってからも世界の研究者によって現代科学による作用の解明がなされており、抗血栓 抗動脈硬化 抗糖尿 抗アレルギー 抗癌など数々の報告がある。

著者らも数年前より 北見工業大学 小林 正義 教授を中心に バイオリアクターを応用した連続発酵法による たまねぎワイン たまねぎ酢などの製造技術開発のほか、薬理作用面についても検討を行ってきた。その結果 たまねぎジュース たまねぎ酢に「人の男性ホルモン増強作用」のあることを見出した。

今回 この男性ホルモン増強作用に関連して、老齡ラットの性能力改善作用について行動薬理学的手法を用いて検討を行なったところ興味ある成績を得たので報告する。

2. 実験方法

2-1 たまねぎジュースの製造方法

北海道産赤たまねぎ（くれない）の外皮をとり上下を裁断しジューサーを用いて粥状にしこれを定性分析用濾紙を用いた吸引濾過にて粗繊維などの夾雑物を除去し、濾液を393K, 30分間オートクレーブ中で加熱滅菌する。析出物を同様に誘引濾過して除去し冷蔵保存する

2-2 使用動物 および飼育条件

試験には 老齢（70週令のF334系雄）ラット と成熟（20週令のF334系雄）ラットを使用した。飼育は室温20～26℃ 湿度40～70% 明暗各12時間（照明：AM6～PM6） ステンレス製ケージで個別飼育し、7日以上飼育して一般状態に異常の認められない動物を用いた。飼料は固形飼料（オリエンタル酵母株、CRF-1） 飲料水は水道水をそれぞれ自由に摂取させた。

2-3 投与 および 投与期間

1日2回、午前 午後に たまねぎジュース または媒体（生理食塩水）を経口ゾンデを用いて強制的に経口投与した。投与期間は連続14日とし、それ以降は それぞれ性行動 観察終了日までとした。

2-4 試験の群構成

動物	試験群	投与量	匹数
老齢（雄）ラット （70～72週齢）	媒体（生理食塩水）群	5 ml（Kg体重）	10
	たまねぎジュース1ml群	1 ml	10
	たまねぎジュース5ml群	5 ml	10
成熟（雄）ラット （19～20週齢）	成熟 コントロール群	0 ml	10

2-5 性（交尾）行動の観察

老齢ラットには、媒体（生理食塩水）および たまねぎジュースを14日間 連続投与後に観察を行なった。また成熟ラットの場合は、何も投与せずに直接観察を行なった。

1) 一般状態

一般状態および死亡の有無を午前中に1回、投与1日目より14日間 観察した。

2) 体重測定

投与開始日（1日目）、投与3日目、8日目、10日目および14日目の午前中に1回測定した。また交尾観測期間中も1日1回測定した。

3) 交尾行動の観察

午後8時～翌日の午前5時までの交尾行動をビデオで撮影し、観察を行なった。

すなわち、試験ラットを防音室内で床敷きを入れたプラスチックケージに1匹ずつ入れこの中に発情期の雌ラットを同居させ、交尾行動を以下の各指標に従ってビデオで再生した画面より定量的に観察した。

交尾行動の指標

①乗駕回数 (mount frequency) : 挿入を伴わない乗駕のみの回数

②挿入回数 (intromission frequency) : 挿入を伴う乗駕回数

③射精回数 (ejaculation frequency) : 射精を伴う乗駕回数

2-6 統計学的方法

結果は、平均および標準誤差でしめした。

有意差検定は、成熟ラット群 と 老齢ラット媒体 (生理食塩水) 群

老齢ラット媒体群 と老齢ラットたまねぎジュース各群 (1ml, 5ml)

成熟ラット群と老齢ラットたまねぎジュース各群 (1ml, 5ml)

の各群間で行なった。有意水準は危険率5%未満 ($p < 0.05$) とし、5%未満と1%未満に分けて表示した。有意差検定は、F検定後 等分散の場合にはt検定を、不等分散の場合にはAspin-Welch検定を行なった。

3. 実験成績

3-1 一般状態

老齢ラット媒体群、老齢ラットたまねぎジュース各群ともに異常は認められず、死亡も認められなかった。

3-2 体重

結果を図1に示した。老齢ラット媒体群と老齢ラットたまねぎジュース各群とも明らかな差は認められなかった。

3-3 交尾行動

結果を図2、図3に示した。

老齢ラット媒体群では、成熟ラット群と比較して乗駕回数、挿入回数、射精回数の減少すなわち交尾行動の減退がみとめられた。

またたまねぎジュース1ml群では、媒体群と比較して明らかな差は認められなかったが、たまねぎジュース5ml群では乗駕回数の有意な増加、挿入および射精回数の増加傾向が認められた。

図 1
老齢ラットの体重推移に対する
たまねぎジュースの効果

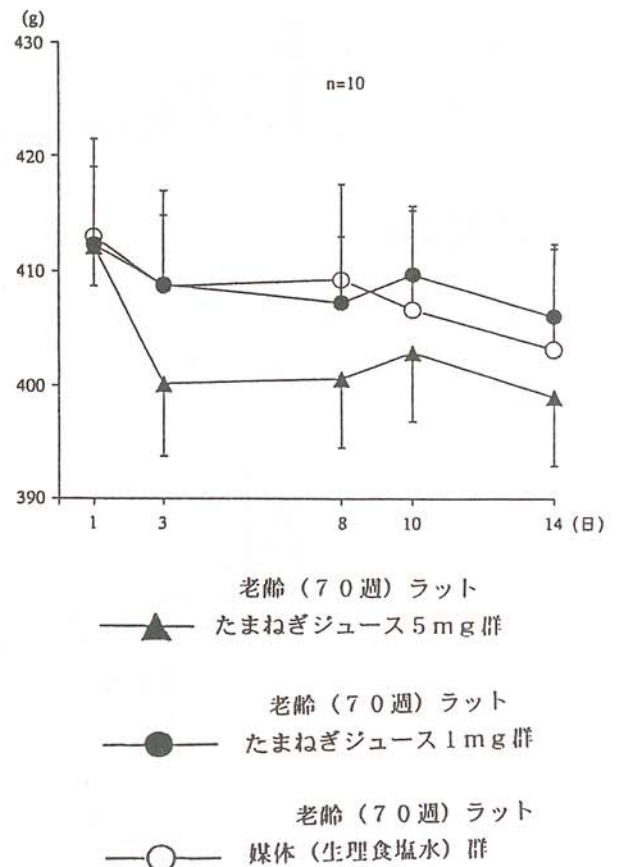
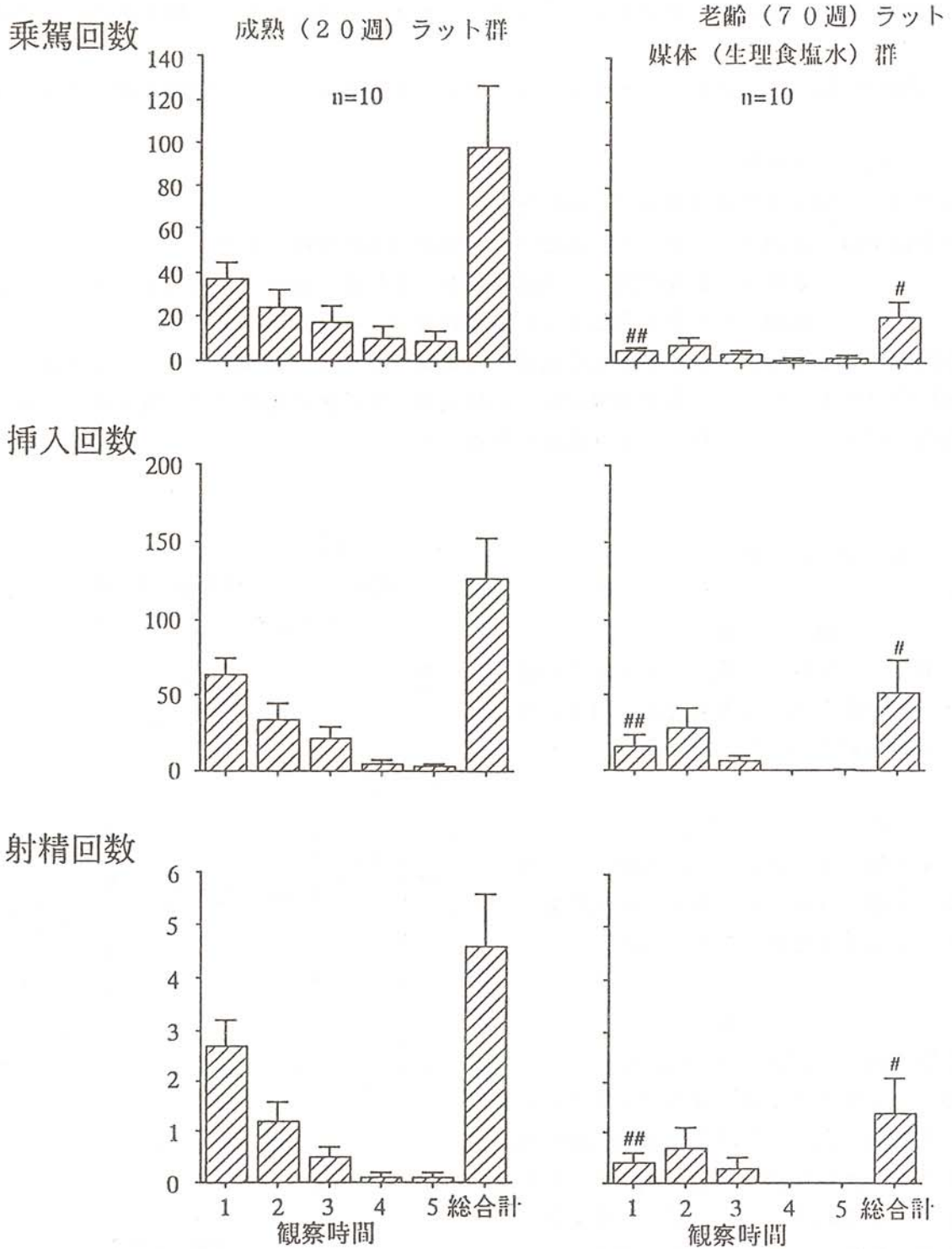
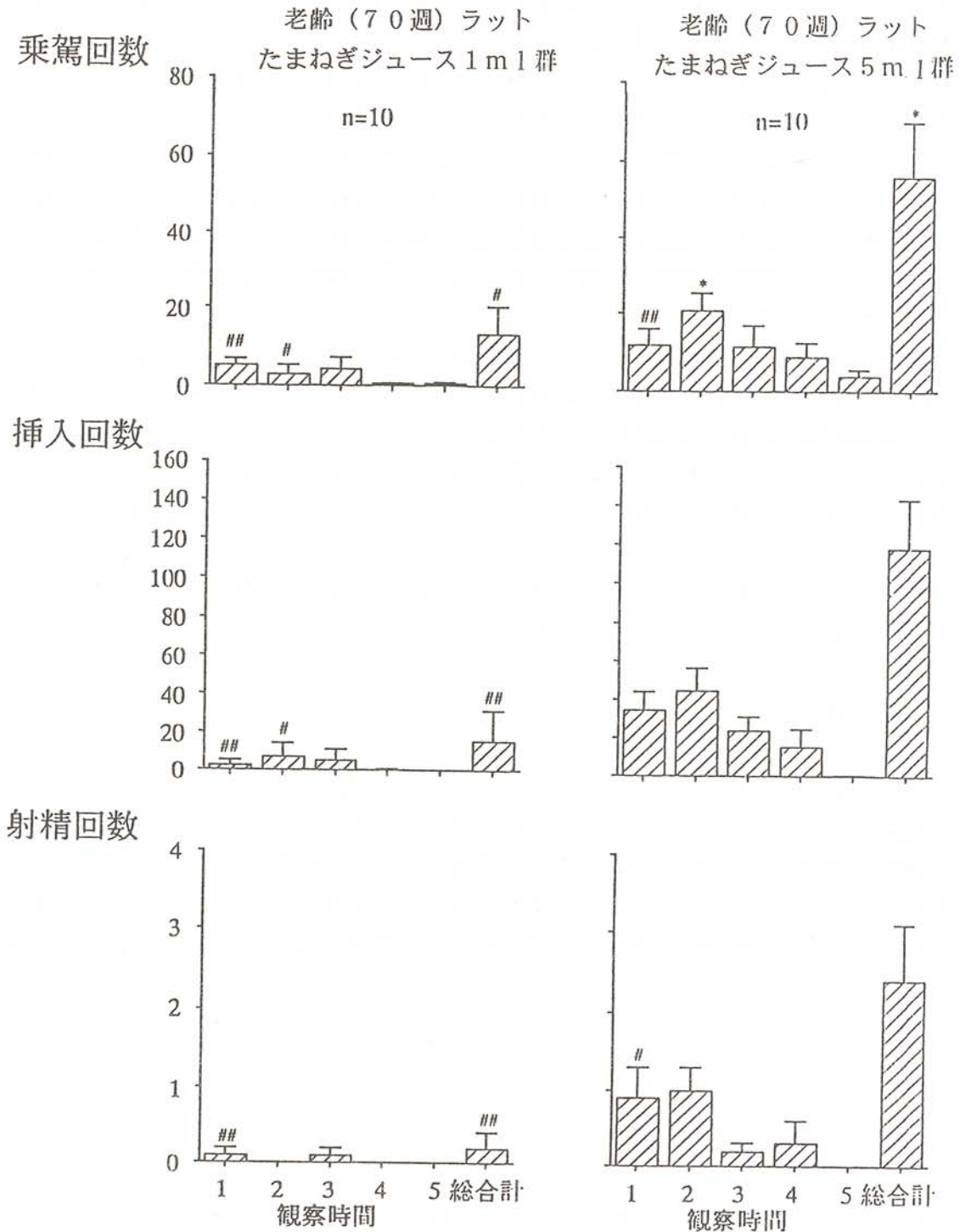


図 2
 成熟(雄)ラットと老齢(雄)ラットの交尾行動に対する相異



$p < 0.05$, ## $p < 0.01$ 成熟ラットに対して有意差あり
 (t検定 Aspin-Weilch検定)

図 3
 老齡 (雄) ラットの 交尾 行 動 に対 する
 た ま ね ぎ ジ ュ ー ス の 効 果



p < 0.05, ## p < 0.01 成熟ラットに対して有意差あり
 (l検定 Aspin-Welch検定)
 * p < 0.05 老齡ラット媒体に対して有意差あり
 (t検定 Aspin-Welch検定)

4. 考 察

雄の性機能が 加齢につれて減退することは、ヒトを含む多くの哺乳動物において広く認められている。この現象はラットでも見られており、Hashizume¹⁾らはwistar系ラットによる研究で 繁殖能は 30週で85% 60週で35% 93週で0% となったことを報告している。またFrankel²⁾は繁殖能の消失した老齢(108週齢)雄ラットで、血漿テストステロン濃度の低下を認めている。

先に われわれは、たまねぎジュース たまねぎ酢の飲用により男性(50~60才)の血中テストステロンが増加することを見だし報告³⁾した。

今回 これに関連して たまねぎジュースが老齢(70週齢)ラットの性機能に影響を与えるか否かについて、交尾行動を中心に行動薬理学的手法を用いて検討した。その結果 体重1Kg当たり1ml投与では顕著な効果は見られなかったが、5ml投与群で媒体(生理食塩水)群にたいして 交尾行動減退の回復(乗駕回数、挿入回数、射精回数の明らかな増加)がみとめられた。

この原因が テストステロンの増強と直接関連しているか否かは明らかではない。たまねぎの成分の中には 血液凝固を抑制する硫黄化合物のほか フレボン系抗酸化物 免疫機能促進作用のある多糖類 肝機能改善作用をもつビタミンB₁、B₂、C や種々のミネラル類の存在も確かめられていることから、いろいろな作用メカニズムが考えられる。

性行動は 複雑な要素の集積によることも考えられ、中枢系 内分泌系 滋養強壮系の作用なども考慮する必要がある。

いずれにせよ たまねぎに このような一種の若返り効果の見いだされたことは、北海道の特産である たまねぎの再開発を願う者にとって朗報といえる。

5. 結 論

- 1) 老齢(70週齢)ラットの性機能は、成熟(20週齢)ラットに比較して明らかに低下していた
- 2) 老齢ラットに たまねぎジュースを体重1Kg当たり1ml、14日連続投与したが効果はなかった。しかし 5ml投与した場合 明らかな性機能の回復がみられた
- 3) 老齢ラットに たまねぎジュースを体重1Kg当たり1ml、5ml 14日連続投与したが一般状態、体重に何ら異常はなく死亡例も見られなかった。

文献

- 1) Hashizume, K :The relationship between serum hormone levels and reproductive ability in aging male rats. Exp.Anim., 33,159~163 (1984)
- 2) Frankel, A. I. :Hormone release during computermonitored sexual behavior in mature and aged male rats. Horm Behav., 15, 312~320 (1981)
- 3) Kobayashi, M., Nakai, Y., たまねぎ食酢類の薬理学的研究
北見工業大学 地域共同研究センター 研究成果報告書 第3号 5~10 (1996)

がいし絶縁特性監視システムの開発

Development of Insulation Deterioration Monitoring System

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)
山内 亮治郎 (北海道電力株式会社旭川支店)
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)
Ryojiro YAMANOUCI (The Hokkaido Electric Power Co., Inc.)
Akihiro SAITOU (The Hokkaido Electric Power Co., Inc.)

Key words: insulator, insulation deterioration, sea salt contamination, wet snow

1. まえがき

海岸線地域を通過している送電線のがいしは、台風などの強風による塩分汚損や冬季の着氷雪またはこれらの複合した条件下では絶縁性能が低下し支障を来す可能性がある。筆者らは平成3年から北海道電力株式会社の留萌電力所構内に設置した試験用がいしの汚損状態の観測を直流漏洩抵抗を測定して行ってきた。がいしの直流漏洩抵抗は塩分汚損の状態、湿度、風向、降雪、降雨等の気象条件により低下する事を報告してきた^(1~4)。

また、同じ塩分汚損量でも、湿度により漏洩抵抗が変化する事から、実験室において種々の汚損量についてそれぞれ湿度を変えて漏洩抵抗を測定し漏洩抵抗の汚損量と湿度の関係を調べている^(5, 6)。

このように実験室において測定した漏洩抵抗の湿度と汚損量の関係とフィールドで測定した試験用がいしの漏洩抵抗と湿度の関係から、がいしの汚損状態を推定する事が可能ではないかと考えている。これらのデータから送電線用がいしの汚損状態を把握し、送電線の保守を支援する絶縁監視システムを構築できるものと考えられる。

今回、観測地点を増やすとともに、それぞれのデータを自動的に収集し、評価できる絶縁監視システムを開発中であるのでその一部について報告する。

2. 絶縁監視システムの概要

< 2・1 > 観測地点 絶縁監視システムの観測地点は日本海沿いの送電線、苫前線上の留萌、鬼鹿、苫前の3地点である。各地点の変電所構内に観測機器を設置している。各地点とも日本海に面し塩分汚損の起きやすい地点である。苫前、鬼鹿の変電所は無人で、留萌は人が

常駐している。各地点はISDN回線で結ばれており鬼鹿、苫前のデータを留萌へ転送し留萌で全地点の監視を一括して行う予定である。平成8年2月よりデータ収集を開始したが、現在のところ点線の様に市販の通信ソフトを用い各地点の定時データを8時と15時に北見へ自動的に収集し、鬼鹿、苫前のデータを北見から留萌へ転送している。今後は留萌電力所を管轄する旭川支店送電課へデータを自動的に転送して観測データを評価できるようにする予定である。

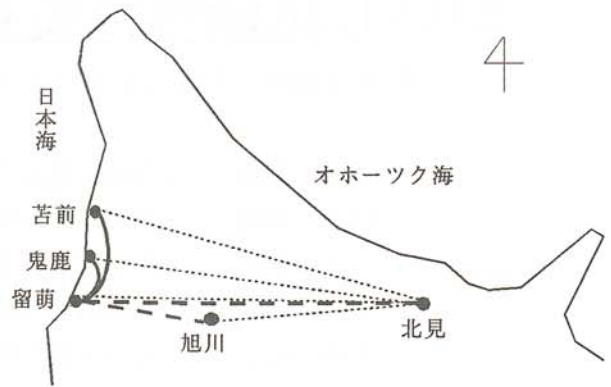


図1 観測地点

< 2・2 > 絶縁監視システムの構成

図2に各地点に設置された監視システムの構成を、図3に監視システムのフロー、図4に画像伝送された試験用がいしの設置状況を示す。図2に示す様にパイロットがいしは標準懸垂がいし3個連及び長幹がいしでパンザマスト上に設置し、上下に各1個の絶縁用の標準懸垂がいしを配置した。また近くに立てた別のパンザマスト上に風向風速計と温湿度センサーを設置し、がいしの状態を観察するためにテレビカメラを設置してある。風向、風速、温度、湿度、長幹及び標準懸垂がいしの漏洩抵抗をデジタルマルチメータで1分毎に測定しGP-IBを介してパソコンに取り込んでいる。がいしの漏洩抵抗はパイロットがいし下部に取り付けた模擬導体にDC100Vを印加して検出抵抗により漏れ電流を計測し、がいしの漏洩抵抗を算出している。

図4に見られるように、監視システムでは1分毎にそれぞれのデータを計測し、モニタ画面に表示し、10分毎にデータをハードディスクに記録している。現在のところ、1日に2回自動的に苫前、鬼鹿、留萌から北見へ計測データ及び画像データを転送し、苫前、鬼鹿のデータは北見から留萌へ転送している。今後は、実験室で得られた、がいしの漏洩抵抗の汚損量と湿度の関係を用いて警戒すべきと判断される漏洩抵抗の基準値を設け、実際に計測した漏洩抵抗

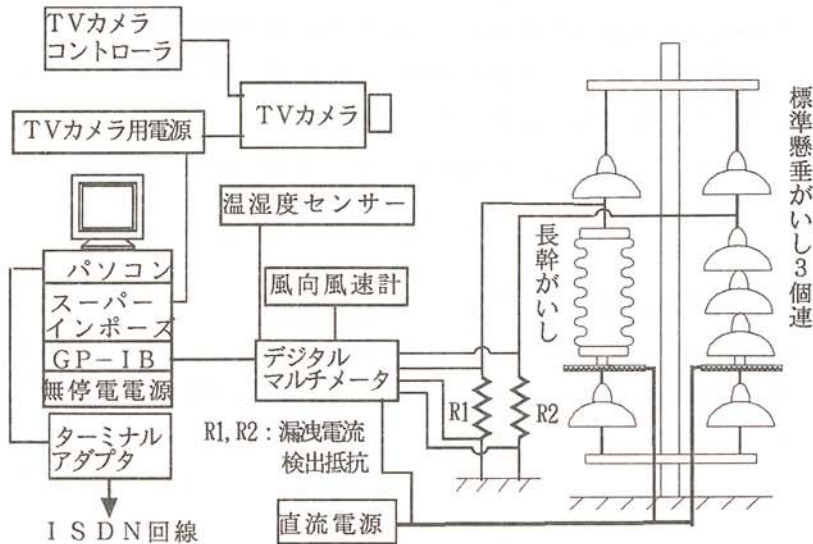


図2 絶縁監視システムの構成

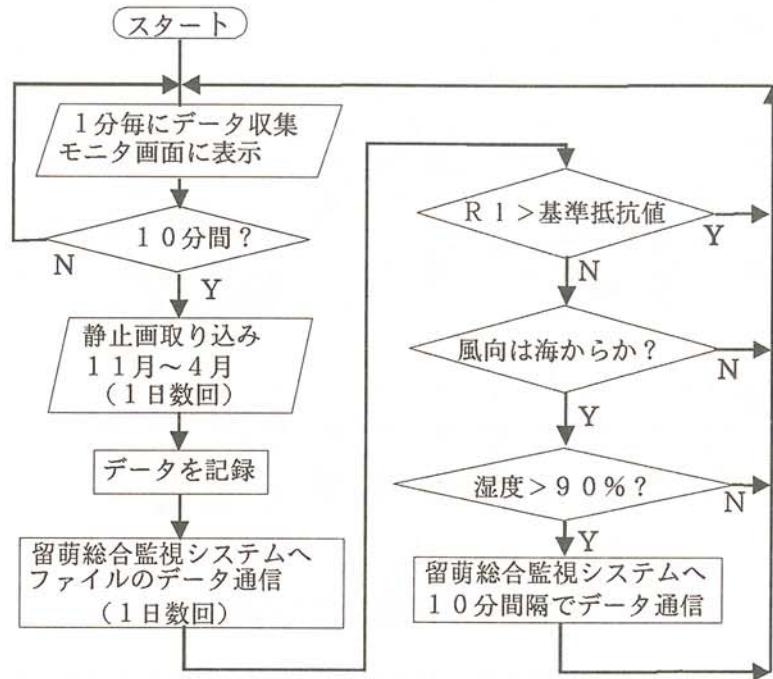


図3 監視システムのデータ収集・判断フロー

値がこの基準値を下回った時には風向等を考慮して警報を発し、データの転送を10分間隔にする事を考えている。留萌電力所の総合監視システムでは各地点の計測データを一括して画面にグラフィック表示する事ができる。これらのデータや画像データを総合的に判断することで送電線の保守、点検に役立てられるのではないかと考えている。

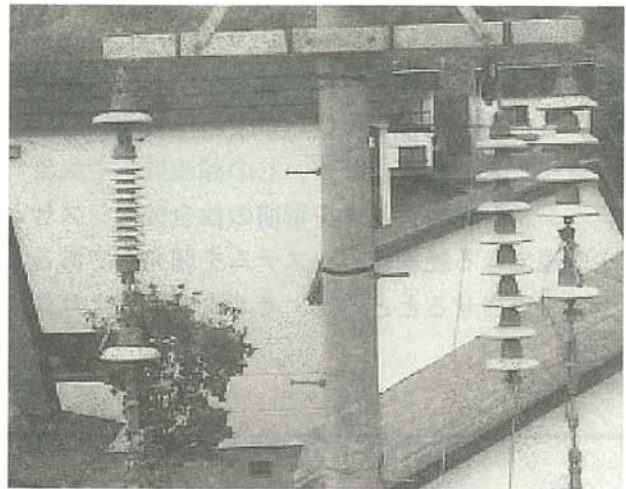


図4 画像伝送された試験用がいしの様子

3. 観測結果

図4に1996年2月~1997年1月までのそれぞれの地点の標準がいしの漏洩抵抗の最低値を示す。それぞれの地点で漏洩抵抗の最低値を示す日付けは異なる場合もある。しかし、3地点のうち、1日あるいは1ヶ月の中での最低値を示すのは、苫前が多い。これは苫前の変電所が海岸から直線距離で約450mと最も近いため、海からの塩分の影響を受けやすいためと思われる。鬼鹿は海岸から約750m、留萌は約2kmとなっていて標準がいしの漏洩抵抗の最低値はおおむね海岸からの距離が近いほうが低くなる傾向を示す。漏洩抵抗が低くなる季節は、雪は降るが比較的気温が高く、雪が融けてがいし表面を濡らすような11月、12月の冬季の始まり、あるいは3月や4月のような冬季の終わりの様である。またこの季節は日本海からの風が強くなり、湿った雪と海からの塩分による影響が大きい。

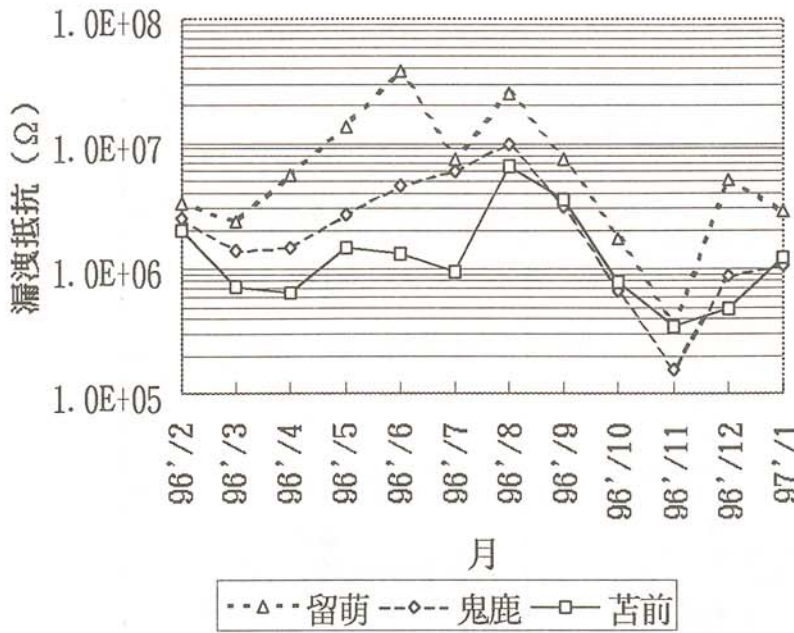


図4 1996年2月から1997年1月までの各地点の月毎の漏洩抵抗最低値

4. まとめ

日本海沿岸では塩分汚損や着氷雪により送電線用がいしの絶縁が低下し支障を来す可能性がある。この様な送電線のひとつである苫前線沿いの留萌、鬼鹿、苫前の3カ所に観測地点を設け、監視システムによりがいしの漏洩抵抗や気象データの収集を行っている。鬼鹿、苫前の計測データ及び画像データを留萌の総合監視システムにISDN回線を通じて転送し、各地の状況を監視できる絶縁監視システムを開発中である。現在未完成部分もあるが、今後早急にシステムを完成させるとともに、モニタ画面をより見やすくする等の改良を行う予定である。

文 献

- (1) 高山、渡辺、菅原、保莉、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、保莉、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、保莉、土方：「気象変化と碍子連の絶縁特性（Ⅲ）－降雪の影響－」、平成4年度電気関係学会北海道支部連合大会、No. 246
- (4) 保莉、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) バユ、菅原、保莉、土方：「がいしの直流漏洩抵抗の湿度依存性」、平成7年度電気関係学会北海道支部連合大会、No. 71
- (6) バユ、下川、菅原：「がいしの直流漏洩抵抗の湿度依存性（2）－汚損量の影響－」、平成7年電気学会全国大会、No. 1614

コンクリート製品の高品質化に関する研究(第4報)

A Study on Improving the Quality of Concrete Products (Fourth 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)
藤村 満 (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)
Hiroshi SAKURAI (Kitami Institute of Technology)
Mitsuru FUJIMURA (Abashiri Concrete Products Cooperative Society)
Chikara KONISHI (Kitami Institute of Technology)

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

1. 序論

コンクリート製品工場において振動締めが不要な高流動コンクリートを用いれば、これまで問題とされていた振動機による工場周辺への騒音、型枠の損傷等の問題が解消される。また、高流動コンクリートの高い流動性、充てん性、材料分離抵抗性等の優れた特質から製造設備の耐久化、製造工程の省力化、不良率の低減など様々な利点¹⁾が考えられ、合理的なコンクリート製品の製造が可能であると考えられる。

一般にコンクリート製品の製造には促進養生として蒸気養生が行われているが、蒸気養生期間を短縮し型枠の回転率を高めることは製造コストの低減において非常に効果的である。

そこで本研究では、W/C=40%と50%の普通ポルトランドセメント(以下、普通セメント)とW/C=40%の早強ポルトランドセメント(以下、早強セメント)を使用し、蒸気養生条件の前養生時間及び配合が高流動コンクリートの強度発現に及ぼす影響と高流動コンクリートの製品への適用性について検討した。なお、W/C=40%、普通セメントを使用した高流動コンクリートのデータは既往の報告書²⁾を参考にした。

2. 実験方法

2. 1 使用材料及び配合

表1に使用材料を、表2に配合を示す。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。なお、単位水量及び単位増粘剤量は一定とした。セメントはW/C=40%のコンクリートには普通セメントを使用し、W/C=50%のコンクリートには普通セメントと早強セメントを使用した。

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (比表面積: 3370cm ² /g)
	早強ポルトランドセメント (比表面積: 4520cm ² /g)
粗骨材	川砂利、表乾比重: 2.65、吸水率: 1.46%、粗粒率 6.99、G _{max} : 25mm
細骨材	川砂、表乾比重: 2.65、吸水率: 1.87%、粗粒率 2.65
増粘剤	水溶性セルロースエーテル
高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物
A E 剤	天然樹脂酸塩

表2 配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				増粘剤 (kg/m ³)	高性能 減水剤 (C×%)	A E 剤 (C×%)
		W	C	S	G			
40	41	175	438	689	1007	0.3	1.7	0.052
50	45	175	350	789	979	0.3	1.8	0.050

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ーを用いて行った。練混ぜは粗骨材+細骨材+セメント→60秒間空練り→練混ぜ水+A E 剤→60秒間練混ぜ→ミキサー一時停止→高性能減水剤→120秒間練混ぜ、の順序で行った。排出後円柱型枠に2層に分け突き棒で10回突いた後に木づちで軽く型枠を叩き締め固めた。なお、振動機等による締固めは行っていない。

2. 3 蒸気養生

蒸気養生条件を図1、表3に示す。

(1) 前養生

供試体打込み後、型枠のまま蒸気養生槽に入れ、養生温度20℃で1、2、4時間行った。

(2) 等温養生

所定の前養生を行った後、そのまま蒸気養生槽内で常圧で65℃、4時間の蒸気養生を行った。なお、前養生20℃から等温養生65℃までの温度上昇速度は20℃/hとした。

(3) 等温養生終了後の養生

蒸気養生終了後、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。

(4) 標準養生

比較のために蒸気養生を行わず、型枠のまま恒温恒湿室(室温20℃、相対湿度90%)に約24時間置いた後に脱型し、所定の試験材齢まで標準養生(20℃水中)を行った供試体を作成した。

3. 圧縮強度試験

JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠しφ10×20cmの円柱供試体を用い、1養生条件につき3個ずつ行った。試験材齢は材齢1、3、14、28日とした。

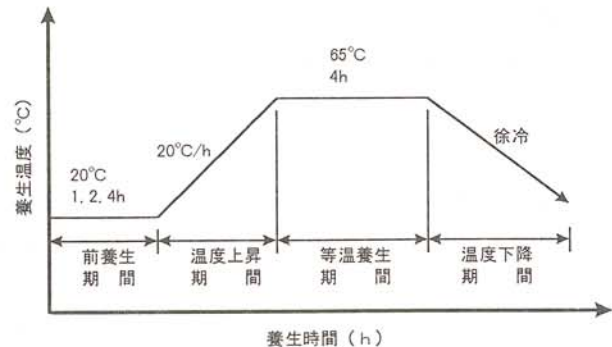


図1 養生時間と養生温度

表3 蒸気養生条件

供試体	W/C (%)	セメント	前養生		等温養生	
			温度	時間	最高温度	保持時間
OPC40-S	40	普通セメント	標準養生			
OPC40-1			20℃	1 h	65℃	4 h
OPC40-2				2 h		
OPC40-4				4 h		
OPC50-S	50	普通セメント	標準養生			
OPC50-1			20℃	1 h	65℃	4 h
OPC50-2				2 h		
OPC50-4				4 h		
HPC50-S	50	早強セメント	標準養生			
HPC50-1			20℃	1 h	65℃	4 h
HPC50-2				2 h		
HPC50-4				4 h		

4. 実験結果及び考察

4. 1 高流動コンクリートの製品への応用

表4に圧縮強度試験結果を示す。また、表5に主なコンクリート製品の圧縮強度の一例³⁾を示す。

表4 圧縮強度試験結果

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)			
	材齢 1日	3日	14日	28日
OPC40-S	16.0	24.6	36.0	39.2
OPC40-1	20.9	23.1	25.8	27.6
OPC40-2	24.4	29.7	34.8	37.8
OPC40-4	29.1	33.0	36.8	40.9
OPC50-S	8.1	16.4	28.9	33.0
OPC50-1	11.8	15.2	20.3	21.8
OPC50-2	11.9	16.7	21.3	22.6
OPC50-4	16.8	21.0	25.8	31.4
HPC50-S	12.3	22.7	31.7	35.4
HPC50-1	13.9	17.3	20.8	22.2
HPC50-2	17.9	21.1	22.1	25.1
HPC50-4	22.2	27.9	30.5	33.2

表5 主なコンクリート製品の圧縮強度の一例

コンクリート製品		圧縮強度 (N/mm ²)
遠心力締固め製品	ポ ー ル	40~50
	ヒ ュ ー ム 管	35~48
振動締固め製品	鉄筋コンクリート矢板	30~45
	道 路 用 製 品	32~42
	無筋コンクリートブロック	20~30
PC製品	梁、まくら木	45~62
即時脱型製品	ブ ロ ッ ク 類	25~35

(1) W/C=50%、普通セメントを使用した高流動コンクリートの製品への適用性

図2に W/C=50%、普通セメントを使用した場合の前養生時間と圧縮強度の関係を示す。前養生時間が1、2時間の場合、材齢1日の圧縮強度は 12N/mm^2 程度となった。これは一般的なコンクリート製品では脱型可能な強度⁴⁾である。また、材齢28日の圧縮強度は 21N/mm^2 程度となり、この場合無筋コンクリートブロックへの適用が可能である。これに対して前養生を4時間行った場合、材齢1日の圧縮強度は 17N/mm^2 と早期における強度発現は前養生を1、2時間行った場合に比べ良好であった。また、材齢28日の圧縮強度も 31N/mm^2 となり、この場合道路の側溝用鉄筋コンクリート等の道路用製品への適用が可能であると考えられる。

以上の結果から、W/C=50%、普通セメントを使用した高流動コンクリートの場合、無筋ブロックの製造には前養生時間が2時間以下でも所要の強度を得ることが可能であるが、道路用製品では前養生を4時間は行う必要があるといえる。

(2) W/C=50%、早強セメントを使用した高流動コンクリートの製品への適用性

図3に W/C=50%、早強セメントを使用した場合の前養生時間と圧縮強度の関係を示す。前養生時間が1時間の場合、材齢1日の圧縮強度は 14N/mm^2 、材齢28日の圧縮強度は 22N/mm^2 と普通セメントを使用した場合より若干大きくなった。前養生を2時間行った場合は1時間の場合より材齢1日、28日の圧縮強度は大きくなったが、道路用製品の所要強度を満足するにはいたらず、W/C=50%で早強セメントを使用した場合も道路用製品の製造には前養生を4時間行う必要があるといえる。なお、前養生時間1時間でも無筋コンクリートブロックの製造は可能である。

以上の結果から、W/C=50%、早強セメントを使用した高流動コンクリートの場合も普通セメントを使用した場合と同様、道路用製品には前養生を4時間行う必要があり、前養生時間の短縮にはつながらなかった。

(3) W/C=40%、普通セメントを使用した高流動コンクリートの製品への適用性

図4に W/C=40%、普通セメントを使用した場合の前養生時間と圧縮強度の関係を示す。前養生時間が1、2、4時間いずれの場合も材齢1日の圧縮強度は 20N/mm^2 以上となり、早期にお

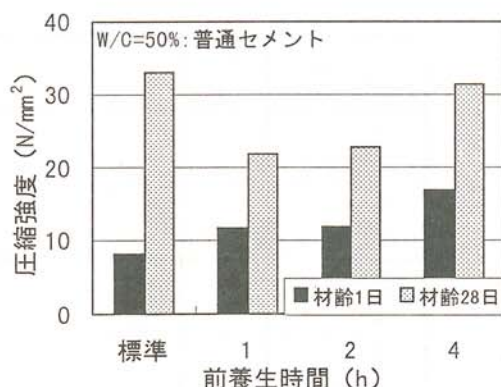


図2 前養生時間と圧縮強度 (W/C=50%、普通セメント)

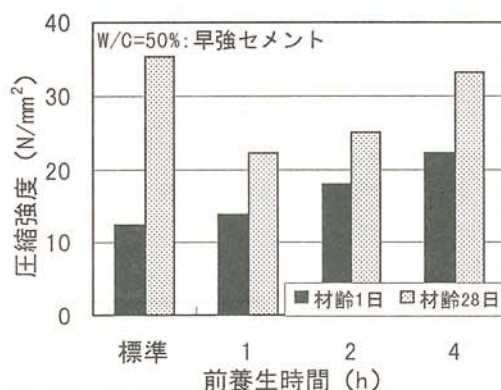


図3 前養生時間と圧縮強度 (W/C=50%、早強セメント)

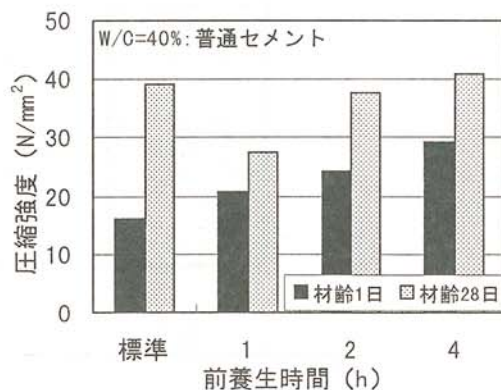


図4 前養生時間と圧縮強度 (W/C=40%、普通セメント)

ける強度発現は非常に良好であった。特に2時間以上の前養生を行うと材齢1日の圧縮強度は 25N/mm^2 程度となり、脱型時にプレストレスを導入する製品においても脱型可能な圧縮強度⁴⁾となった。また、材齢28日の圧縮強度も前養生を2時間以上行った場合 35N/mm^2 以上となり、標準養生した場合とほぼ同程度の圧縮強度となった。このことから、前養生を2時間以上行うと長期における強度の発現性は非常に良好であり、前養生2時間で道路用製品の製造が可能となり、この他にも上下水、農業用水、工業用水用に使用される管路製品への適用も可能であると考えられる。しかしながら、前養生を4時間行った場合でも材齢28日の圧縮強度は 40N/mm^2 であり、 $45\sim 60\text{N/mm}^2$ 程度の圧縮強度を要するPC製品に適用するには不十分であった。

以上の結果から、W/C=40%、普通セメントを使用した高流動コンクリートの場合、前養生を2時間行えば道路用製品、管路製品への適用が可能であり、早強セメントを使用するよりも前養生時間を短縮することが可能である。

4. 2 水セメント比、セメントの種類が高流動コンクリートの強度発現に与える影響

図5、図6に水セメント比及びセメントの種類と材齢1日、28日の圧縮強度の関係をそれぞれ示す。水セメント比50%で普通セメントを使用した場合の材齢1日の圧縮強度は、前養生を1、2時間行った場合では 12N/mm^2 程度、4時間行った場合では 17N/mm^2 程度であった。また、材齢28日の圧縮強度は、前養生を1、2時間行った場合 22N/mm^2 程度、4時間行った場合 31N/mm^2 であった。

(1) セメントの種類の影響

水セメント比を一定とし、普通セメントと早強セメントを使用した場合の高流動コンクリートの強度発現を比較すると、早強セメントを使用した場合の材齢1日の圧縮強度は、いずれの前養生時間の場合も普通セメントを使用した場合よりも10%程度大きくなり、早期における強度発現は早強セメントを使用したほうが良好となることが確認された。しかしながら、材齢28日の圧縮強度は、普通セメントを使用した場合とほぼ同程度となり、早強セメントが長期強度の発現性に及ぼす影響は小さかった。

(2) 水セメント比の影響

セメントの種類を一定とし、水セメント比が40%と50%の場合の強度発現を比較すると、水セメント比が40%の場合の材齢1日の圧縮強度は水セメント比50%の場合に比べ70~80%程度大きくなった。また、水セメント比50%、早強セメントを使用した場合と比較しても水セメント比40%、普通セメントを使用したほうが40~50%程度大きくなった。材齢28日の強度発現についても材齢1日と同様のことがいえ、特に前養生を2時間行った場合は水セメント比50%、普通あるいは早強セメン

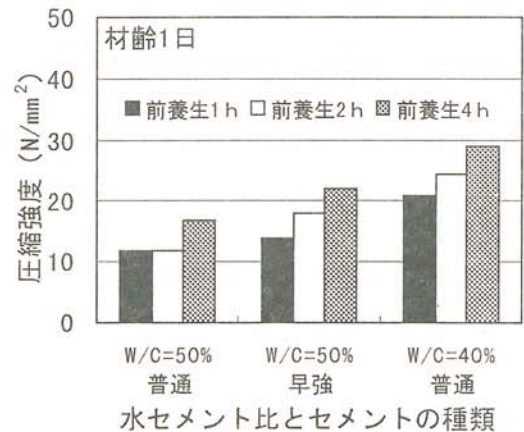


図5 配合と圧縮強度 (材齢1日)

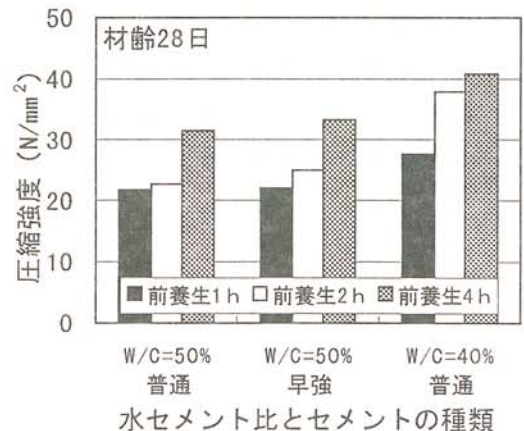


図6 配合と圧縮強度 (材齢28日)

トを使用したものより 80%程度大きくなった。

以上の結果から、長期における強度発現を損なわず、早期強度の発現性を良好とするためには、水セメント比 50%で普通セメントを使用する代わりに早強セメントを使用するよりも、水セメント比を 40%と低くするほうが効果的であることが明らかとなった。

5. 結論

W/C=50%で普通セメントまたは早強セメントを使用した高流動コンクリート、W/C=40%で普通セメントを使用した高流動コンクリートの強度発現と製品への応用に関する実験結果から以下のことが明らかとなった。

- (1) 無筋コンクリートブロックは、水セメント比 50%で普通セメントを用いた高流動コンクリートを使用し、前養生時間は 2 時間以下で製造可能である。
- (2) 側溝用鉄筋コンクリート等の道路用製品は、水セメント比 50%で普通セメントを用いた高流動コンクリートを使用し、前養生を 4 時間行うことで製造可能であるが、セメント量を増し水セメント比を 40%とすることで前養生 2 時間での製造が可能である。
- (3) 上下水、農業用水、工業用水用に用いられる管路製品には水セメント比 40%で普通セメントを使用した高流動コンクリートを使用し、前養生を 2 時間以上行うことが必要である。
- (4) 水セメント比 40%で普通セメントを用いた高流動コンクリートを前養生 4 時間行っても PC 製品への適用は困難である。
- (5) 水セメント比を 50%から 40%にすることで、長期強度の増進を停滞させることなく早期強度の発現性を良好とすることができる。

【謝辞】

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) 米倉敬一：コンクリート製品工場における高流動コンクリートの導入と展望、セメント・コンクリート、No. 585、pp. 9-14 (1995. 11)
- 2) 鮎田耕一、桜井宏、藤村満、大沼康弘：コンクリートの合理化施工に関する研究（第 3 報）、北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書 第 3 号、pp. 29-32 (1996)
- 3) 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)
- 4) 中山紀男、神田衛：コンクリートの製造と管理 12 章、共立出版株式会社 (1983. 3)

氷海域海洋コンクリート構造物の 耐久性に関する研究

A Study on Durability of Marine Concrete in Cold Regions

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

1. はじめに

海洋環境下のコンクリート構造物は、海水や波浪等の化学的、物理的作用により劣化しやすい。特に氷海域では凍結融解作用が加わるので表面剥離等の劣化が促進されやすい。表面剥離は、構造物の美観や景観を損なうだけでなく、コンクリートの耐久性を低下させる原因にもなっている。表面剥離の原因は内的要因と外的要因に分けられ、前者は使用材料、配合、養生等のコンクリート自体に関するもので、後者は気象や地形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、これらの表面剥離の実態を実気象・海象条件下で調査するために、図1に示す網走港で暴露試験を行っており、その結果、初期の圧縮強度を高めることで表面剥離を抑制できること¹⁾を明らかにした。そこで本研究では、8年間の暴露試験で得られた結果から初期の圧縮強度及び空気量による表面剥離の抑制について検討することを目的とした。



図 1 暴露場所

2. 暴露実験の概要

2. 1 暴露環境

網走港における暴露環境は、常時潮風を受け波しぶきをまれに受ける場所であり、土木学会コンクリート標準示方書の海洋コンクリートの環境区分の「海上大気中」に相当する。網走港

の暴露状況を写真1に示す。暴露供試体は消波ブロックを用いた。暴露試験は1988年10月から開始した。表1に網走港の1989年からの年最高気温と年最低気温及び1日の最高気温と最低気温から海水の凍結融解温度を -2°C として求めた年間推定凍結融解回数を示す。なお、1996年の気温及び年間推定凍結融解回数は、同年の8月までのものである。

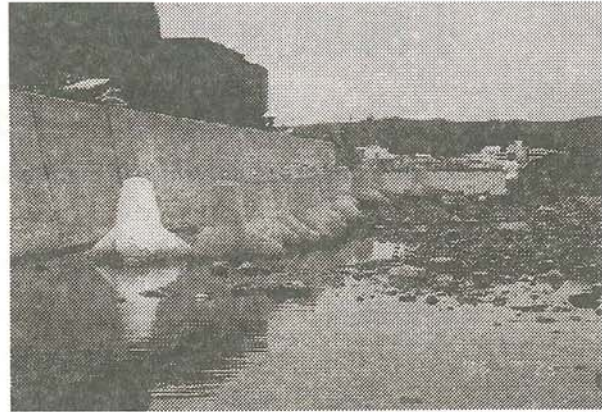


写真1 網走港暴露状況

表1 最高気温、最低気温、凍結融解回数

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	合計
最高気温($^{\circ}\text{C}$)	33.0	33.4	31.7	31.8	32.2	36.9	33.3	29.0	—
最低気温($^{\circ}\text{C}$)	-15.5	-17.4	-13.2	-15.5	-13.6	-17.8	-17.2	-16.6	—
凍結融解回数	83	74	68	76	82	80	89	53	605

2.2 使用材料

- セメント：普通ポルトランドセメント（記号：NN）、比重3.16、比表面積 $3340\text{cm}^2/\text{g}$
 高炉セメントB種（記号：BB）、比重3.05、比表面積 $3880\text{cm}^2/\text{g}$
 フライアッシュセメントB種（記号：FB）、比重2.95、比表面積 $3320\text{cm}^2/\text{g}$
- 粗骨材：最大寸法25mm（比重2.57、吸水率2.22%）と40mm（比重2.57、吸水率2.13%）の常呂川産川砂利を容積比率6:4で混合
- 細骨材：能取産丘砂（比重2.60、吸水率1.73%）と常呂川産川砂（比重2.56、吸水率2.08%）を容積比率6:4で混合
- 混和材：高炉スラグ微粉末（記号：FS）、比重2.91、比表面積 $6040\text{cm}^2/\text{g}$
 シリカフューム（記号：SF）、比表面積 $150000\sim 200000\text{cm}^2/\text{g}$
- 混和剤：AE減水剤（ヴィンソル80、混和材を用いたものはマイティ2000）
 AE剤（ヴィンソルW）

2.3 消波ブロック

1988年（昭和63年）9月27日に暴露試験用2tの消波ブロック（テトラポット）の打込みを行った。消波ブロックを写真2に示す。消波ブロックは材齢2日で脱型し、その後、麻袋・散水養生を材齢7日まで行った後暴露を開始した。

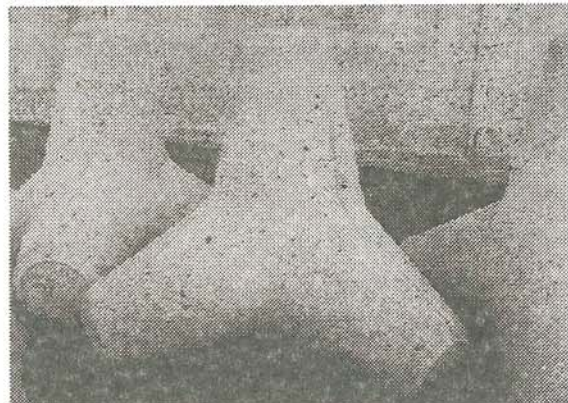


写真2 消波ブロック

2.4 実験ケース

次に示すA、B、C、Dの4ケースに分けて検

討を行った供試体の内訳を表2に示す。

- (1) ケースA：水セメント比が表面剥離と圧縮強度に及ぼす影響
- (2) ケースB：セメント種類が表面剥離と圧縮強度に及ぼす影響
- (3) ケースC：混和材種類が表面剥離と圧縮強度に及ぼす影響
- (4) ケースD：空気量が表面剥離と圧縮強度に及ぼす影響

表2 供試体の内訳

実験 ケース	空気量 (%)	セメント 種類	配合			練上がり性状		圧縮強度	
			W/C (%)	s/a (%)	セメント量 (kg/m ³)	スランプ (cm)	空気 量 (%)	f' ₁ (N/mm ²)	f' ₂₈ (N/mm ²)
A	4.5	NN	44.9	38.7	303	4.5	4.9	25.0	34.5
	4.5	NN	50.0	39.6	270	6.0	5.2	21.1	29.2
	4.5	NN	54.9	40.3	246	5.0	4.7	16.3	27.5
B	4.5	NN	50.0	39.6	270	6.0	5.2	21.1	29.2
	4.5	BB	50.0	39.6	266	6.0	4.3	14.2	29.0
	4.5	FB	50.0	39.7	262	5.5	4.0	17.7	26.4
C	4.5	NN	44.9	38.7	303	4.5	4.9	25.0	34.5
	4.5	NN+FS	44.9	40.5	137+137	5.5	4.8	13.9	25.1
	4.5	NN+SF	44.9	41.5	230+26	5.0	5.1	18.7	31.1
	4.5	NN+SF	44.9	41.5	218+38	3.5	4.8	21.9	36.0
D	Non	NN	50.0	39.9	308	5.0	1.6	21.9	37.1
	4.5	NN	50.0	39.6	270	6.0	5.2	21.1	29.2
	6.0	NN	49.4	39.1	261	6.5	6.0	17.1	26.5
	8.0	NN	46.9	38.0	260	5.5	7.3	19.3	28.2
	10.0	NN	43.5	37.0	262	6.0	10.8	11.8	18.5

2. 5 劣化指標

剥離した部分（剥離面積）とその深さ（剥離深さ）をそれぞれ毎年1回測定している。測定面は、図2に示す上部、下部の2面とした。剥離面積は、測定面にビニルシートを当て、剥離部分を油性マジックでなぞり、シートに描かれた剥離部分を画像解析システムで求めた。剥離深さは、一測定面につき数点（最大10点）測定し、その平均値で示した。なお、剥離深さの経年変化を把握するために、測点は毎年同じ点とした。劣化指標は、次式で示す剥離度を用いた。

$$\text{剥離度(mm)} = \text{剥離面積率(\%)} \times \text{剥離深さ(mm)} / 100$$

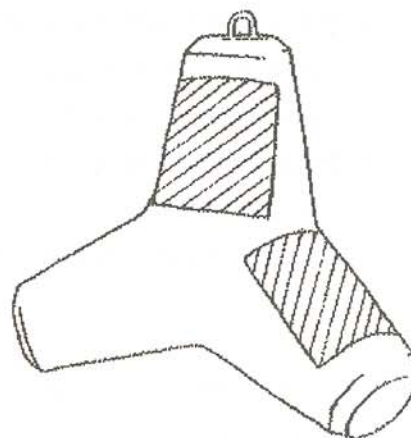


図2 測定面

3. 実験結果及び考察

3. 1 水セメント比が表面剥離と圧縮強度に及ぼす影響（ケースA）

図3に暴露8年経過時における普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの剥離度及び養生終了時（材齢7日）の圧縮強度に及ぼす水セメント比の影響を示す。なお、すべて空気量

4.5%、養生日数7日である。図3に示すように水セメント比が小さいほど養生終了時の圧縮強度は高く、表面剥離は少なかった。水セメント比を小さくするとセメントペーストの組織が緻密になり、コンクリートの圧縮強度は高くなる。また、表面剥離はコンクリート中の毛細管空隙に含まれている水分の凍結によって生じるため、小さな水セメント比によるセメントペースト組織の緻密化により毛細管空隙が少なくなるので表面剥離の抑制が可能になったと思われる。このことから、表面剥離を抑制する方法として水セメント比を小さくすることが有効であると考えられる。

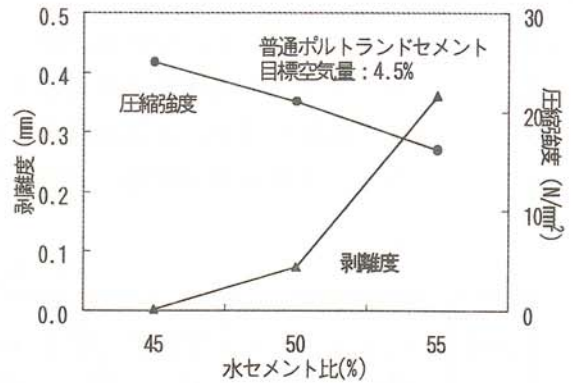


図3 水セメント比が剥離度と圧縮強度に及ぼす影響

3. 2 セメント種類が表面剥離と圧縮強度に及ぼす影響 (ケースB)

図4に暴露8年経過時における剥離度及び養生終了時(材齢7日)の圧縮強度に及ぼすセメント種類の影響を示す。なお、すべて水セメント比50%、空気量4.5%、養生日数7日である。図4に示すように普通ポルトランドセメント、フライアッシュセメントB種、高炉セメントB種の順に養生終了後の圧縮強度が高く、表面剥離は小さかった。特に高炉セメントB種を使用した場合、他のセメントに比べ圧縮強度は低く、表面剥離は大きかった。高炉セメントB種は水和熱を抑制する効果があり²⁾、短い養生期間では高い圧縮強度が得られず表面剥離の発生につながったと考えられる。しかしながら、一般に高炉セメントB種は海水などに対して化学抵抗性が高い²⁾ので、十分な養生期間をとり凍結融解作用を受けるまでに圧縮強度を高めることによって、表面剥離を抑制できるのではないと思われる。

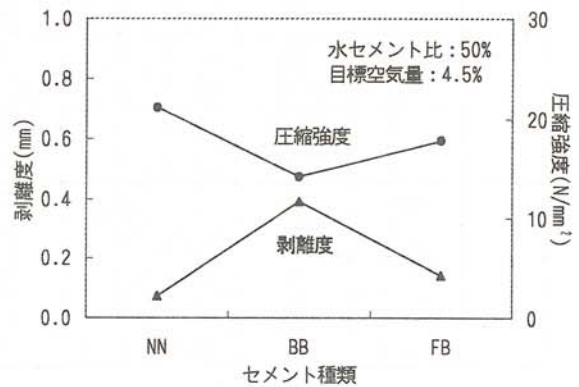


図4 セメント種類が剥離度と圧縮強度に及ぼす影響

本研究の範囲では表面剥離を抑制するためのセメントとしては、普通ポルトランドセメントあるいはフライアッシュセメントが望ましいと思われる。

3. 3 混和材種類が表面剥離と圧縮強度に及ぼす影響 (ケースC)

図5に暴露8年経過時における普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの剥離度及び養生終了時(材齢7日)の圧縮強度に及ぼす混和材種類の影響を示す。なお、すべて水セメント比45%、空気量4.5%、養生日数7日である。図5に示すように混和材無混入、シリカフューム、高炉スラグ微粉末を用いた場合の順に養生終了時の圧縮強度は高く、表面剥離は少なかった。特に高炉スラグ微粉末を用いた場合、圧縮強度は最も低く、表面剥離は最も大きかった。このことは、先に述べた高炉セメントB種と同じように水和反応の遅延性の影響であり²⁾、短い養生期間では高い圧縮強度が得られなかったためだと考えられる。このことから、遅延性の混和

材を用いる場合は、表面剥離を抑制するために必要な圧縮強度を得るために十分に養生することが必要であり、短い養生期間で表面剥離を抑制するために必要な圧縮強度を得るためには、高炉スラグ微粉末等の遅延性のある混和材は用いないことが望ましいと思われる。

3. 4 空気量が表面剥離と圧縮強度に及ぼす影響 (ケースD)

図6に8年間暴露した空気量の異なるコンクリートの剥離度の経年変化を、図7に暴露8年経過時におけるコンクリートの剥離度及び材齢28日の圧縮強度に及ぼす空気量の影響を示す。なお、すべて普通ポルトランドセメントを使用し養生日数7日である。暴露8年間の剥離度の経年変化をみると、空気量6%以下のコンクリートは暴露開始2、3年で表面剥離が増加し始め、暴露8年経過時においても増加の傾向にある。一方、空気量8、10%のコンクリートは暴露開始2、3年で表面剥離が発生しているものの、剥離度は極めて小さく、暴露8年経過時においても新たな剥離はほとんど発生していない。表面剥離は先に述べたとおりセメントペースト中の毛細管空隙に含まれている水分の凍結によって生じる。すなわち、水分凍結による体積膨張により生じたセメントペースト中の内部応力によって組織が破壊され表面剥離が生じるといわれている³⁾。このことから、内部応力を解放し表面剥離を抑制するためには、エントレインドエア連行させる必要があり、空気量を8%以上にすることが望ましい。しかしながら、空気量を増加させると圧縮強度が低くなる。図

7に示すように空気量10%のコンクリートの圧縮強度は、空気量8%以下のコンクリートの圧縮強度に比べかなり低い。このように空気量を10%にするとコンクリートの表面剥離は少なくなるが、強度が低くなり好ましくない。以上のことから、コンクリートの圧縮強度を考慮し海洋環境下に用いるコンクリートの空気量は粗骨材の最大寸法が40mmの場合約8%が望ましいといえる。

4. まとめ

- (1) 水セメント比を小さくすると、養生終了時の圧縮強度は高く表面剥離は抑制される。
- (2) 普通ポルトランドセメント、フライアッシュセメントB種及びシリカフェームを混和材

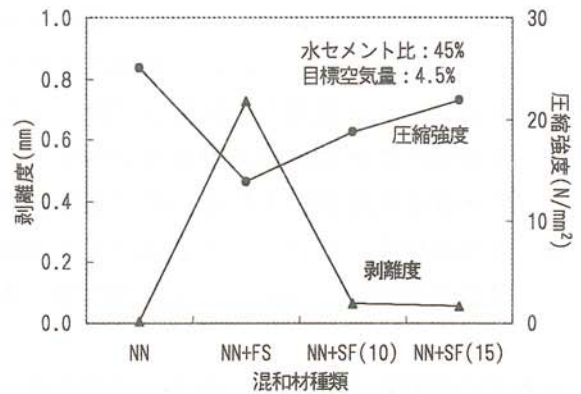


図 5 混和材種類が剥離度と圧縮強度に及ぼす影響

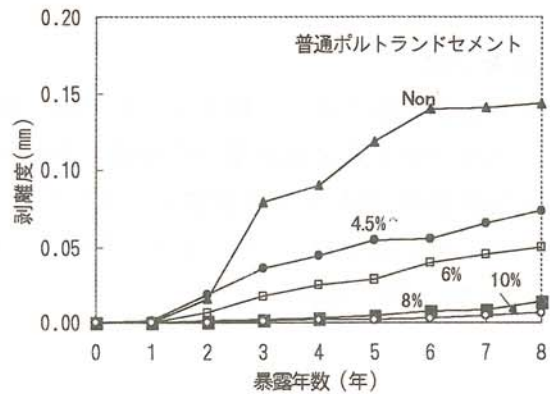


図 6 空気量が剥離度に及ぼす影響

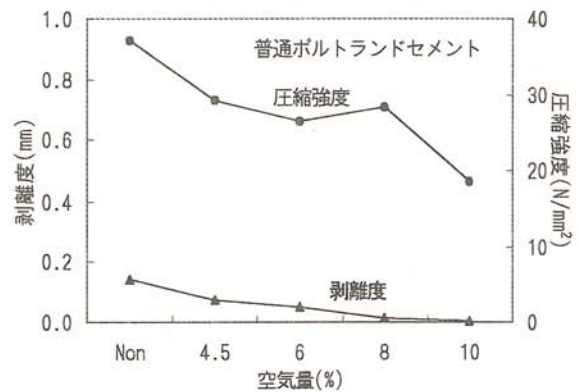


図 7 空気量が剥離度と圧縮強度に及ぼす影響

として用いたコンクリートは、高炉セメントB種及び高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートに比べ養生終了時の圧縮強度が高くなり表面剥離は抑制された。高炉セメントB種及び高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートは、水和反応の遅延性のため初期の強度発現が遅く、養生期間の短い場合、表面剥離を抑制するために必要な強度が得られないので表面剥離は大きくなる。

- (3) 空気量が多いコンクリートほど表面剥離は抑制されるが、空気量10%のコンクリートは圧縮強度が低いため、空気量は約8%（粗骨材の最大寸法40mm）が望ましい。

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副社長 安藤輝夫氏ほか関係者各位並びに北見工業大学 猪狩平三郎氏、斉藤爾氏、金野寿光氏、岡野高明氏に感謝申し上げます。

5. 参考文献

- (1) 斉藤爾、鮎田耕一、桜井宏、日下陽一郎:寒冷地海洋暴露コンクリートの劣化防止対策、土木学会北海道支部論文報告集、第52号、V-11、pp.554~557、1996.2
- (2) 国府勝郎:高炉スラグ微粉末、コンクリート工学、Vol.26、No.4、pp.25~31、1988.4
- (3) 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

Fluctuations of Sea ice, Glacier and Ice Sheet in the Polar Region

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)
館山 一孝 (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)
Kazuo OHTA (National Space Development Agency of Japan)

Key Words: remote sensing, satellite, sea ice, ice sheet, snow, ice, Okhotsk, Antarctic

1. はじめに

温暖化などの環境変化に対する極域の海氷および氷河氷床の応答が注目されている。海氷分布は、温暖化の影響をいち早く受けると考えられており、オホーツク海の海氷の急な減少もモデル計算 (Noda *et al.*, 1996) から予測されている。これまでは海氷域の特徴は主に、密接度というパラメーターで表現されてきたが海氷タイプや厚さの情報も重要である。海氷の観測において多く使われているマイクロ波放射計のデータの検証データとしても可視データの解析精度の向上が望まれる。氷床については、南極半島での大規模な棚氷の流出が温暖化によるものかもしれないと注目されている (Gammie, 1995)。このような氷床縁の変動の検出には衛星リモートセンシングによる氷河のクレバスの拡大、融解域の拡大など継続的な観測が有効である。本研究では、1996年8月に打ち上げられた宇宙開発事業団の地球観測プラットフォーム技術衛星 (ADEOS : ADvanced Earth Observing Satellite) の高分解能可視近赤外放射計 (AVNIR : Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer) による観測を行う。

2. 解析資料

a) 衛星データ : AVNIR は空間分解能 8 m, 可視 1 バンドのパンクロマティックモード (Pa) と空間分解能 16 m, 可視 3 バンド及び近赤外 1 バンドのマルチスペクトルモード (Mu) の観測が可能である。本研究では、まず ADEOS/AVNIR のデータ利用に向けての準備として行った MOS-1b/MESSR による南極沿岸部の海氷域の解析結果を報告する。

氷河・氷床については、1997年1月と2月に観測された南極大陸沿岸部の昭和基地付近の「白瀬氷河」付近の画像から、同氷河の末端部や棚氷、定着氷域のクラックについて調べた。使用した衛星データについて表1にまとめる。また図1に観測域を示す。

表1 使用した衛星データ

衛星	センサー	観測地域	観測日	内容
1. ADEOS	AVNIR(Pa)	南極氷床縁辺部	1997年1月31日	白瀬氷河周辺
2. ADEOS	AVNIR(Mu)	南極氷床縁辺部	1997年2月4日	白瀬氷河周辺
3. ADEOS	AVNIR(Mu)	オホーツク海沿岸部	1997年2月3日	薄氷域、氷板分布
4. MOS-1b	MESSR	南極大陸周辺	1993年4月7日	薄氷域
5. MOS-1b	MESSR	南極大陸周辺	1993年8月24日	白瀬氷河

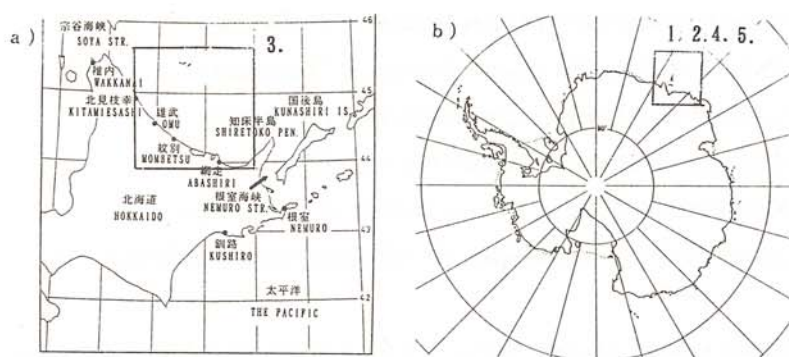


図1. 観測域。a)オホーツク海(北海道沿岸), b)南極。

b) 観測・実験データ：可視近赤外データの解析については、結氷初期や融解期、冠水した氷などの解析方法の検討のために可視近赤外スペクトロメータによる室内実験を行った。又、サロマ湖においても平成9年1月に結氷初期の海氷について観測実験を行い、室内実験の結果と比較した。1997年2月24日に航空機(オホーツク航空セスナ)から、赤外放射画像計、放射温度計による観測とビデオ及びスチル写真の撮影を行った。

3. 予備解析・実験結果

a) 可視近赤外分光放射計(MOS-1b/MESSR)による観測：ADEOS/AVNIRのデータ解析の準備として、まずMOS-1b/MESSRによる南極沿岸部の海氷域の解析を行った。日平均気温は $-10 \sim -20^{\circ}\text{C}$ の間で、結氷が盛んに起きてる時期であり、航空観測によっても晶氷帯が多く観測された。MESSRのch1(可視: $0.6 \sim 1.0 \mu\text{m}$)とch4(近赤外: $1.1 \sim 1.6 \mu\text{m}$)の光量の比($\text{ch4}/\text{ch1}$)を調べた(図2)。可視光アルベドの違いの原因として、ピクセル内の氷の被覆率(密接度)や氷のタイプ又は表面状態の違いなどがあげられる。ここではピクセル内の雪氷の被覆率(密接度)の影響の検討を行うため、海(氷0%, 水100%)と冰山(氷または雪100%, 水0%)のch1とch4の観測値を基に、氷と水の比率を変えて計算した。図2にそれぞれ実線および破線で示す。冰山と海氷(密接度100%)では、冰山に比べ海氷域の反射率および可視近赤外比が低い値を示した。4, 5番の海氷は非常に低い値になり、予想される実線/破線から大きく外れる。これは、海氷のタイプの違いを表しているものと思われる。

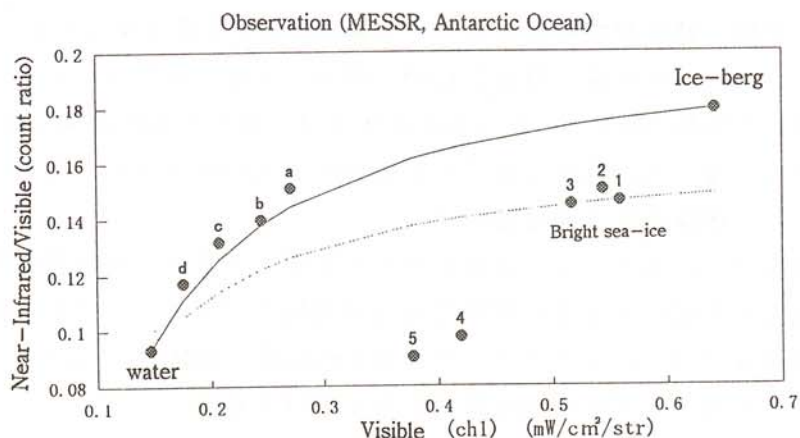


図2. 可視(ch1)と近赤外(ch4)の比(ch4/ch1)。海(氷0%, 水100%)と冰山(氷または雪100%, 水0%)のch1とch4の観測値を基に、氷と水の比率を変えて計算し、図に記入した(実線)。また、氷山の代わりに最も明るい海水を参考にしたものも記入した(破線)。

b) 可視近赤外スペクトロメータによる比較実験

可視近赤外域の放射観測は、Ocean Optics社製のスペクトロメータPS1000を用いて行われた。測定波長は530-1057 nmで、分解能は1 nmである。

実験1: 雪・水混合試料による室内実験

この実験は、水中に浮遊する晶氷タイプの氷を想定して実験を行った。つまり、黒いバケツに水を入れ、それに新雪を加えながら攪拌し、均質な状態にしてから反射光の可視近赤外スペクトルを観測した。実験結果を図3に示す。氷粒が水中から水面上に出ると、急に反射率(図3の横軸)が増加する。水中の氷粒の可視近赤外比は、雪と水の被覆率を変えながら計算した線より小さくなった。海水生成時に生じる晶氷では、集積することにより急に可視域でのアルベドが増加する。充分集積していないときは、氷粒は水中に浮遊しており、可視のアルベドも小さく、また近赤外/可視の比も小さくなる。可視域で同じアルベドであっても、氷板によるものか晶氷によるものかを判別する手がかりが図3にある。例えば可視域でアルベド0.4でも、近赤外/可視の比は氷板の場合は0.08で晶氷の場合は0.06以下となっている。

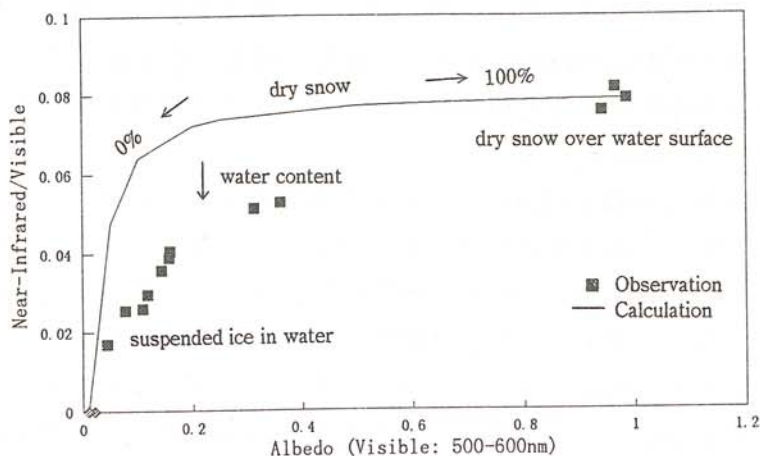


図3. 晶氷タイプの可視近赤外スペクトルの測定。

実験 2：サロマ湖 結氷初期の海氷について観測実験 (平成 9 年 1 月)

サロマ湖において、結氷直後の薄氷からの反射光の可視近赤外スペクトルを測定した。結果：表面の濡れた氷板 (薄氷) はの可視近赤外比は、雪+水の被覆率を変えながら計算した線より小さめになった。乾雪であっても表面の粗度が大ききなところでは、可視近赤外比は小さくなった。観測結果を図 4 に示す。

以上の実験結果から、図 2 の 4, 5 番のサンプル域で得られた低い近赤外/可視の比は晶氷域あるいは表面粗度の大きな冠雪域である可能性が示された。また、衛星で観測される可視光の強さのみでなく、マルチバンド観測 (例えば, $ch4/ch1$) により、ピクセル内の雪氷域の面積比率と雪氷タイプを判別することが可能性となる。

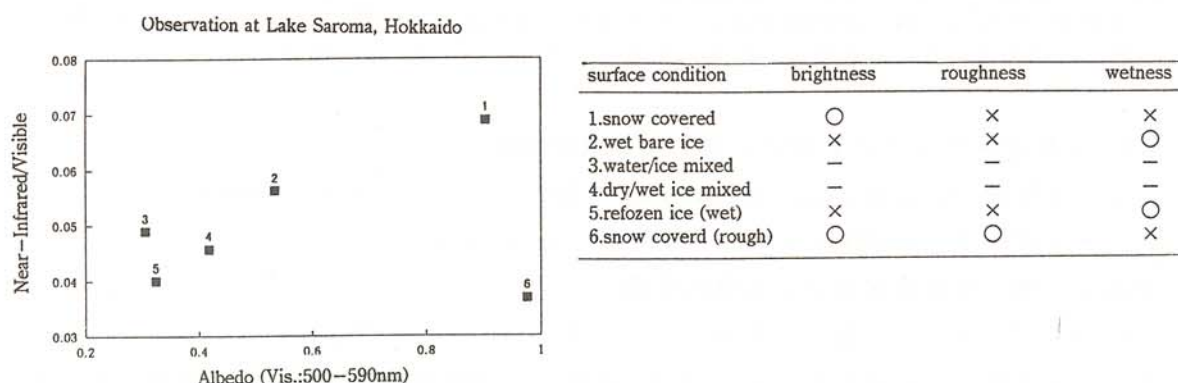


図 4 可視近赤外スペクトロメータによる結氷期のサロマ湖における観測実験

4 . ADEOS/AVNIR による観測

a) オホーツク海の海氷：1997年2月後半の航空観測では、非常に密集した海氷域と氷丘などが見られた。顕著な集積状態の観測となった。海氷の厚さも1m近い厚い氷であると予想される。図5に網走沖の海氷の衛星観測画像を示す。知床半島から能取岬の間の斜里町の海岸沿いに、定着氷化した海氷帯が見られる。そのすぐ外側に氷板帯があり、沖には薄氷域が存在している。沿岸部と沖では、可視光のアルベードからはほぼ密接度100%と見られる海氷域も、構成する氷板や氷タイプにより動力学的にも熱的にも異なる。図6に網走港沖の海氷解析画像 ($ch4/ch2$) を示す。大氷板の内部に小氷板が含まれていることがわかる。海氷域内の曲線は流氷観光船の航跡である。図7は斜里町沖の定着氷帯を示す。定着氷内の氷状の不均一性がわかる。

b) 南極の氷床・氷河 (白瀬氷河周辺)：図8に1997年2月4日のマルチスペクトラルモード (Pa) の画像を示す。白瀬氷河の氷舌は多くの氷山に分離している。1993年8月24日のMOS-1b/MESSRにより観測された画像と比較すると、3年5カ月の間に末端部が約10km前進している。Fujii (1981)によると白瀬氷河の河口での流動速度は2.5km/年であり、南極大陸の氷河の中で最も流速が速いとされているが、今回の結果も大きな流速を示している。白瀬氷河が流れ込むリュツォホルム湾は定着氷に覆われることが多いが、この定着氷は不安定で数年に一度大規模な流出を起こしている。定着氷の安定性が白瀬氷河末端の分離に影響するため、定着氷のクラックの監視が重要である。

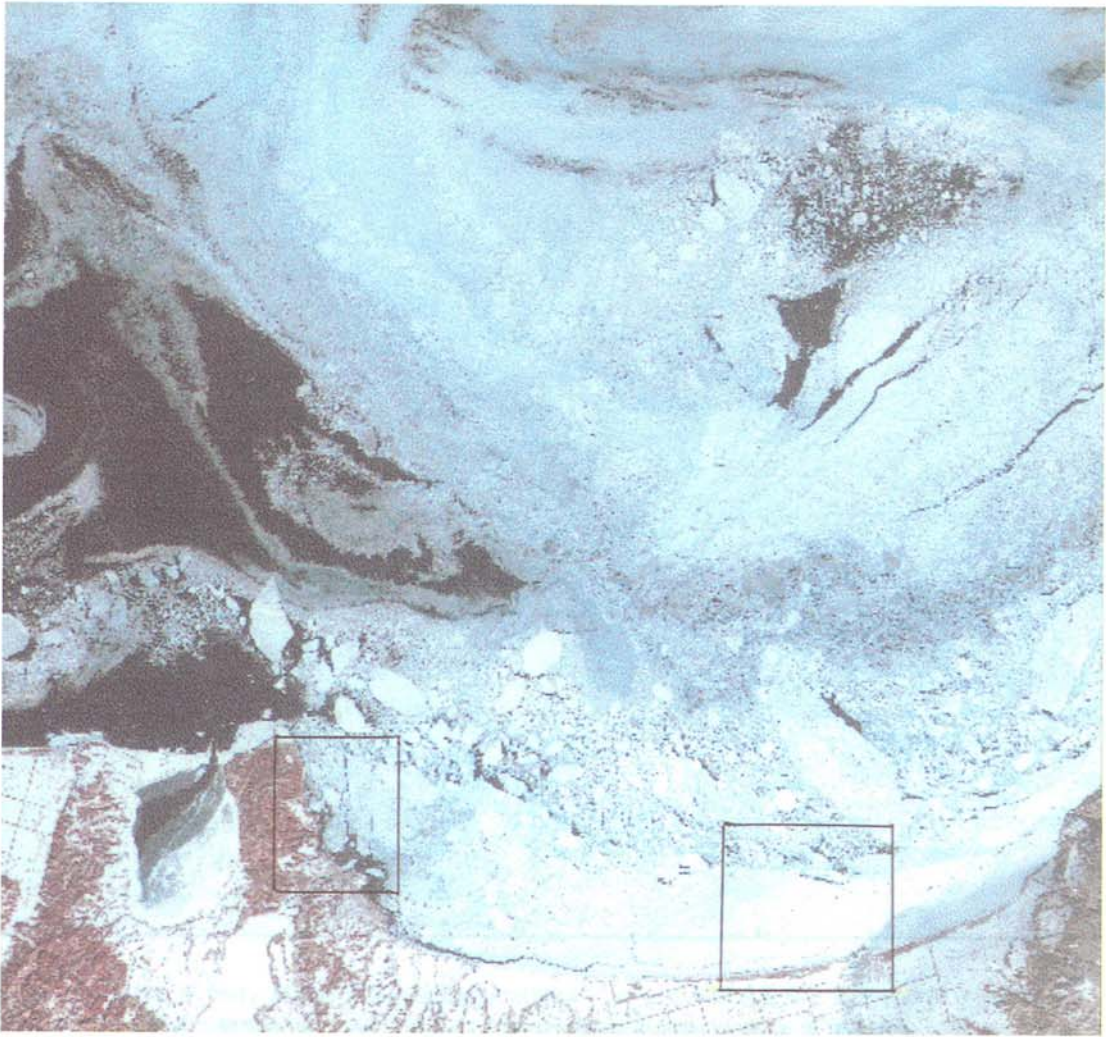


図 5. ADEOS AVNIR(Mu) によるオホーツク海沿岸部の薄氷域及び氷板域 (1997年2月3日)。

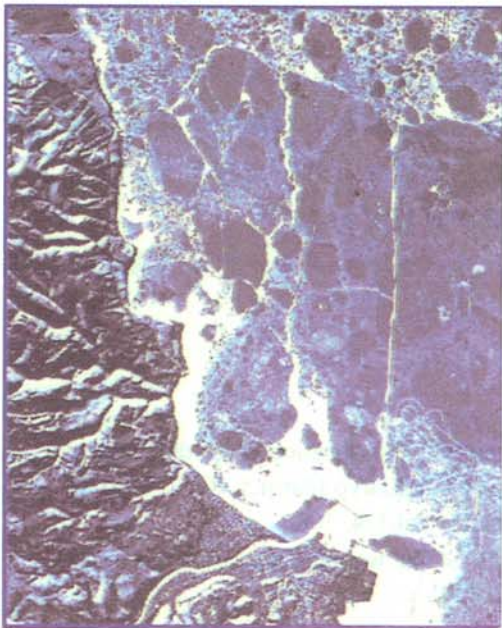


図 6. 網走沖の氷板域

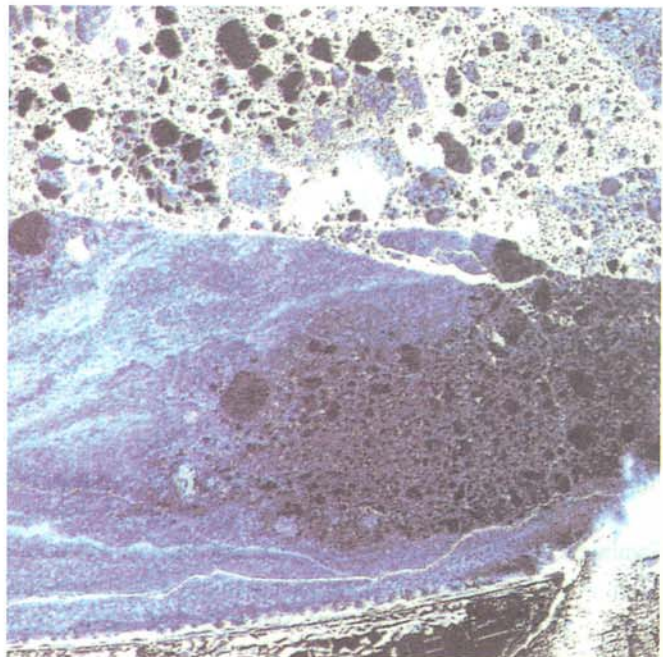


図 7. 斜里沖の定着氷域

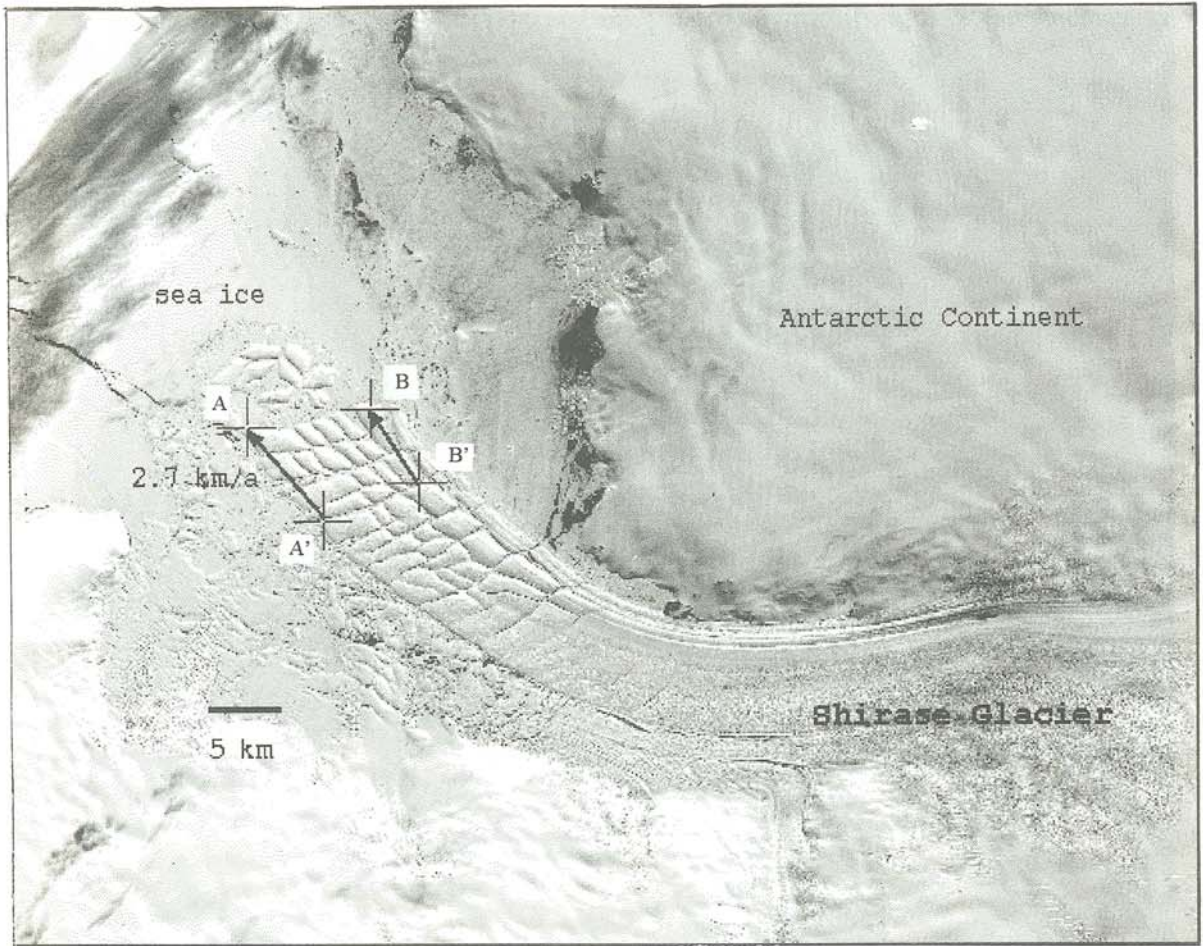


図 8. 南極白瀬氷河の浮氷舌と定着氷のクラック。ADEOS AVNIR(Mu)による画像 (1997年2月4日)。

氷山 A, B は, 1993年8月24日のMOS-1b MESSRの画像によると A', B'の位置にあった。白瀬氷河末端部は3年5カ月半で約10km前進している。

5. おわりに

AVNIRによる海氷観測から、高分解能センサー及びマルチチャンネルデータによる氷板の存在、薄氷帯、乱氷帯の判別が期待される。入射角を変えられるポインティング機構による、乱氷など表面の起伏の検出も期待される。また、他のセンサーではサブグリッドスケールになってしまうクラックや水路についても観測が可能である。

マルチスペクトルデータによる定量的な解析には、スペクトロメータによる観測から基礎的な資料をさらに蓄積することが必要である。

6. 参考文献

- Fujii, Y. (1981): Aerophotographic interpretation of surface features and an estimation of ice discharge at the outlet of the Shirase drainage basin, Antarctica, Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.), 72, 1-15.
 Gammie, F. (1995): Breaking away iceberg "due to warming", Nature, Vol.374, 108.
 Noda, A., S.Nakagawa, T.Motoi, S.Yukimoto and T.Tokioka(1996):Global warming induced by CO₂ and Okhotsk Sea, J.Remote Sensing Soc.of Japan, Vol.16, No.2,3-13.

橋梁の健全度診断と老朽度ランク付けの研究

Study on Integrity Diagnosis of Bridges and Damage Rank Making

大島俊之 (北見工業大学工学部土木開発工学科)
 三上修一 (北見工業大学工学部土木開発工学科)
 山崎智之 (北見工業大学工学部土木開発工学科)
 本間美樹治 (㈱中神土木設計事務所)
 阿部英俊 (㈱ナオック)

Toshiyuki OSHIMA (Kitami Institute of Technology)
 Shuichi MIKAMI (Kitami Institute of Technology)
 Tomoyuki YAMAZAKI (Kitami Institute of Technology)
 Mikiji HONMA (NAKAGAMI Civil Design)
 Hidetoshi ABE (NAOC)

key words: Bridge inspection database, Integrity ranking

1. はじめに

橋梁は道路の一部にとどまらず、重要な社会資本であり、またライフラインでもある。従ってその健全度を適切に評価し、維持補修の必要性を判断することが、構造物としての寿命を延ばし、また架換えの緊要性を位置づけることができる。著者らはこれまで橋梁の健全度を、数量化理論Ⅱ類を用いて総合評価する手法を提案してきた^{1),2)}。これらの総合健全度評価法は、建設年度の古い橋梁に対する維持補修計画を立案する際に参考となる。また健全度や老朽度を合理的な基準にもとづくランク付けを行い、補修・架換えの判断を行う必要がある。

現在、全国の橋梁を対象に建設省が示した橋梁点検要領に基づいて点検調査が行われている。北海道開発局・北海道でもこの要領に基づき、日常点検、定期点検、詳細点検、臨時点検、震災点検などが行われている。また北海道開発局ではこれらの点検データに基づき橋梁点検調査データベースを作成し、橋梁点検業務によって得られたデータを蓄積して有効利用を目指している。本研究では、これまで著者らの研究成果である橋梁の健全度評価手法をこの橋梁点検調査データベースを基に適用し、老朽橋梁の順位付けを行うことを目的とする。

2. 数量化理論Ⅱ類による健全度評価手法

数量化理論Ⅱ類において橋梁の健全度評価を行う為には、適切な外的基準とアイテムを決定しなければならない。これらの選定に当たっては、建設省土木研究所の「橋梁点検要領(案)」を参考にして行なうが、橋梁調書ではアイテムが全部で20項目ある。さらに、各アイテムには損傷パターンによって2~10項目に細かく分類されている。しかし、全部の項目が補修や架換えに関係するわけではない。そこで重要と思われる部材項目については損傷内容からさらに分類し、橋梁自体の補修にはあまり関係がないと思われる部材項目は削除し、内容の近似した項目にまとめて一つの項目として処理した。このようにして選定したアイテム(14項目)の詳細を表1に示す。尚、上部構造のアイテムにおいて、主部材と床版の項目で3つのアイテム

表1 物理的アイテム

部材のアイテム名	
上部構造	・主 1
	主部材 ・主 2
	・主 3
	・床 1
	床版 ・床 2
	・床 3
補剛材	
下部構造	躯体
	基礎
その他	支承
	高欄
	地覆
	舗装
伸縮装置	

表2 重み係数の総括

		鋼橋 (202橋)						コンクリート橋 (199橋)							
		1軸		2軸		3軸		1軸		2軸		3軸			
		腐食	亀裂	その他	腐食	亀裂	その他	腐食	亀裂	その他	腐食	亀裂	その他		
上部構造	主部材	腐食	9.3	31.0	8.3	23.3	0.6	11.6	腐食	17.3	36.7	12.9	30.7	5.8	17.7
		亀裂	15.8		5.3		0.2		13.7	7.2		9.2			
		その他	5.9		9.7		10.8		5.7	10.6		2.7			
	2次材	腐食	3.2	7.4	3.1	9.4	4.4	12.7	腐食	3.3	17.7	9.7	21.4	1.9	17.3
		亀裂	0.9		0.4		2.4		7.6	6.8		7.0			
		その他	3.3		5.9		5.9		6.8	4.9		8.4			
	床版	腐食	9.6	22.4	19.3	26.6	15.0	25.6	腐食	3.3	10.1	13.9	19.4	9.8	22.5
		亀裂	5.5		1.3		5.7		5.3	3.9		7.3			
		その他	7.3		6.0		4.9		1.5	1.6		5.4			
下部	橋脚橋台	8.8	18.9	7.1	11.5	1.7	8.9	橋脚橋台	8.0	21.4	7.6	8.6	5.5	16.1	
	基礎	10.1		4.4		7.2		13.4	1.0		10.6				
支承	本体	5.0	7.5	9.8	15.4	15.3	24.4	本体	5.2	7.0	4.2	6.0	7.3	14.1	
	周辺部	2.5		5.6		9.1		1.8	1.8		6.8				
伸縮装置		3.2		4.7		2.2		伸縮装置		1.1		7.8		0.6	
地覆		4.6		4.3		4.0		地覆		1.5		3.9		1.8	
高欄		4.0		2.4		7.7		高欄		2.0		1.1		6.9	
舗装		1.0		2.4		2.9		舗装		2.5		1.1		3.0	
合計 (%)		100.0		100.0		100.0		合計 (%)		100.0		100.0		100.0	

に分けたのは、橋梁の構造の中では特に重要な部分に当たると考えられる為であり、損傷の部位だけにどどまらずに損傷の種類についても検証する必要がある為である。また、外的基準については、橋梁の状態によって「A：現状維持」、「B：軽い補修を要する」、「C：大がかりな補修を要する」、「D：補修より架換えを勧める」の4段階に定めた。

次に外的基準を判断する際に用いた重み係数について述べる。著者らは、文献2の仮定の橋梁に損傷箇所を偏りのない橋梁点検表を作成して10名のエキスパートにAからDの4段階の判定をして頂いた。その解析結果を精査しまとめたものが、表2である。表中1軸、2軸、3軸は数量化理論の計算から得られる座標軸のことで、1軸の大小でA、B、C、Dを分類し、2軸でA、BとCの分類、3軸でA、Bの分類が可能となるものである。表中の数字は各軸の判定に用いる重み係数を意味している。

3. 橋梁点検調査データベース

橋梁点検調査データベースとは、北海道開発局において、橋梁を客観的に見た損傷程度の具合を「橋梁点検要領(案)」に基づき詳細に記録されたデータベースのことであり、データベースソフトAccess[®]上に構築されている。Accessはテーブル、クエリー、フォーム、レポート、マクロ、モジュールによって構成される。テーブルはデータを表形式で登録する、クエリーは条件に一致するデータを抽出する作業を行う、そして抽出した結果を表示するフォームやレポート等の機能からなるリレーショナルデータベースである。図1はこの橋梁点検調査データベースの構造を表している。橋梁仕様テーブルは道路管理データベースをもとに作成されている。点検作業テーブルは日常、定期、詳細、臨時点検などの点検結果を各橋梁の部材名毎(表3)に損傷位置や損傷パターン(表4)などの記録を図面や写真などを含めて記録するようになっている。また点検結果より各部材の損傷ランクは損傷の規模に応じて算定され表4の損傷パターンによって分類される。これらのテーブルは「橋梁コード」をキーとしてテーブ

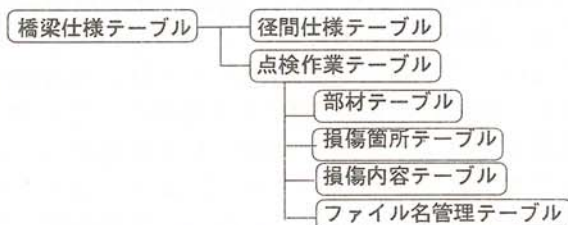


図1 橋梁点検調査データベースの構成

表3 主な部材記号と部材名

記号	部材名	材質	部材全名称
Ac	橋台躯体	コンクリート	コンクリート橋台躯体 (Ac)
Br	支承	ゴム	ゴム支承 (Br)
Bs	支承	鋼	鋼支承 (Bs)
Cc	横桁	コンクリート	コンクリート横桁 (Cc)
Cs	横桁	鋼	鋼横桁 (Cs)
Dc	床版	コンクリート	コンクリート床版 (Dc)
Ds	床版	鋼	鋼床版 (Ds)
Ec	高欄	コンクリート	コンクリート高欄 (Ec)
Es	高欄	鋼	鋼高欄 (Es)
Fc	地覆	コンクリート	コンクリート地覆 (Fc)
Fo	基礎	コンクリート	基礎 (Fo)
Fs	地覆	鋼	鋼地覆 (Fs)
Jr	伸縮装置	ゴム	ゴム伸縮装置 (Jr)
Js	伸縮装置	鋼	鋼伸縮装置 (Js)
Mc	主桁	コンクリート	コンクリート主桁 (Mc)
Ms	主桁	鋼	鋼主桁 (Ms)
Pc	橋脚躯体	コンクリート	コンクリート橋脚躯体 (Pc)
Pm	舗装	アスファルト	アスファルト舗装 (Pm)
Pn	舗装	コンクリート	コンクリート舗装 (Pn)
Ps	橋脚躯体	鋼	鋼橋脚躯体 (Ps)

表4 主な損傷パターン

損傷パターン番号	損傷名
1	(1)腐食
2	(2)亀裂
4	(4)脱落
5	(5)破断
7	(7)ひびわれ
8	(8)剥離・鉄筋露出
9	(9)遊離石灰
12	(12)抜け落ち
13	(13)鋼板
14	(14)床版ひびわれ
22	(22)漏水・滞水
23	(23)異常音
24	(24)異常振動
25	(25)異常たわみ
26	(26)変形
32	(32)欠損

ル相互にリレーションシップを作成することができるので自由に条件設定を行って点検データを検索・再構成することが出来る。本研究では、橋梁点検によって得られた損傷箇所毎のデータをデータベース化した損傷内容テーブルをもとに健全度評価に必要な14項目のアイテムに関するデータベースを再構築する。

(1) 14項目からなるテーブルの作成

20項目におよぶ点検項目を表1の14項目にまとめるために、橋梁点検調査データベースから橋梁の損傷データを抽出する方法の概要を述べることにする。橋梁仕様テーブルから橋梁コードを損傷内容テーブルからは点検年度、径間番号、部材番号、損傷パターン、ランクを抽出するクエリーを作成する。このクエリーによって抽出されたデータには点検調査によって得られた損傷箇所の数だけレコードが含まれる。つまり同じ部材に生じている同じ損傷パターンのレコードが重複して含まれている。この重複するデータを重複クエリーを使って整理する。次に表3のような部材記号や部材名、材質と表4の損傷パターンを考慮して表1に示す14項目アイテムの抽出作業を行う。例えば、主1アイテムの場合には主桁が鋼桁であれば部材記号はMsとなり損傷パターンは(1)腐食がある損傷内容を条件にする。コンクリート桁であれば部材記号はMcで損傷パターンとして(8)剥離がある場合である。上部工の構造形式によって主1に含まれる損傷パターンが異なるのでそれぞれを抽出条件を指定してクエリーを作成する。主桁に関する他のアイテム主2、主3に関しても材質毎に損傷パターンが異なるので詳細な設定を行って抽出を行った。同様に床版に関するアイテム床1、床2、床3についても損傷パターンを分けてクエリーを作成した。残りの8項目については部材記号を使って各項目に対応する部材の損傷ランクを抽出して14項目全てのクエリーが作成される。これら14種類のクエリーをひとつにまとめた橋梁毎の点検調査物理項目テーブルを物理テーブルとして作成する。

4. 損傷ランクの総合評価

前節で各橋梁毎に作成された物理テーブルの14項目のランクを用いて橋梁の総合評価を行う。すでに14項目の点検結果に対する重みは表2のように鋼橋、コンクリート橋に分けて示されている。各アイテムの損傷ランクは一、二、三軸の各重みを掛けて各軸毎の合計値を求める。この値を抽出された全橋梁について求めた各軸の合計値を各軸のサンプルスコアと呼ぶ。このサンプルスコアをもとに橋梁の健全度総合ランクを判定する。ここで、表2の重み係数を決定するとき用いた外的基準は総合的に橋梁の損傷を判断した結果であり、外的基準(A, B, C, D)を橋梁の損傷に対応するランク(OK, IV, III, II)に読み替えて総合評価する。評価は一軸、二軸、三軸の順に行う。橋梁点検のエキスパートによる解析結果より得られたサンプルスコアを

表5 総合評価と老朽度ランク

橋梁コード	共用年	点検年	総合評価	一軸	二軸	三軸	路線名	建設部名
1660	18	1996	II	1.62646	3.5357	-0.85601	36	室蘭
51311	32	1996	III	0.01387	2.66192	1.28823	276	小樽
38260	32	1996	III	0.12619	1.25	-0.51431	5	小樽
38240	32	1996	III	0.12619	1.25	-0.51431	5	小樽
6100	16	1996	III	-0.242	0.85906	2.34655	229	函館
610	17	1996	III	-0.45254	0.84092	0.2841	5	小樽
16030	12	1996	III	-0.13856	0.80654	-0.33801	276	札幌
6010	25	1996	III	0.89404	0.79771	-1.50737	229	函館
15751	29	1996	III	-0.61361	0.73213	0.36561	276	小樽
6560	22	1996	III	-0.49642	0.70421	1.13271	230	小樽

三次元直交座標系を用いて表すと外的基準ごとのグループとなっていることが分かる⁴⁾。開発局の橋梁に対して求められたサンプルスコアを三次元空間の一点としてプロットしたときに、その点が4つの総合評価のどのグループに属するかを判定して総合評価を決定する。

5. 老朽度ランク付け

エキスパートによる判定より求められたサンプルスコアの各軸への外的基準の平均値が求まっている為、境界値より大きい値をもって順位づけが求まる。ここで、一軸の境界値はOK、IV、IIIを1つの軸として見なし、その平均値とIIとの平均値を境界値とし、この値よりも大きいサンプルスコアを大きい順に並べていく。このとき総合ランクがIIと評価された橋梁は一軸のサンプルスコアを優先して順位付けを行う。2軸についてもOK、IVを1つの群と見なし、IIIを1つの群として、この2つの平均値を境界値としてこの値よりも大きい順に並べていく。3軸についてもOK、IVの平均値を境界値とし、この値よりも大きい順に順位をつけていく。この結果として平成8年度北海道開発局で点検を行った約290箇所の橋のうちから218橋についてランク付けを行った内から10橋を結果の一例として表5に示す。表には橋梁コード、共用年、点検年、総合評価、サンプルスコアが老朽度の高い順番に並んでいる。老朽度ランクの結果は各建設部単位で表示することもでき、さらに損傷部材毎の着目箇所を知ることができる。維持・補修を行う管理部局単位で結果を出力でき橋梁点検データベースの効果的な利用が可能となる。

6. まとめ

本研究では、北海道開発局が行った平成8年度橋梁の点検結果をもとに作成した橋梁点検調査データベースを用いて健全度診断に必要な14項目のデータ抽出を行った。また、この14項目の抽出結果を基に橋梁の健全度診断と老朽度ランク付けを行った。これら老朽度ランクを組み込むことによって橋梁点検調査データベースの有効利用が見込まれる。

総合評価には上部構造の形式によって鋼橋とコンクリート橋に分類して総合評価を行ったが、主桁の無い構造形式の橋梁やアーチ橋やトラス橋形式の橋梁についてはどの程度評価できるのか更に詳細な検討が必要と思われる。今後の課題としては、現在行われている橋梁点検の中には震災点検が行われており、震災点検をもとにした耐震健全性の評価を含めた検討を行うシステムの開発が必要である。

参考文献

- 1) 本問他：橋梁の健全度評価における物理的総合評価手法に関する研究、北海遺支部論文集、第49号、1993。
- 2) 森弘他：橋梁の健全度診断における総合評価法の開発、鋼構造年次論文報告集、Vol.1、1993。
- 3) マイクロソフト(株)：マイクロソフトオフィシャルサポートブック Access2.0、オーム社、1995。
- 4) 森弘他：コンピュータグラフィクスと数量化理論を応用した橋梁の維持点検評価法、土木学会論文集、No.501/I-29、1994.10。

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

Performance Improvement of Solar-Heat Pump System Combining a Temperature Selective Storage Tank

金山 公夫 (北見工業大学機械システム工学科)

馬場 弘 (北見工業大学機械システム工学科)

遠藤 登 (北見工業大学機械システム工学科)

本田 節弘 (京セラ株式会社)

手塚 博文 (京セラ株式会社)

Kimio KANAYAMA (Kitami Institute of Technology)

Hiromu BABA (Kitami Institute of Technology)

Noboru ENDOH (Kitami Institute of Technology)

Setuhiro HONDA (Kyocera Corporation)

Hirofumi TEZUAK (Kyocera Corporation)

Key Words: Temperature Selective Storage Tank, Temperature Stratified Function,
Solar Collector, Heat Pump, Renewable Energy, Exergy

1. まえがき

水または液体を熱媒とする顕熱蓄熱方式には混合型を成層型があり、前者が一般に広く用いられている。混合型は蓄熱槽に特別な仕掛を必要としないので、構造は簡単であるが熱利用上使い勝手に乏しく、一方成層型は温度選択的に蓄熱することができ、したがって有効エネルギーの観点から合理的な蓄熱方式といえる。本共同研究においては、成層型蓄熱槽の一種の「温度選択蓄熱槽」を設計、製作し、ソーラーコレクター及びヒートポンプと組み合わせたシステムを構築し、大型ソーラーシミュレーターのもとで基礎実験を行い、性能を評価するとともに、ソーラーヒートポンプシステムと温度選択蓄熱槽からなるトータルシステムの性能向上のための技術的指針を得ようとするものである。

2. 実験装置および実験方法

図1に本研究に用いた実験装置を示す。装置は温度選択蓄熱槽、瞬間湯沸器、受水槽、送水ポンプ、流量計、温度測定機器、コレクター、ヒートポンプおよびソーラーシミュレーター等から構成されている。

温度選択蓄熱槽は手製で、内容積が77ℓの本槽と3ℓの副槽からなり、可視化できるよう

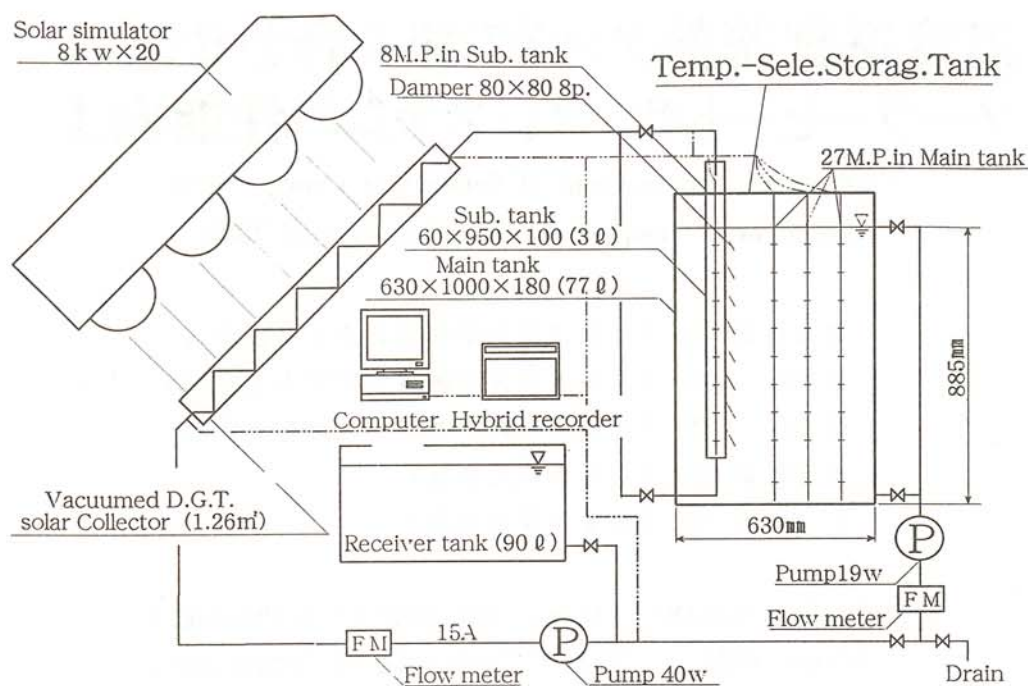


図1 実験装置全体図

にアクリル板で製作されている。副槽には60mm×60mmの正方形で厚さ2mmのアクリル板のダンパー8個が温水の密度差による圧力差で自由に開閉できるように設けられている。コレクターは集熱面積が1.9m²の平板型である。ヒートポンプは定格出力750Wの空気熱源方式である。コレクター、ヒートポンプおよび受水槽を結合する配管は、切り替えバルブの操作で温度選択蓄熱槽と個別に組み合わせて実験が行えるように接続されている。

温度測定は成層機能を確認するために、本槽内9点×3列=27点および副槽内8点×1列=8点にC-C熱電対を垂直方向に配置し、さらにコレクター出入口、蓄熱槽出入口および室温の計5点に熱電対を取り付け、合計40点について行った。各熱電対の温度はハイブリッド記録計を介してパソコンに1分間隔で取り込まれ、データ処理される。

実験方法は本槽内に約20℃の温水を作り、送水ポンプを運転し所定の流量に合わせる。つぎにコレクターとの組み合わせの場合は、ソーラーシミュレーターを点灯し、所定の日射量に合わせ、またヒートポンプとの組み合わせの場合は、ヒートポンプを運転し加熱された温水を副槽から本槽内に流送して蓄熱すると同時に、各部の温度測定を開始する。

3. 実験結果および考察

図2はコレクターと組み合わせた場合の実験結果で、温水流量を0.25ℓ/minに固定し、シミュレーターの日射量を600W/m²と1000W/m²の2段階に変化させ、約40℃の中温および約60℃の高温の順で温度成層を形成させたときの各層温度の時間変化の様子を示す。横軸の時間軸は蓄熱終了時間を1として基準化し、無次元時間で表わしている。8個のダンパーは上から下へダンパー1からダンパー8の順に数字が付されている。日射量600W/m²のもと

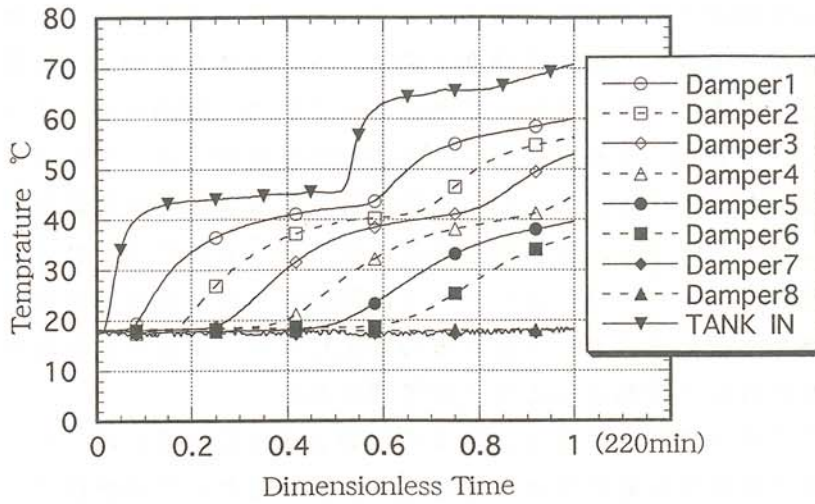


図2 コレクター加熱による温度上昇時の各層温度変化（流量固定）

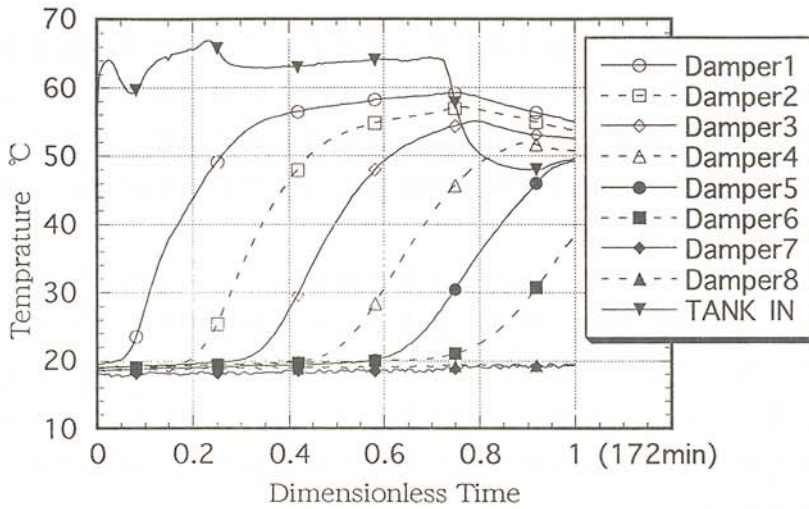


図3 コレクター加熱による温度降下時の各層温度変化（流量固定）

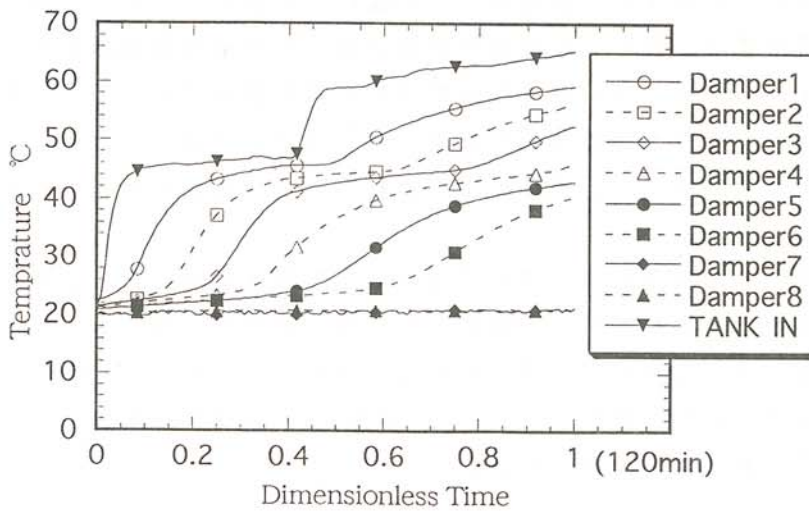


図4 コレクター加熱による温度上昇時の各層温度変化（日射量固定）

で実験開始後約20分間隔で高温層部に相当するダンパー1からダンパー3の順に開き、槽内温度は18℃から徐々に上昇し、無次元時間で約0.5にはそれらが40℃程度にまで達している。その後日射量を標準の1000W/m²に増加させたため、副槽へ流入する温水は45℃から65℃に急上昇し、ダンパー1からダンパー3の順で温度が上昇している。それに伴ってそれ以下の層も順次温度が上昇する。しかし、同時に先に形成された中温層部が成層状態を保ちながら時間とともに徐々に降下し、実験終了時には55℃、40℃および18℃程度の3層が形成されている。実験中ダンパー7とダンパー8は開かないので低温層部の温度変化は見られない。この実験結果から晴天日において日射量の変化に伴って集熱された温水温度の変化にしたがって温度成層を形成して蓄熱されることが予測される。

図3は同様にコレクター加熱の場合で、図2の実験とは逆に副槽に流入する温水温度を高温から中温に降下させた場合の各層の温度変化を示す。図3において時間約0.75から供給水温度を約20℃まで降下させたため、最初に形成された高温層部がこの影響を受け徐々に温度が降下し、それが中間層に集中する結果となり、図2のような明確な高温と中温の成層は形成されていない。

図4はコレクター加熱の場合で、図2の実験と同様に1000W/m²の日射量のもとで温水流量を0.6ℓ/minと0.3ℓ/minの2段階に変化させて、中温、高温の順で温度成層を形成させた時の各層温度の時間変化を示す。図4の場合は図2とほぼ同様に温度成層が形成されることから、日射量が変化した場合、温水流量の調節を行うことにより副槽への供給温度を適切に制御することが可能と思われる。

図5はヒートポンプ加熱の場合で、図2の実験と同様にヒートポンプの温水流量を2ℓ/minと0.7ℓ/minの2段階に変化させ、中温、高温の順で温度成層を形成させたときの各成層温度の時間変化を示す。ヒートポンプ熱源では開きダンパー高さの各層での温度上昇の勾配がコレクターの場合に比較してかなり大きい、これはヒートポンプの加熱能力がコレクター1枚のその約3倍あるためである。したがってそのことを考慮すると両者はほぼ同様の成層状態が得られることがわかった。

図6はコレクター加熱の場合で、コレクターの温水流量を1.0ℓ/min、日射量を1000W/m²に固定し、高温層1層を形成させる時の層内の蓄熱量の時間変化を示す。図6において本槽内の垂直方向に配置された3列の熱電対ごとに縦に3分割して、各ブロックをA、BおよびCで示し、副槽をSとする。AとBは時間の経過に伴って同量の蓄熱がなされるが、Cではそれらより全体に約1.8倍ほど多い。これはCブロックが他のブロックより容積が約1.8倍大きいため、そのことを考慮すると各ブロックともほとんど同じ蓄熱量の変化を示す。すなわち、温度選択蓄熱方式では水平方向に一樣な積層を形成しながら蓄熱されることが確認された。

図7は10℃から70℃までを2℃刻みの30層の階段状温度勾配の成層型蓄熱槽と、40℃一層の混合型蓄熱槽のエクセルギーを比較して示す。エクセルギー増加率とは両者のエクセルギーの差を混合型のエクセルギーで除したものである。エクセルギー増加率は40℃で無限大となり、それを境に左右対象の形を示す。この結果より成層型蓄熱槽の方が混合型蓄熱槽よりエクセルギー利得が大きいことがわかる。

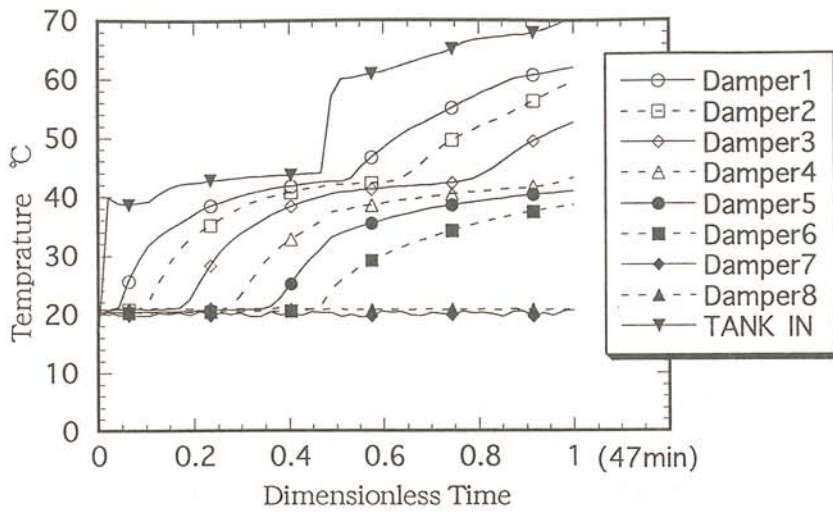


図5 ヒートポンプ加熱による温度上昇時の各層温度変化

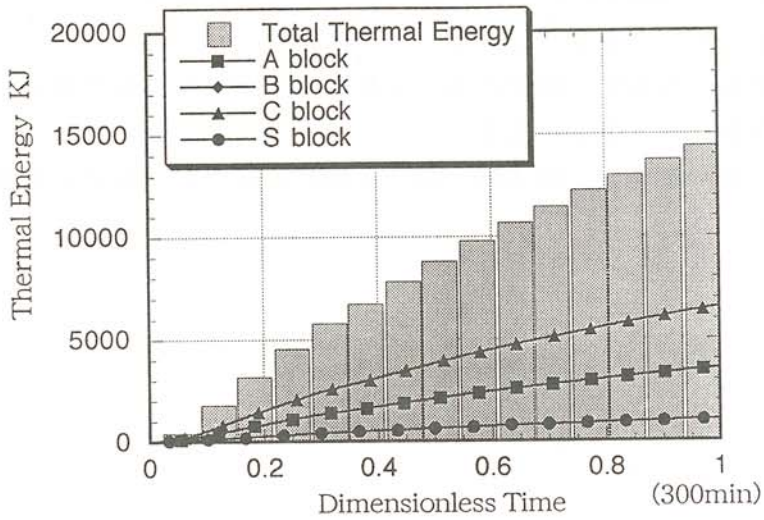


図6 コレクター加熱による温度成層の蓄熱量の時間変化

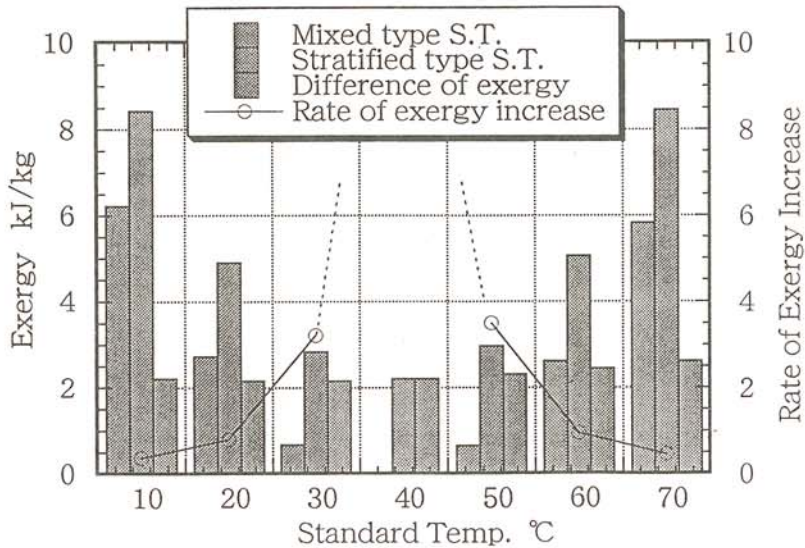


図7 成層型および混合型蓄熱槽のエクセルギーの比較

4. むすび

温度選択蓄熱槽にソーラーコレクターあるいはヒートポンプを組み合わせて、前者に関してはソーラーシミュレーターのもとで蓄熱実験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 温度選択蓄熱槽は水平方向に一様な成層を形成しながら蓄熱することが確認された。
- (2) 温度選択蓄熱槽の層入れ替えの順序は温度が降下する場合より上昇する場合の方がより安定した温度成層が形成された。
- (3) コレクター加熱により成層を形成させる場合、日射量を変化させてもまた流量を変化させても同様な成層特性が得られた。
- (4) コレクターおよびヒートポンプの熱源の違いによる成層特性の影響は見られず、両者とも温度選択蓄熱槽との組み合わせに適することがわかった。
- (5) 成層型蓄熱槽は混合型蓄熱槽よりエクセルギー利得が大きい。

文献

- (1) 金山公夫、遠藤登、馬場弘、岡本淳、神谷是行、太陽／風力エネルギー合同研究発表会講演論文集、(1996)、129-132.
- (2) 金山公夫、馬場弘、遠藤登、梅津将広、北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書、第3号、(1996)、17-22.
- (3) 遠藤登、金山公夫、馬場弘、岡本淳、第34回日本伝熱シンポジウム講演論文集、(1997)、719-720.

着氷量予知用大気データ収集 各種センサーの性能試験

Tests of Various Sensors for Weather Data to Forecast
the Growth of Ice Accretion

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)
廣田充伸 (株式会社 工学気象研究所)

Noriyoshi SUGAWARA (Kitami Institute of Technology)
Kazuo HOKARI (Kitami Institute of Technology)
Masanori HUIKATA (Kitami Institute of Technology)
Mitsunobu HIROTA (Meteorological Research Institute for Technology Co., LTD.)

Key words: sensor, weather, icing, ice accretion, icing wind tunnel

1. まえがき

山岳部を通る送電線は、冬季間の低気圧および晩秋や早春の低気圧の襲来により着氷し、設計荷重以上の着氷重量になると時として断線等の送電に支障を来す事故が発生する可能性がある。このような気象条件下では着氷が確実に発達するため、着氷時の気象を測定する従来型の風向・風速計などは着氷により動作不良となる。そこで、可動部を持たず電気ヒータによる解氷効果の大きな風向風速計を昨年の山岳部での性能試験から1台を選び^(1, 2)、これに着氷感知センサーを取り付けて着氷防止用ヒータの省エネ化を計ることを計画した。

筆者らはこの装置を山岳部のフィールドで試験をする前に、本学地域共同研究センターの低温室内に設置した着氷風洞内でヒータの省エネ化実験を行い、センサーの感知特性と制御器の調整を行った。これらの装置は、昨年12月から本年5月まで、長野県志賀高原の横手山山頂(標高: 2305m)でフィールド試験を行ってきた。



図1 センサー性能試験機器

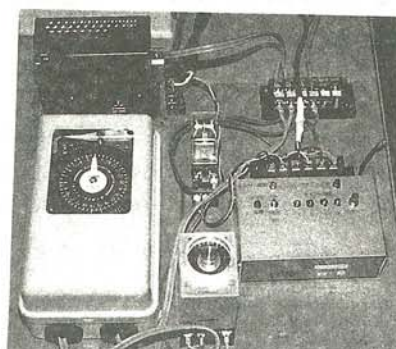


図2 着氷センサー感知・制御部

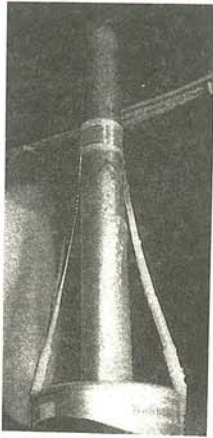


図3 センサー装着状態
(温度センサーも)

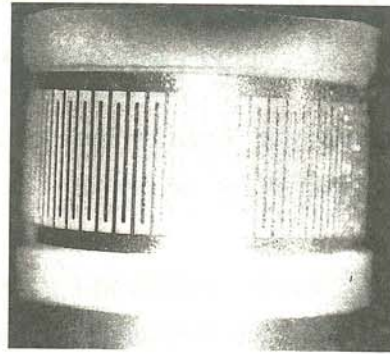


図4 着水感知センサー電極

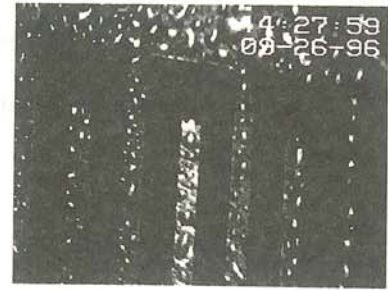


図5 電極への着水状態

2. 着水風洞試験

今回開発した試験用各種測定器を図1に、また着水センサーの感知アンプ部と温度制御回路部を図2に示す。着水感知センサーを風向風速計へ取り付けられた状態を図3に示す。この写真にはヒータの発熱温度が着水中でも着水防止に有効な温度かどうかを見るために風上側と風下側に温度センサーを取り付けてある。図4には着水感知センサーの感知部の拡大を示す。また、図5に示すようにセンサーの電極部を望遠顕微鏡で拡大して、着水に伴う電極の動作特性をビデオカメラで観測しながら検討した。着水風洞の出口に試験に使用する風向風速計を設置した。その着水条件は、着水させる水の密度で冷凍室内の温度と風洞の風速、および2流体ノズルの水の量と圧縮空気圧を調整して決めている。

3. 試験結果

以上の実験結果から、センサー表面温度がプラスであれば、長くても30秒以内で感知する事が分かった。また、感知が出来ない程度の薄い着氷が進行してセンサー表面を氷が覆っても、何らかの自然条件又は人為的に解氷条件が出来て氷とセンサー表面の境界面に水膜が出来ると2秒程度で感知する事が判明した。もし、センサーで着氷を感知出来ずにセンサーが氷で覆われた場合でも確実に解氷するために1時間に1回の割合でヒーティングして解氷する方法を取った。この電力を削減できる可能性の有無の検証も行った。ヒーターにより電極上の水分を飛ばして絶縁が回復するまでの最大の長い時間は30秒であった。また、着氷した場合にヒータを投入すると、長くても8秒程度で電極上の氷が溶けて水膜が出来、センサーで感知することが分かった。

参考文献

- (1) A. Ozawa, J. Kagami, N. Sugawara, K. Hokari, M. Hirota and S. Shimizu, "Anemometer Acquisition System with Solar Cells for Transmission Line Maintenance in Heavy Icing Area", Proc. of 7th IWAIIS, pp396-400, 1997
- (2) 菅原、保莉、小澤、加ヶ見、木島、清水、廣田、「防氷型風向風速計の動作特性」、日本雪氷学会全国大会講演予稿集、A328、1996

寒冷気候利用に関する基礎的研究(第2報)

Fundamental Studies on Cold Climate and Radiative Cooling(Second Report)

高橋修平 (北見工業大学土木開発工学科)
榎本浩之 (北見工業大学土木開発工学科)
亀田貴雄 (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)
石橋 勉 (陸別町しばれ技術開発研究所)
仲野俊夫 (陸別町役場)
加藤 晋 (北見工業大学土木開発工学科)

Shuhei TAKAHASHI (Kitami Institute of Technology)
Hiroyuki ENOMOTO (Kitami Institute of Technology)
Takao KAMEDA (Kitami Institute of Technology)
Kinji HYAKUTAKE (Kitami Institute of Technology)
Tutom ISHIBASHI (Rikubetsu Cold Tecnology Research Institute)
Toshio NAKANO (Rikubetsu-cho Office)
Susumu KATO (Kitami Institute of Technology)

Key words: cold region, cold climate, radiative cooling, heat budget

1. はじめに

道東に位置する足寄郡陸別町は、幌加内町母子里と並んで北海道の中でもさらに低温域であり、最低気温記録がよく報告される地域である。過去に国鉄の観測で低温記録がよく報告されていた小利別(陸別町)において、各種気象観測が数年間行われてきている。今回は陸別町周辺域に観測範囲を広げ '95~'96にわたって低温域がどのような条件で起こり、また地理的にはどのような地形でより低温となるのかを調べた。この低温気候出現の研究はこれまで陸別町で行われてきた自動車試験用氷結露作成や極地用氷掘削装置野外実験、および農作物の低温貯蔵など寒冷気候利用の基礎データとなり、さらには南極大陸の斜面下降風発生のメカニズム解明につながるものである。

2. 観測地点および観測方法

図1に示す陸別町陸別地区、関地区、日宗地区、小利別地区の丘の上・下の5地点において気温観測を行った。図中A地点:陸別地区(標高220m)は、陸別しばれ技術開発研究所が氷結路試験を行っている場所であり、気象の通年観測が行われている。B地点:関地区(標高210m)は、陸別町市街地から南東へ3km程のニトロマップ川沿地点であり、平坦な畑地が広がっている地域である。C地点:日宗地区(標高310

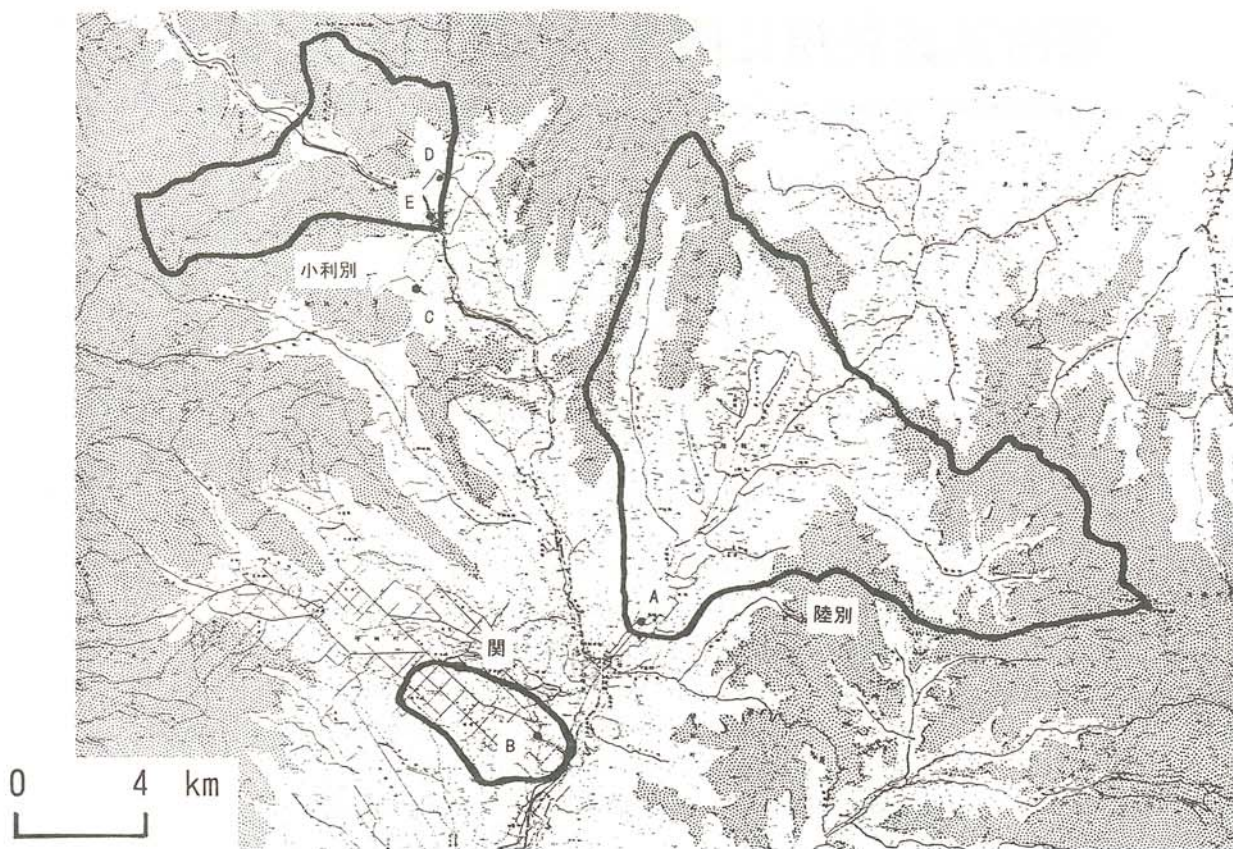


図1. 観測地点

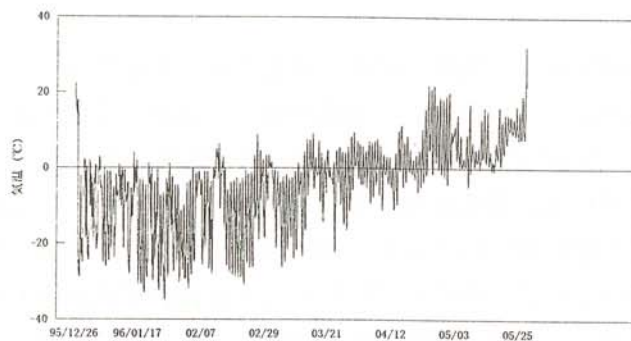


図2. 関地点の気温

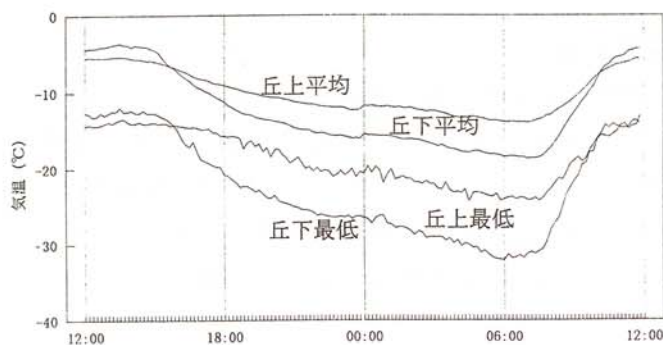


図3. 丘の上・下の時間帯別月最低値・平均値 (1996年1月)

m) は、利別川支流付近の日宗付近であり植生が散在している。D地点：小利別地区の丘の上地点（標高390m）は、小利別から訓子府方向に上った道に沿いの丘の上であり、平坦な牧草地に隣接したカラマツ林の中に位置している。E地点：小利別地区の丘の下地点（標高310m）は、利別川沿いの谷の中の平坦部であり小利別駅付近の平坦地である。D・Eの2地点は、丘の上下間においての温度差を計測するためのものであり、さらにそれぞれの地点において地表面からの高さ1 m・2 mの位置に設置し、温度の高度分布をとった。しかし、E地点の高さ2 mにおいては、観測機器の不調によりデータを得ることができなかった。

盆地冷却は、冷気流の流入による冷気湖の形成が大きな要素になることから流域の概念が重要になり、各観測地点の流域を示す。流域というのは、観測地点を盆地の谷の出口部分と設定しその周辺の分水嶺で囲ったものとする。盆地の上部となる小利別地区丘の上地点を除き、観測地点は川の近くにあるのでその川に沿って冷気が流れ込んでくるものと想定する。この図によると、小利別地区・陸別地区はかなりの広範囲にわたり入り組んだ地形となっているのに対し、関地区は非常に狭く平坦に広がっている流域であることがわかる。これは流域内を流れる川の大きさによるものである。

(1) データロガーによる観測

前出の観測地点A, B, C, D, Eには自然通風シェルター付き白金抵抗温度計を用い、データロガー（コーナシステム社製、KADEC-US）にて10分間隔の気温を収録した。観測期間は、1995年12月末から翌年5月末までの約5ヶ月である。

(2) Mamedasによる観測

陸別町しばれ技術開発研究所は氷結露試験地点において、各種気象観測を行っている。観測装置はコーナシステム社・Mamedasであり、60分間隔の観測データがロガーに記録され、随時電話回線により陸別市街の解析装置に取り込まれる。観測項目は、気温の他に風速・風向・日射量・日照時間・湿度・積雪深・そして1時間毎の瞬間最大風速とそのときの風向・時間（分）である。観測はしばれ技術開発研究所が常時行っているが、データの一部を今回の研究に使用させていただいた。

3. 観測結果

図2に関地点における1995年12月から1996年5月まで観測期間全体の気温の変化を示す。全観測地点中最も冷えた地点であり、1～2月には「真冬日」が連続し最低気温は -34.8°C であった。3月には 10°C 近くまでなることが多いが、 -20°C を記録したときもあった。全体を通して日最高気温が 0°C を下回る日が続くのは2月末頃までであり、その後約1ヶ月は春の到来を告げる「三寒四温」と言われるように何日間かの周期的変化をしながら気温が上がっていく傾向にある。

図3に小利別地区丘の上1 m地点・下1 m地点における1月の気温の時間帯別の月最低値・平均値を示す。この図では日が沈む時間帯と思われる16時頃から急激に気温が下がり、日が昇る時間帯と思われる6時頃まで徐々に冷却を増し、その後は日射の影響で気温は上がっていくことがわかる。さらに、最低値・平均値ともに丘の上より

丘の下の方が日中は高く、夜間は低く、1日を通しての格差が大きい。

各観測結果の最低気温を温位に換算したものを表1に示す。ただし、ここでの温位は標高0mを基準として考えている。温位の高い順に札幌、旭川ときて次には小利別の丘の上地点、北見となっている。最低気温では小利別の丘の上地点の方が北見より低かったが、温位で比べると北見の方が低くなっている。ということは、北見の空気の方が冷たかったことになる。同様に、日宗・陸別の関係でも陸別の空気の方が冷たかったことになる。関地点は他地点と3℃以上の温位差があり最低気温差より差が大きいため、より冷たい空気塊が形成されていると考えられる。観測地点全体でみると、標高が低い方が温位も低くなる傾向にあり、盆地冷却による気温逆転現象が起きていると考えられる。

図4に1996年1月の気温と風速の関係を示す。風速の強弱に関わらず、気温はほぼ0～-10℃程度の値となっているが、風速が2m/s以下になると強い低温域となり-30℃

表1. 各観測地点の最低気温と温位

地点名	標高 (m)	最低気温 (℃)	温位 (K)	月日	時刻
小利別丘の上2m	390	-24.0	252.8	01/19	07:10
小利別丘の上1m	390	-24.3	252.5	01/19	04:30
小利別丘の下1m	310	-32.1	243.9	01/26	06:00
日宗	310	-32.0	244.0	01/26	05:30
陸別	220	-31.7	243.4	01/26	06:50
関	210	-34.8	240.2	01/26	05:50
北見	84	-23.1	250.7	01/26	
旭川	112	-20.4	253.7	01/26	
札幌	17	-14.4	258.8	02/01	

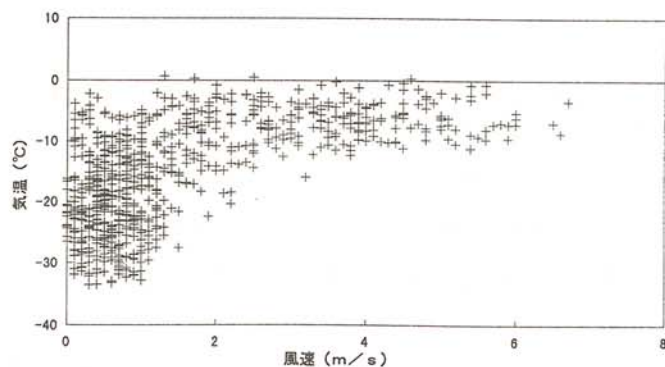


図4. 気温と風速の関係 (1996年1月)

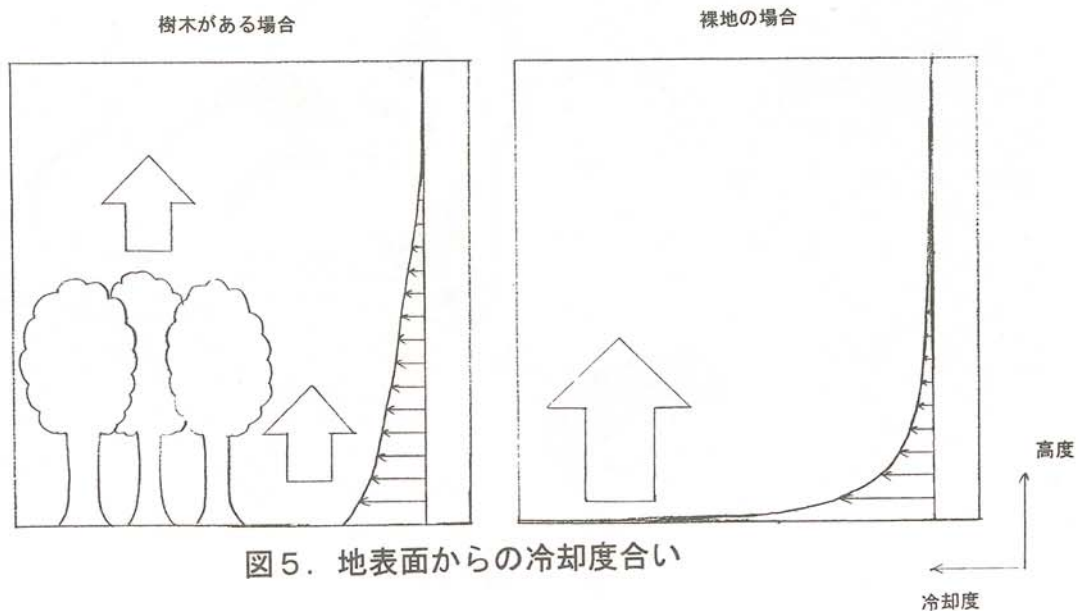
を下回ることもあった。これは放射冷却によって気温が下がるにつれて逆転層が発生すると、冷氣層は地表面付近に安定な状態となった空気塊を形成し、風の侵入が妨げられて大気の擾乱が起きにくくなる。そして太陽が昇ると、気温が徐々に上がっていった不安定になると風が吹き始める、ということである。

地表面からの冷却度合いを考えるにあたって、地表面状態の違う2パターンの冷却モデル図を図5に示す。左図は樹木がある場合、右図は樹木のない裸地などの場合である。縦軸に高度をとり、横軸はその高度においてのある一定時間（夕方日没頃から早朝日の出頃まで）の夜間放射冷却による冷却度を表す。この場合上空に移動する熱量は両図とも同じでありすべて放射されるものとし、無風状態であると仮定する。移動する熱量が等しいということは、すなわち鉛直方向積分値（矢印部分の面積）が等しいということである。さらに無風状態ということは、他からの空気が流れ込んでこないため大気の擾乱が起こらず地表からの顕熱輸送が行われないと考える。

まず左図の樹木がある場合を考えてみる。この場合、地表面と樹木それぞれから放射するため木の高さくらいまでは均等に冷却される傾向にあるが、それより高いところではあまり放射冷却の影響を受けないものと考えられる。よって木の高さまでの冷却度合いが大きい。

次に右図の裸地などの場合を考える。この場合、放射は地表面からのみされるので地表面付近だけが大きく冷却され、そこより上の地点の冷却量はほとんどないために地表近傍がより低温となる。つまり、裸地の方が地表面付近はより低い温度が出現する。この面が斜面であるとき、裸地のより低温な空気層が移動しやすく斜面を下って冷氣湖を形成する効果大きい。

ここで観測地点周辺の裸地の分布を図6に示す。関地区の流域は、面積こそ小さいが裸地の割合が大部分を占めるため、他の地点より低温域が出現すると考えられる。



4. まとめ

- ・1996年では、陸別周辺域において関地点が最も低い温度（ -34.8°C 、1月26日）を記録した。
- ・小利別地区丘の上下地点間（標高差約80m）に盆地冷却効果による -10°C 前後の強い気温逆転現象が見られた。
- ・放射冷却現象により夜間に気温が低下していき、日最低気温は早朝日の出頃に出現することが多かった。
- ・昼間、夜間を問わず風速が 2m/s 以下の時に低温域となっていることが多く、特に早朝の時間帯にこの傾向が顕著に現れていた。これは山で生成された冷気が斜面から谷へと流れ込み、冷却度を増していくものと考えられる。
- ・裸地では地表面付近で放射が盛んに行われるため、流域面積に対する裸地の割合が大きいとき盆地冷却効果を増大させると考えられる。

5. おわりに

本研究の観測結果は、強い逆転層観測の観測例として盆地冷却システムおよび南極の斜面下降風発生メカニズム解明のデータに資するとともに、地形図および地表土地利用状況から低温部出現地域推定を行う方法の基礎データとしたい。

最後に貴重な資料をご貸与いただいた陸別町しばれ技術開発研究所の方々に心よりお礼を申し上げますとともに、さらなるご協力をお願いしたいと思います。

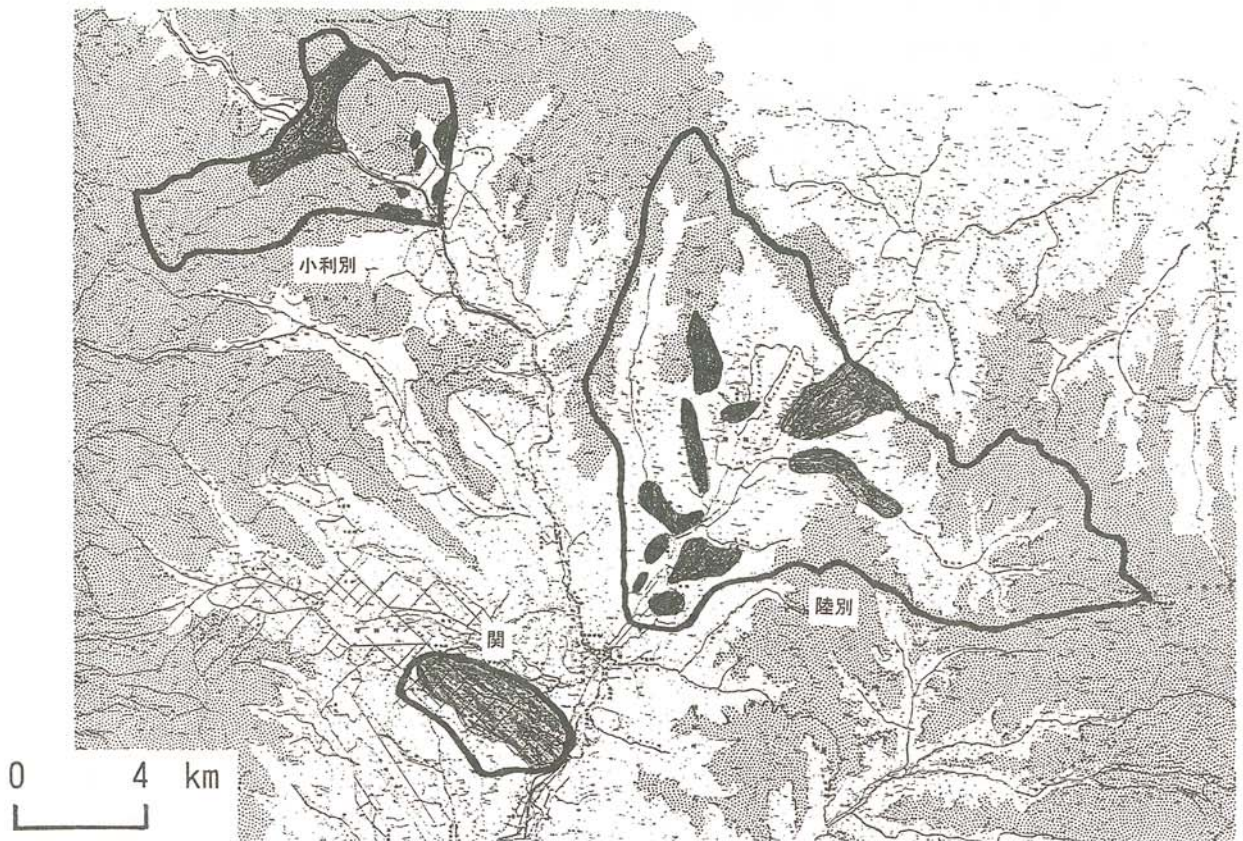


図6. 裸地の分布

氷掘削装置開発に関する基礎的研究(第2報) —氷掘削ドリルによる回収切り粉の密度測定—

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

-Measurements of Snow Chip Density in Electro-mechanical Ice Drill-

高橋修平 (北見工業大学土木開発工学科)

庄子 仁 (北見工業大学土木開発工学科)

榎本浩之 (北見工業大学土木開発工学科)

亀田貴雄 (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)

宮原盛厚 ((株)地球工学研究所)

高橋昭好 ((株)地球工学研究所)

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)

Morihiro MIYAHARA (Geo Tecs Co. Ltd.)

Akiyoshi TAKAHASHI (Geo Tecs Co. Ltd.)

Key words: ice coring system, electro-mechanical drill, ice core, ice sheet,
glacier, polar region

1. はじめに

極域氷床で採取された氷コアの解析により過去数百年から数10万年にわたる地球規模の気候・環境変動に関する情報が詳細に得られてきている。氷掘削ドリルは、このような極域の氷河や氷床などから氷コアを採取するために使用される。浅層型掘削ドリルは、一回の掘削で80cm程度の氷コアが採取でき、それを繰り返して使用することにより、数百m深までの氷コアを採取することができる。この時、一回の掘削で得られる氷コアの長さ(コア長)を長くできれば、それは掘削速度を速くすることに相当するので、作業環境の厳しい氷河上での滞在日数を減らすことができ、望ましい。

大きな掘削ドリルを使えばコア長も長くなるので、この目的を達成することができるが、全体のシステムが大型化するので、そのための作業量が增大するという問題が生じ、むやみに大きなドリルを使用することはできない。つまり、ドリルの長さそのままとして、より長いコアを採ることが理想である。このためには、掘削時にドリル内にたまる氷の削りくずである「回収切り粉(チップ)」の体積を減らし、その体積をコアの収納に使えばよい。すなわち、ドリル内のチップ密度を高める工夫ができればよい。

ここでは、より長い氷コアが採取できる「改良型浅層掘削ドリル」の開発のための基礎データとし

て、現行の浅層型掘削ドリルで得られるチップの密度構造および試作バレルを使った最大チップ密度の測定結果を報告する。

2. 氷掘削ドリルの構造

図1に浅層掘削型ドリルの主要部分の概要図を示す。ドリルは、モーターでコアバレル（長さ2m）を回転させ、先端のカッター（切削刃）により氷をドーナツ状に削り、掘り進んでいく。チップはコアバレルとジャケット（外管）との間をスパイラルコンベアにより押し上げられ、コアバレル上部の窓からバレル内側へ落下する。チップの部分とコアの部分には仕切りがないので、チップが圧縮され、体積が減れば、必然的に長いコアが採れることになる。本コアバレルでは、一回の標準的な掘削で80cmのコアが得られるようにして長さを決めてある。

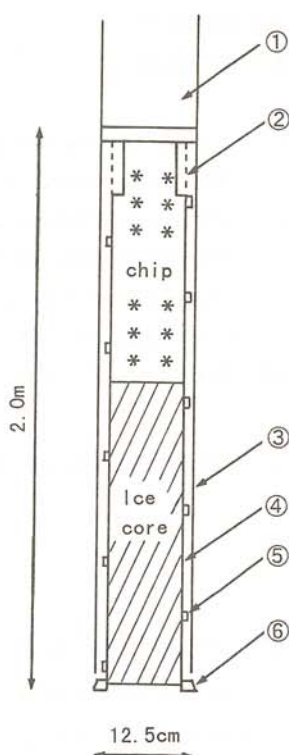


図1 浅層掘削ドリルの主要部の概要図

- ①：モーター、②：窓（コアバレルについている“穴”）、③：ジャケット（外管）、
④：コアバレル、⑤：スパイラルコンベア、⑥：カッター（切削刃）

3. 実験方法

北見工業大学地域共同研究センター第3低温室で行なった。30cm×30cm×60cmに切った市販の氷9個をチェンブロックで2.5m下の氷箱（140cm×40cm×180cm）に入れた。氷と氷の隙間には水を入れて、-25°Cで2昼夜おいて凍結させた。図2に氷掘削実験の様子を示す。掘削後に掘削ドリルのジャケットから引き抜いたコアバレルの上部にある回収切り粉の密度を密度サンプラー（100cc）で採取し、質量を電子天秤で測定した。

表1 掘削実験結果

Run No.	刃先条件		チップ密度 (g/cm ³)	コア		掘削			
	すくい角 (°)	ヒール		コア長 (cm)	ピッチ (mm/cyc)	掘削深 (cm)	平均速度 (cm/min)	電圧 (V)	電流 (A)
1	40	p4	0.28(中央部) 0.28(")			75	-	-	-
2	30	p4	0.38(上部) 0.31(中央部)			85	30	180	1.8
3	30	p4	0.41(上部)* 0.42(")* *コアによる圧縮	96.5	2.5	95	20	150	2.0
4	30	p4	0.32(中央部) 0.27(")			70	20	160	1.9
5	40	p4	0.29(中央部) 0.28(")			70	20	150	2.0
6	40	p4	0.41(上部) 0.38(中央部)			88	15	160	1.8
7	40	p6	0.38(上部) 0.33(中央部) 0.46(下部)			88	20	160	1.9
8	40	p3	0.41(上部) 0.32(中央部) 0.34(下部)		3	80	20	180	2.0
9	40	p3	-	88		93	15	80	1.8
10	40	p3	0.36(上部) 0.28(中央部) 0.33(下部)			74	10	190	1.9
11	30 ¹⁾	p6	0.41(上部)* 0.38(中央部)* 0.39(下部)* *コアによる圧縮	95	4.5	95	30	180	2.0
12	30 ¹⁾	p6	0.34(上部) 0.34(中央部) 0.37(下部)			70	40	180	2.0

1) 新品の刃を使用した。



図2 北見工業大学地域共同研究センターでの実験の様子

4. 実験結果

表1に実験結果をまとめる。実験は、1997年3月1日（第1～13run）および4月1日（第14～16run）に行なった。これらの実験では、ドリルの刃先条件（刃のすくい角、ヒールの高さ）と掘削深を変化させた。特に、第3runと11runでは掘削可能なコア長をしらべるために、掘削コントロール盤で電流値が急上昇するまで掘削を続けたので、これらの実験では、チップがコアにより圧縮されている。

コアバレル内でのチップの密度分布を調べるためにバレルの上部、中間部、下部でチップの密度を測定した。その結果を図3に示す（データは、すべて表1の「チップ密度」を使用した）。ここでは、掘削深を横軸にとり、縦軸にチップ密度を示した。掘削深が長くなるに従い、チップ密度が高くなることわかる。図3には、全データの回帰計算から求めた平均チップ密度を直線で示した。平均チップ密度 ρ (g/cm^3) は、掘削深を d (cm) とすると、以下の式で表せた。

$$\rho = 0.0034 d + 0.071$$

推定した平均チップ密度の標準偏差は、 $0.03\text{g}/\text{cm}^3$ であった（相関係数0.7、自由度23）。

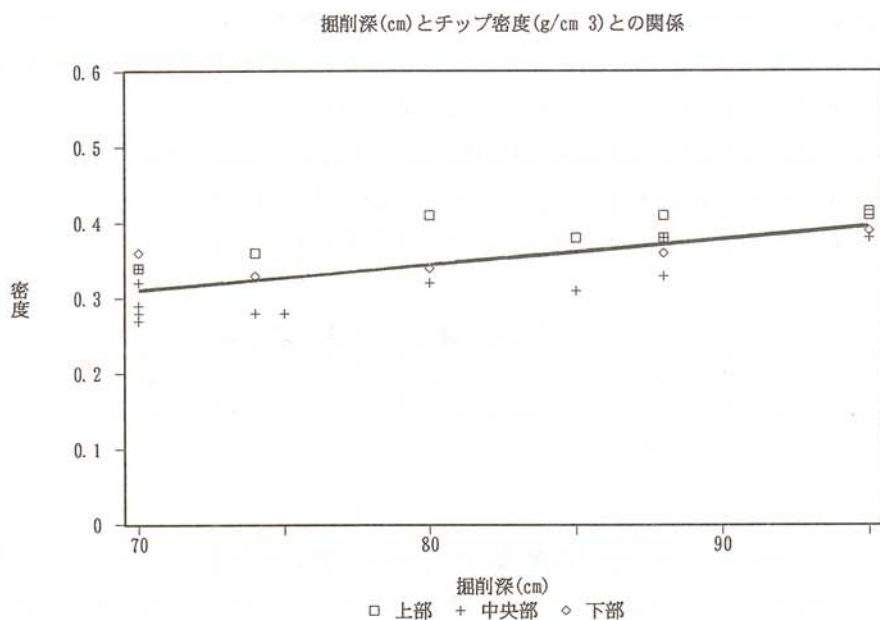


図3 掘削深とチップ密度との関係
(直線は、平均チップ密度を示す)

また、ほとんどの実験では、上部のチップ密度が最も高く、次に下部であり、中央部のチップ密度が最も低くなることがわかった。掘削ドリルの中では、上部のチップはドリルの内部と接触しており、下部のチップはコアと接触しているため、効果的に圧縮が進むためと思われる。チップ密度は、70cmの掘削深では、上部で0.34~0.36g/cm³、中間部で0.27~0.34g/cm³、下部で0.33~0.37g/cm³程度であった。これが80cmの掘削深では、上部が0.41g/cm³、中央部が0.32g/cm³、下部で0.34g/cm³となる。95cmの掘削深（チップをコアで圧縮した第3runと11runの結果）では、上部で0.41~0.42g/cm³、中間部で0.38g/cm³、下部で0.39g/cm³程度となった。また、刃先の条件によりチップの粒径が変化するが、今回は、この刃先条件とチップ密度の間には、明確な関係はなかった。

以上の実験結果によりわかったチップ密度構造の特徴を以下にまとめる。

- ①上部のチップ密度は、掘削深が70cmでは0.34g/cm³程度であり、これが掘削深が80cmになると、0.41g/cm³に増加し、その後この値はほぼ一定となった。
- ②中間部のチップ密度は、掘削深の増加に伴い、高くなった。70cmに掘削深では平均0.30g/cm³であり、それが95cmの掘削深では、0.38g/cm³まで増加した。
- ③下部のチップ密度は、掘削深が80cmの時は0.33g/cm³となり、95cmの掘削深では0.38g/cm³となった。
- ④上部、中間部、下部のチップ密度を使用して「平均チップ密度」を計算をすると、70cmの掘削深では、0.31g/cm³、80cmでは0.34g/cm³、95cmでは、0.40g/cm³となった。

現行の浅層掘削型では、一回の掘削で得られる標準的な氷コアを80cmと設定しているが、最大95cmまでの氷コアが採取できた。チップ密度をさらに高めることができれば、さらに長いコアが採取できる。その計算結果を表2にまとめた。最大1mの氷コアを採取するためには、チップをさらに圧縮さ

せ、チップ密度を 0.42g/cm^3 にすれば良い。最大1.4mのコアを採取するためには、チップ密度を約75%高める(0.7g/cm^3)必要がある。ただし、チップ密度を高めると他の問題が生ずるので、むやみに高くすることができない。この点については、次節で述べる。

また、コアバレルにセパレーター(厚さ5cm程度の円形、エサホーム製)を入れると、コアがコアバレルから抜き出しやすくなることを確認した。これはセパレーターがあると、コアとコアバレルとの間にチップが入りずらくなるので、コアが取り出しやすくなるためである。

表2 平均チップ密度と最大コア長との関係

平均チップ密度 (g/cm^3)	0.40	0.42	0.46	0.53	0.60	0.70
最大コア長 (m)	0.95	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4

5. 試み

図4に分離型コアバレルを使った場合の浅層掘削ドリルの概要図を示す(この図では、図1と異なる部分のみに説明をつけた)。これは、コアが収納されるコアバレルの長さが80cmであり、その先にはブースターと呼ばれるらせん形のスパイラルがついており、収納するチップを効率よく輸送する役割がある。このタイプは、鈴木義男氏(北大名誉教授)が開発したもので、液中で掘削する際に使用されている。液がない乾式でもこの分離型バレルは使用可能なことが知られていたため、今回はこのバレルによる最大チップ密度を測定した。コアバレルが80cmなので、80cmまで掘削した後にコアのみを取り出し、チップをそのままにして、掘削をさらに続けるという方法でチップを圧縮した。その結果を表3にまとめた。

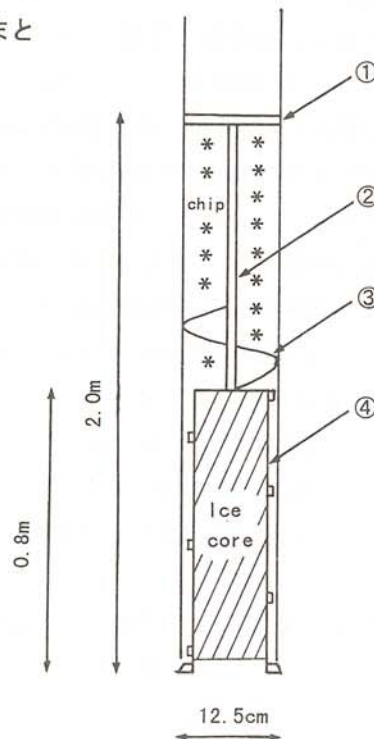


図4 分離型コアバレルを使用した浅層掘削ドリルの概要図

①:スクレーパ、②:シャフト、③:ブースター、④:コアバレル
(他の部分は、図1の説明と同じ)

表3 分離型バレルによる最高チップ密度実験の結果

Run No.	刃先条件		チップ密度 (g/cm ³)	コア		掘削			
	すくい角 (°)	ヒール		コア長 (cm)	ピッチ (mm/cyc)	掘削深 (cm)	平均速度 (cm/min)	電圧 (V)	電流 (A)
13	30 ¹⁾	p6	0.63(全体)			70	45	180	2.1
14	30 ¹⁾	p6	—	81	3	85	25	350	2.5
15	30 ¹⁾	p4	0.65(上部) 0.68(下部)	47.5		50	25	350	2.4
16-1	30 ¹⁾	p4	0.65(上部) 0.70(下部)			75	30	350	2.2
16-2						47	25	350	2.2

1) 第13～16-2runでは、新品の刃を使用した。

2回の掘削の合計が135cmになると、内部のチップが満杯になり、掘削が続けられないことがわかった。その時のチップの密度は、表2に示すように0.63～0.70g/cm³であった。このチップが満杯になった状態では、コアバレルをジャケットから引き抜くことが非常に困難であったので、ここまでチップ密度を高くすることは、実際には行わないほうがよい。従って、実用上問題のない最高チップ密度を0.5g/cm³と仮定すると、現行の浅層掘削機による最大コア長は、表2により、1.1～1.2mである事が推定できる。

6. まとめ

今回のテストにより、a) コアバレル内でのチップの密度構造、b) チップの密度と掘削深との関係、c) チップ密度が最高0.7g/cm³まで高くなること、がわかった。また、最大チップ密度を0.5g/cm³と仮定すると、現行の浅層掘削機では1.1～1.2mまでの氷コアを採取できる能力がある事がわかった。現行コアバレルでは、0.5g/cm³までチップ密度を圧縮することは出来ていないが、チップがコアバレル内に入る際の位置やチップを持ち上げるスパイラルコンベアの搬送能力等を改善すれば、この理想に近づくようにチップを更に圧縮することができると思われる。次の段階においては、

- ① 実用上問題がないチップの最高密度の決定。
- ② その決定に基づいたコアとチップとの比率の決定。
- ③ 各種氷温での確認テスト、

等を2タイプのコアバレルを比較しつつ行い、より能率的なドリルを開発していく予定である。

7. 謝辞

国立極地研究所の神山助教授、橋田助手および五十嵐博士には、実験を遂行するにあたり、協力していただいた。記して感謝いたします。

知的教育支援システムの研究

Research on Intelligent Computer Aided Instruction System

藤原 祥隆 (北見工業大学工学部情報システム工学科)

岡田 信一郎 (北見工業大学工学部情報システム工学科)

後藤 寛幸 (リコーシステム開発 (北見))

黒丸 鉄男 (リコーシステム開発 (北見))

Yoshitaka FUJIWARA (Kitami Institute of Technology)

Shin-ichirou OKADA (Kitami Institute of Technology)

Hiroyuki GOTO (Ricoh System Development Kitami)

Tetsuo KUROMARU (Ricoh System Development Kitami)

Key word: programming exercise, CAI, ITS

1 緒言

平成5年2月、情報工学科における各種の情報教育を目的に導入された“情報教育用電子計算機システム”は、平成9年2月に新しい電算機システムにより置き換えられることになった。これに伴い、新しい計算機システム上で、“情報システム工学演習”授業の支援を目的に“プログラミング演習支援システム (ITS-2)”を新たに設計製作した。本稿では、ITS-2の設計方針、設計結果の概要について報告する。なおITS-2の基礎となっている、同時多数教育型演習支援システムの設計思想、プロトタイプ (ITS-1)の設計結果については文献(1)(2)を参照されたい。

2 計算機システム

本演習支援システム (ITS-2) が前提とする計算機システムの概略構成を図1に示す。学生が使用する計算機 (学生 WS)、教官が使用する計算機 (教官 WS)、管理制御用の計算機 (支援 WS) 上に分散配置されたプログラム群が相互に協調しながら、同時多数型の演習支援動作を実現する。なおファイルサーバには教官および学生のデータ、全てのプログラムのバックアップ、演習実行時のログ情報等が格納される。表1にこれらの計算機的主要な諸元を示す。

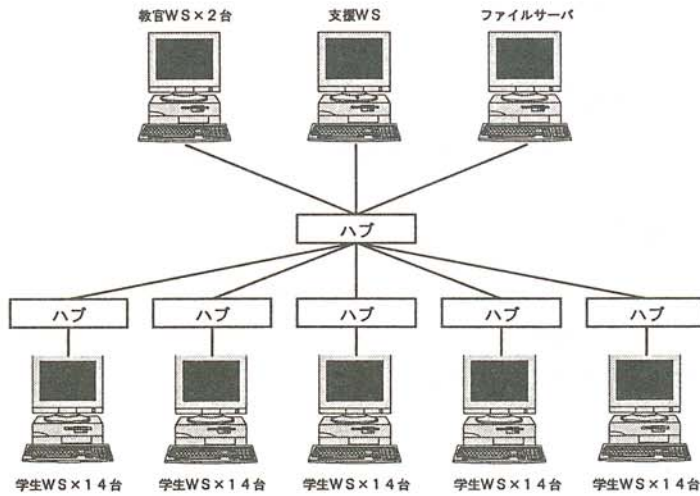


図 1: システム構成概念図

表 1: WS 諸元

WS 種類	分類	項目	内容
教官 WS 支援 WS 学生 WS	ハードウェア	CPU	SGI O ² : R5000PC(180MHz)
		メモリ	64MB
		ハードディスク	2GB
		ディスプレイ	カラー、17 インチ、 解像度 1280x1024
	ソフトウェア	OS	X/open の定める「統一 UNIX 仕様」に準拠した日本語対応の UNIX
		X ウィンドウ	X11R6
		ウィンドウシステム	CDE/Motif
ファイルサーバ	ハードウェア	CPU	SGI CHALLENGE S: R5000SC(180MHz)
		メモリ	192MB
		ハードディスク	21.5GB RAID5 (ディスクアレイ) 4GB(内蔵)
	ソフトウェア	OS	X/open の定める「統一 UNIX 仕様」に準拠した日本語対応の UNIX

表 2: 支援サービスの枠組

分類	サービスの概要
教官	<ol style="list-style-type: none"> (1) 講義・課題提示: 教材テキストおよび課題を WYSIWYG インタフェースで HTML 文書として作成可能。 (2) 学生の状況確認: <ol style="list-style-type: none"> (a) 動作状況確認: ログイン状況の確認。 (b) 課題状況確認: 学生が手掛けている課題での進捗状況の確認。 (c) レポート提出状況確認: 出題済みの課題に対するレポート提出状況の確認 (d) 質問状況確認: 質問を發した学生の確認。 (3) レポート確認: 学生の提出した 3 点セット (流れ図、ソースコード、実行結果) を確認し、評価点を付与。 (4) 質問応答: <ol style="list-style-type: none"> (a) テキストメッセージによる学生との対話。 (b) 学生の作業画面 (流れ図、ソースコード) を利用した学生との対話・指導。 (c) WS の有する簡易会議機能を利用した対話。
学生	<ol style="list-style-type: none"> (1) 講義: WWW ブラウザより必要時に必要な教材の表示が可能。 (2) 進捗確認: 出題済み課題に対して、流れ図作成、コーディング、レポート提出、のいずれのステージを完了しているかの状況確認。 (3) 流れ図作成: 所定の流れ図言語を用いて、与えられた課題のアルゴリズム記述が可能。 (4) コーディング・デバッグ: 所定のプログラミング言語を用いたコーディング、コンパイル、実行が可能。またコンパイル、実行時には WS システムの用意したエラーメッセージを表示。 (5) レポート提出: 特定の課題に対する提出物 (流れ図、ソースコード、実行結果) の編集とそれらの教官への転送。 (6) 質問応答: <ol style="list-style-type: none"> (a) テキストメッセージによる教官との対話。 (b) 作業中の画面を利用した教官との対話。 (c) WS の有する簡易会議機能を利用した対話。

3 演習システムの設計方針

3.1 支援サービスの枠組

ITS-2 で実現する教官および学生に対する支援サービスの枠組を表 2 に示す。

3.2 ソフトウェア機能

表 2 の支援サービスを各 WS の協調動作によって実現するときの、ソフトウェア機能の概要を図 2 に示す。またこれらの機能をプロセス（プログラム）として実現する場合、各 WS に配置するプロセスとそれらの相互関係を図 3 に示す。

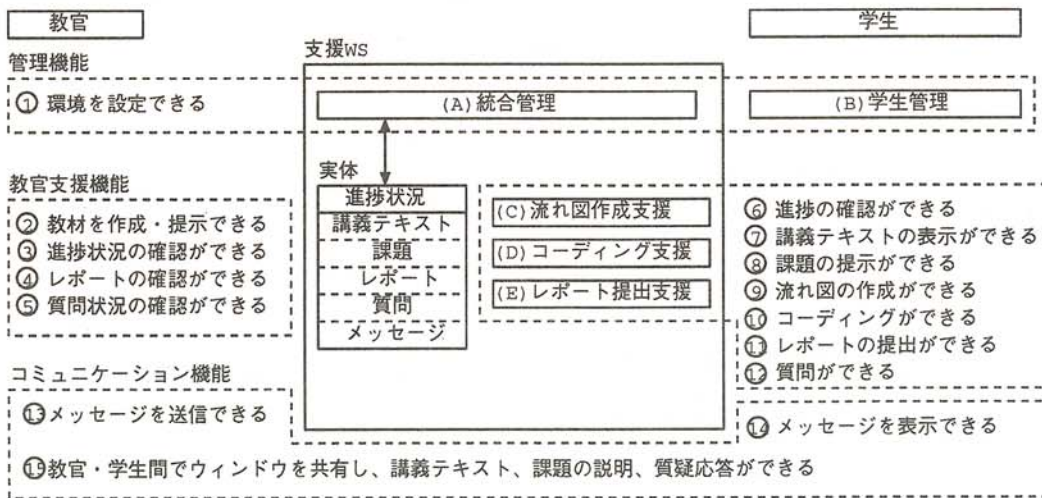


図 2: 機能概要

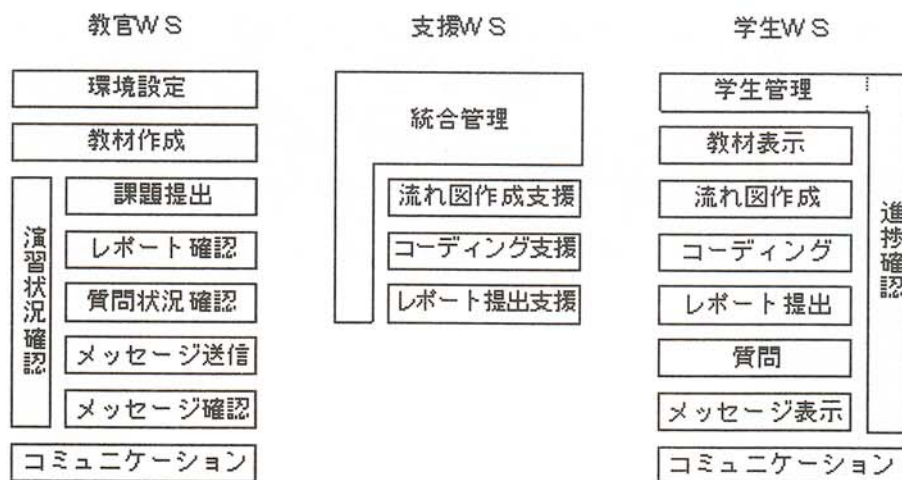


図 3: プロセスの各 WS への配置

4 設計結果の概要

4.1 教官支援

ITS-2 を起動した後の教官 WS の典型的な画面（演習状況確認ウインドウ）を図 4 に示す。演習状況確認ウインドウは、ログインしているか否か、どの演習ステージにあるか、の状態を全学生について示すものである。教官支援の各サービスは、このウインドウ中のメニューから対応する項目（課題提示、レポート確認、質問状況確認、メッセージ通信およびメッセージ確認）を選択することにより起動される。なお講義教材や課題は計算機システムに装備されているプログラム（WYSIWYG により HTML 文書の作成を支援するプログラム）を使用して作成できる。

図 4 の演習状況確認ウインドウから「レポート確認」項目を選択することにより表示されるサブウインドウから得られるレポート内容の表示例を図 5 に示す。

4.2 学生支援

ITS-2 の起動後、学生 WS には課題提示、流れ図作成、コーディング、レポート提出、の 4 つのステージの状況を表す「進捗管理ウインドウ」が表示される。

学生支援の各サービスは、このウインドウ中の各動作ステージを表すボックスを選択することにより起動される。また各ステージでは関連する情報（例えば、コーディングステージでは、課題、流れ図）も必要時応じて表示できる。

図 6 にコーディングステージにおける作業画面の例を示す。

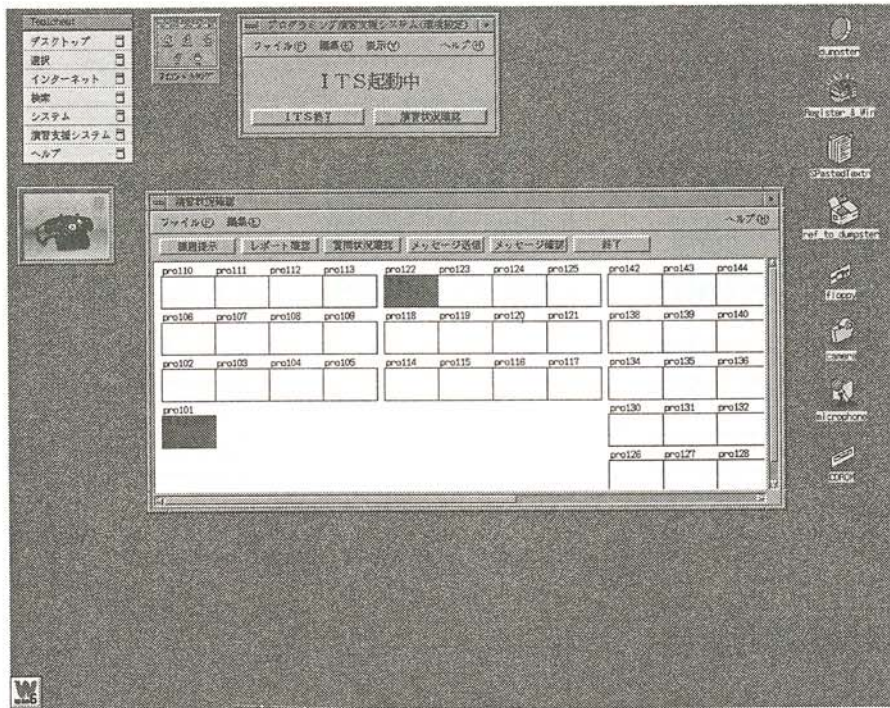


図 4: 教官 WS の画面例

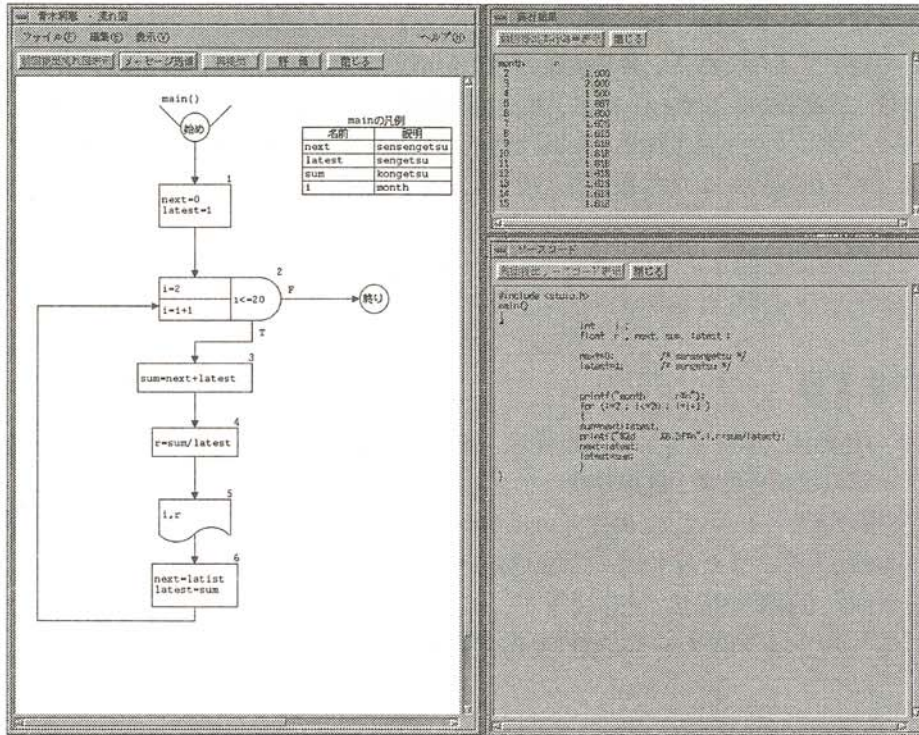


図 5: レポート確認画面例

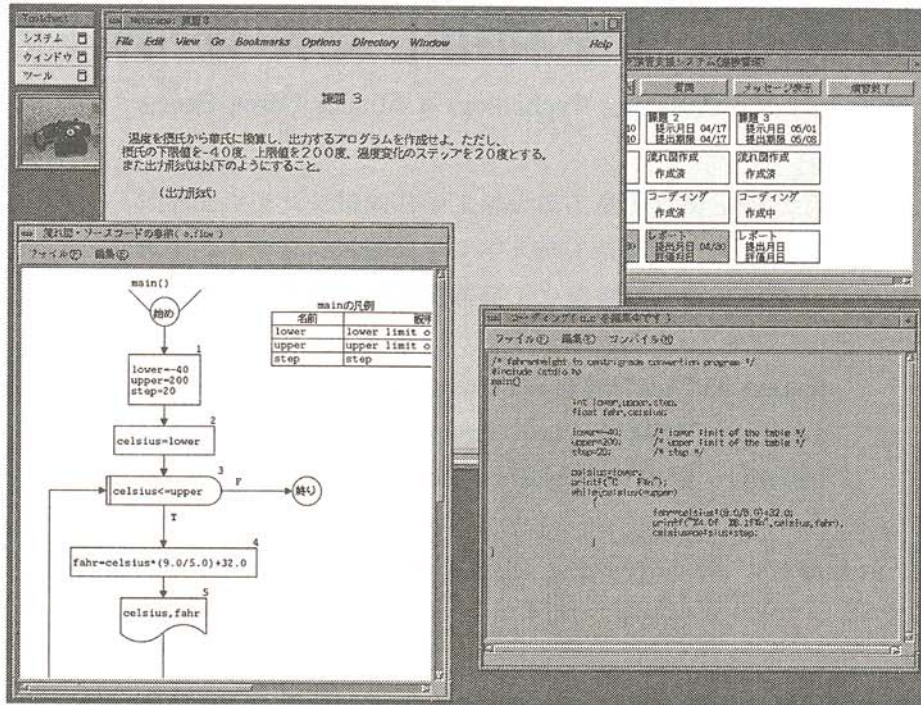


図 6: 学生 WS の画面例

5 結言

本稿では、平成 9 年 2 月に導入された情報教育用電子計算機システムを使用して行う“情報システム工学演習授業”の支援を目的に開発した“プログラミング演習支援システム (ITS-2)”の設計方針と設計結果の概要を述べた。今後本システムの具体的な運用を通して、問題点、改良点等を明らかにしてゆきたい。

文献

- (1) 藤原、松西他: “プログラミング演習支援のための階層分散処理システムの設計と評価,” 電子情報通信学会論文誌 (D-II) vol.J78-D-II, no.11(1995), pp.1701-1709.
- (2) 岡田、藤原他: “Program Slicing 技術を利用した誤り診断機能を持つ流れ図作成支援システム,” 電子情報通信学会論文誌 (D-II) vol.J78-D-II, no.11(1995), pp.1669-1679.

力覚センサを利用したNC研磨技術

NC Polishing Technology Utilizing Force Sencer

二俣正美 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

田牧純一 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

鎌田英博 (北海道立工業試験場産業デザイン部)

Masami FUTAMATA (Kitami Institute of Technology)

Jun'ichi TAMAKI (Kitami Institute of Technology)

Hidehiro KAMATA (Hokkaido Industrial Research Institute)

key word: woodcraft, NC polishing, force control, polishing efficiency

1. 緒言

木工製品の木地研磨は切削工程によって生じた木材表層部の圧縮繊維が塗料溶剤を吸水することによって起きあがる「毛羽立ち」を抑制し肌触りの良い仕上面を創成するために必要不可欠な作業である。しかしながら、意匠曲面を有する木材の研磨は専ら人力に頼っているのが現状であり、これが製品コストの減少、生産性向上の妨げとなっている。また、作業時に発生する粉塵や振動工具の長時間使用が人体に及ぼす悪影響など作業環境も望ましいものではない。

本研究は多関節ロボットに研磨工具を把持させた力制御による木材の自動研磨システムの構築を目指しており、本報告ではその基礎研究として、研磨工具の工作物に対する接触状態（工具傾き角）が研磨特性に対して及ぼす影響、研磨布紙特性の経時変化について実験的検討を行った。

2. 実験装置

実験に使用した研磨工具の概要を図1に示す。この工具は作業現場で小物の平面部および曲面部の研磨に汎用されているポータブルタイプであり、圧縮空気(0.35MPa)を駆動エネルギーとしてゴム製研磨パッドが紙面の左右方向に振動(無負荷時振動数190Hz, 両振幅4mm)する構造になっている。また、研磨布紙は研磨パッドに装着したマジックテー

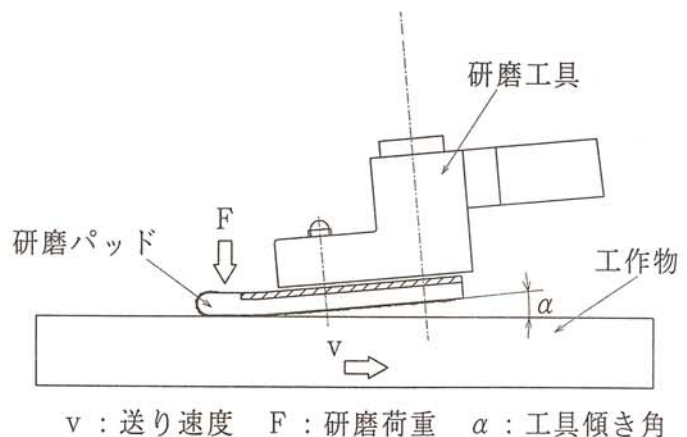


図1 研磨工具の概要

プを介して密着するようになっている。図にハッチングで示した部分は、研磨パッドを固定しかつ振動運動を研磨パッドに伝達するための鋼板であるが、図からわかるように研磨パッド全面が鋼板で裏打ちされているわけではなく研磨パッドの先端部はゴムだけで構成されている。したがって、パッド先端部だけを用いて研磨する場合とパッド中央部を含んだ全面を用いて研磨する場合とでは、後述するように工具の弾性挙動に大きな差異が現れることになる。

表1に研磨条件を示す。研磨試料として北海道産の代表的広葉樹であるみずならを選定し、その柀目面を仕上研磨する実験を行った。研磨砥粒には木材に多用されている #240 の溶融アルミナを用いた。研磨布紙はマジックテープと密着させるためのフェルトを接着したクラフト紙を基材としており、下引き接着剤として漆 (G)，上引き接着剤としてレジジン (R) をコーティングした構造になっている。

本研究では研磨工具および研磨布紙の基本的特性を把握することを目的として一定押付け荷重のもとで平面研磨実験を行った。平面研磨装置の基礎には工具研削盤を使用し、工具研削盤の砥石ヘッドを取り外しその台座にステッピングモータ駆動の垂直軸を搭載することによって研磨工具の上下運動制御を可能にした。研磨荷重（押付け荷重）は歪みゲージ式動力計を兼ねた研磨工具保持具によって検出し、研磨荷重をパーソナルコンピュータでモニタリングしながら工具位置をフィードバック制御することによって一定押付け荷重下での研磨作業を実現した。設定した押付け荷重 F は $10 \sim 40\text{N}$ である。なお、研磨パッドの工作物研磨面に対する姿勢角すなわち工具傾き角 α は、 $\alpha = 3 \sim 30^\circ$ の範囲で変化させた。

3. 実験結果

3.1 工具弾性に及ぼす工具傾き角の影響

工具弾性に及ぼす工具傾き角の影響を明らかにするために、研磨布紙を取り付けて振動させた状態の研磨工具を八角形弾性リング動力計に一定プランジ速度で押付け、その際に検出される荷重を測定する実験を行った。八角形弾性リング動力計は鋼製であるため研磨布紙による動力計表面の研磨除去作用はほとんど得られない。したがって研磨工具に与えられた変位はすべて研磨工具の弾性変形量とみなすことができる。

図2は工具傾き角 $\alpha = 10^\circ$ の場合について得られた荷重・弾性変位曲線である。なお、図中に示すプロット点がループを描いているのは研磨工具の弾性ヒステリシスの存在を検討するために研磨工具を一定速度で下降・上昇させる操作を行ったためである。図より、研磨工具の弾性に著しいヒステリシスは認められないことがわかる。また、荷重・弾性変位曲線は前半 (A部) と後半 (B部) からなる2つの弾性定数で構成されていることがわかる。図のA部で示す

表1 実験条件

研磨工具	空気圧駆動式ポータブルサンダー 空気供給圧力 0.35MPa 無負荷時工具振動数 190Hz 研磨パッド幅 40mm
研磨布紙	砥粒 溶融アルミナ #240 基材 Aw (薄手クラフト紙) 接着剤 R/G (上塗り/下塗り)
工作物	みずなら柀目材 寸法 L400mm×W80mm×H50mm
研磨条件	研磨荷重 $F = 10 \sim 40\text{N}$ 工具傾き角 $\alpha = 3 \sim 30^\circ$ 工作物送り速度 $v = 600\text{mm}/\text{min}$

弾性は研磨パッドのゴム部分および研磨布紙を密着固定するマジックテープ部分によって与えられるもので、研磨荷重（この場合には押付け荷重）が低い状態では弾性変形がすべてこの部分で発生する。この部分の弾性変形は押付け荷重の増加に伴って増加するがやがて弾性限界に達し、その後の弾性挙動はB部で示される領域に移行する。この領域になると研磨パッドの剛性はゴム部およびゴム部を固定する鋼板で構成される2層構造の複合材で与えられるようになるため研磨パッドの弾性定数は高い値をとるようになる。

図2に示す結果から弾性定数 k (A部とB部) と弾性遷移荷重 F_{tr} を計算し工具傾き角 α に対してプロットした結果を以下に示す。なお、弾性定数 k は研磨工具下降時および上昇時の弾性変形量を平均することにより算出した。

図3はA部（前半部）およびB部（後半部）の弾性定数 k の算出結果である。A部の弾性定数は工具傾き角の値に関わらずほぼ一定値を取るのに対し、B部の弾性定数は工具傾き角の増加に伴って直線的に減少していることがわかる。この結果は、工作物（この場合には動力計）と接触する研磨パッドの箇所が工具傾き角 α によって異なることに注目することにより説明できる。例えば研磨パッドを工作物研磨面に対して平行に配置（工具傾き角 $\alpha = 0^\circ$ ）した場合、研磨パッドのほぼ全面が工作物と接触するようになり、荷重はゴムと鋼板の2層構造からなる複合材で支持されることになる。したがって、その弾性挙動はゴムが支配的な低荷重領域と鋼板が支配的な高荷重領域の両者を有することになる。

一方、研磨パッドを工作物研磨面に対して α だけ傾けて押付けると研磨パッドの接触箇所は先端のゴム部に限定され荷重の支持はゴムだけで行われることになる。工具傾き角が大きくなればなるほど研磨パッドの接触部分はパッド先端に限定されるようになり、その結果、接触部におけるゴムの占有率が大きくなっていく。この状態は研磨パッドに占める鋼板の割合が低下することと等価とみなすことができ、弾性定数の減少をもたらすことになる。したがって、B部の弾性定数は工具傾き角の増加と共に減少することとなる。

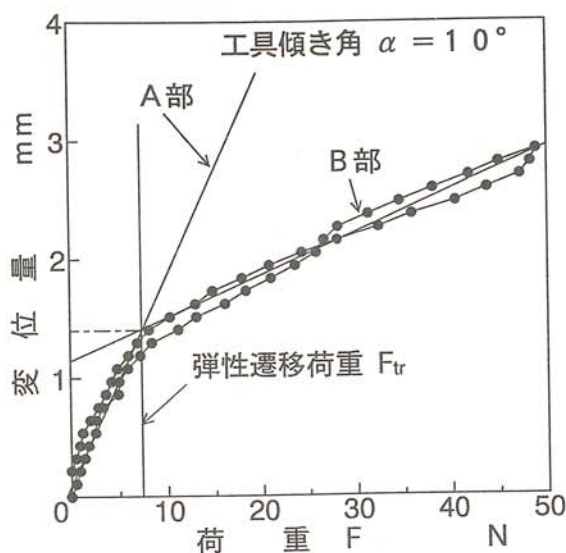


図2 研磨工具の弾性挙動

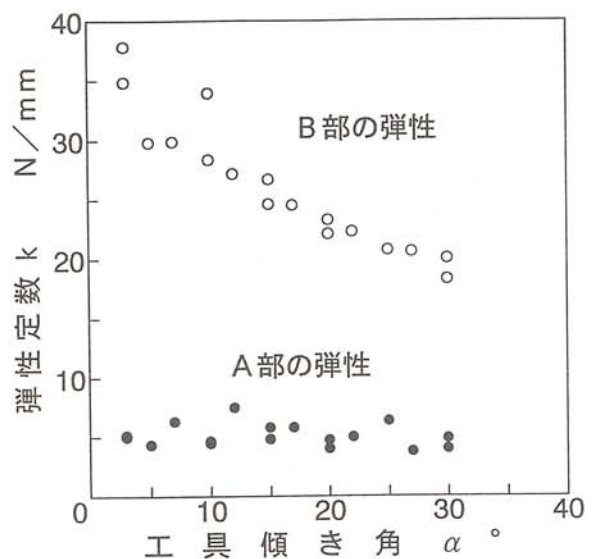


図3 弾性定数 k に及ぼす工具傾き角 α の影響

図4は、弾性遷移荷重 F_{tr} を工具傾き角 α に対してプロットした結果である。この図から、研磨パッドのゴムおよびマジックテープ部で規定される弾性（A部の弾性）が支配的となる荷重の上限、すなわち弾性遷移荷重は工具傾き角の値に関わらず8~10Nとなることからわかる。別の表現をすれば、研磨荷重10N以下の範囲内では工具傾き角の変化によって工具コンプライアンスは変化しないことを示している。

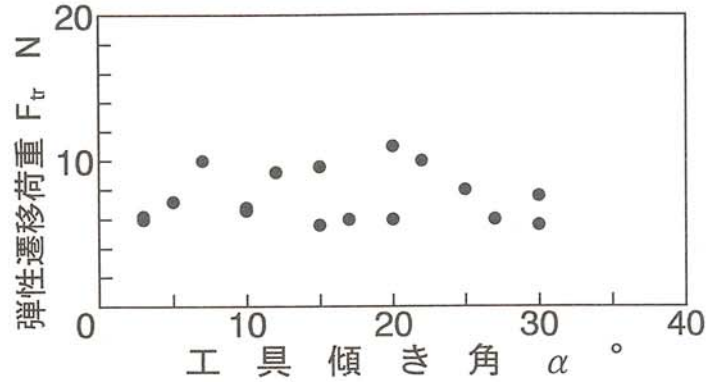


図4 工具傾き角 α 弾性遷移荷重 F_{tr} の関係

3.2 工具傾き角と研磨能率

今回の実験に採用した研磨工具の場合、研磨工具のパッド全面を工作物に押付けて使用するよりも工作物に対して幾分傾けた状態で使用するほうが曲面形状に対する対応性および振動工具の安定操作の点から望ましい。しかしながら、工具を研磨面に対して傾けることによって工作物・工具間の接触面積が変化し、その結果、研磨能率に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、工具傾き角 α をパラメータとして一定荷重 $F=15N$ でプランジ研磨実験を行い、工具・工作物間接触面積 A および研磨能率 η の測定を行った。なお、工具接触面積 A とは研磨痕をプランジ方向に垂直な面に投影して得られる面積を意味する。また、研磨能率 η とは研磨痕中央部の断面積を研磨時間で除した値である。研磨幅 W は一定 (40mm) であるため研磨能率 η を研磨幅 W で除することによって単位時間あたりの研磨除去深さを求めることができる。

図5は、工具傾き角 α に対して工具接触面積 A 、研磨能率 η の関係をプロットした結果である。研磨工具の形状から予測されるとおり工具傾き角 α の増加とともに工具接触面積 A は減少する傾向を示しているが、その程度は幾何学的考察から予想されるほどに顕著なものではない。これは、研磨工具がゴムで構成される弾性体であるために工具傾き角が急勾配になって幾何学的接触面積が減少したとしても接触領域における工具の弾性変形がその減少分を補填するためである。

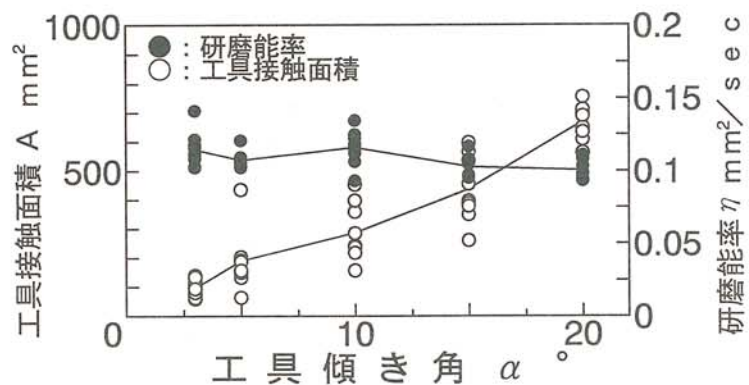


図5 工具傾き角 α に対する工具接触面積 A と研磨能率 η の関係

工具傾き角 α と研磨能率 η の関係の場合、工具傾き角 α の増加に伴って研磨能率 η が線形的

に増加している。この理由は研磨砥粒の工件物に対する進入角度によって説明できる。すなわち、工具傾き角 α は研磨布紙上に固定された研磨砥粒が振動する方向を規定するため、工具傾き角 α が大きくなるほど研磨砥粒の工件物に対する食い込み角度が大きくなり研磨能率は向上することになる。

3.3 研磨性能の経時変化

次に、研磨距離の経過に伴う研磨能率の変化を追跡するために研磨荷重 F をパラメータとして工具傾き角 $\alpha=3^\circ$ の条件でトラバース研磨実験を行った。なお、トラバース速度は、表1に示すように600mm/minに設定した。

図6に各々の研磨荷重について平均研磨深さの変化を追跡した結果を示す。研磨荷重 $F=10\text{N}$ の場合を除き、平均研磨深さは研磨開始直後において一番高い値を示し、その後急速に低下しやがて一定値に収束していく傾向を示すことがわかる。また、研磨能率の急減する現象は研磨距離0.5~1.0m付近で現れている。なお、研磨開始直後の研磨能率は研磨荷重の高いほど大きくなっており実験結果の信頼性を確認することができる。

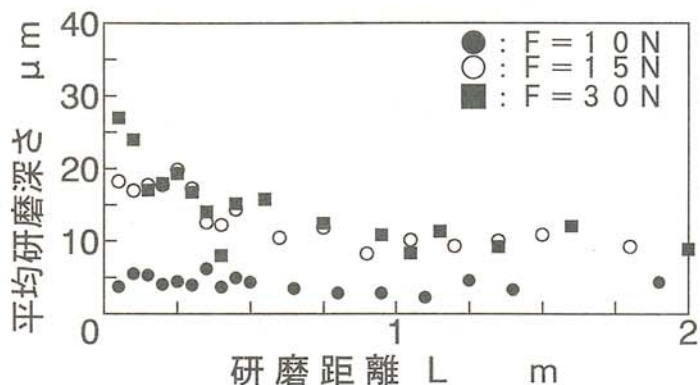


図6 研磨能率の経時変化

3.4 研磨布紙特性の経時変化

前節で述べたように研磨能率が研磨開始直後に急激に低下する理由として、次に示す2つの要因が考えられる。一つは研磨布紙と工件物の弾性的なじみによる工具接触面積の増加である。工具接触面積が増加することにより実質研磨圧力が低下し、その結果研磨能率の低下を招くことが考えられる。もう一つは研磨布紙作業面トポグラフィの急激な変化である。

図7は、図6において平均研磨深さが急激な変化を示した研磨距離(0~1m)の範囲に注目して工具接触面積の変化を追跡した結果である。いずれの研磨荷重の場合にも研磨開始直後における工具接触面積の急減現象は認められない。

一方、図8は、研磨布紙の作業面トポグラフィ(5mm四方)を3D触針法により測定し、研磨布紙深さ40 μm までの領域についてその鳥瞰図を作成した例である。

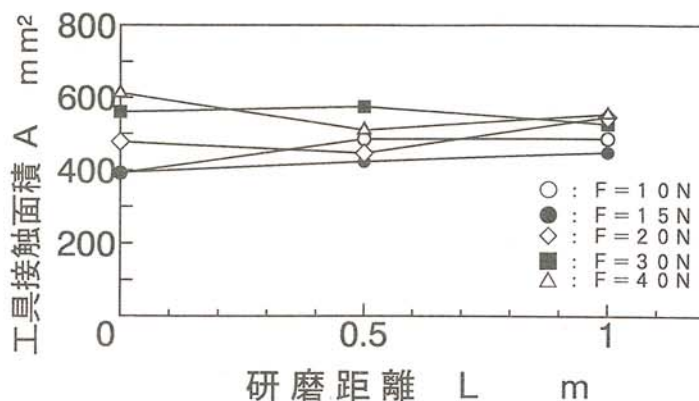


図7 工具接触面積Aの経時変化

これらの図から研磨前（図7（a））と研磨後（図7（b））ではトポグラフィに大きな違いが生じていることがわかる。すなわち切れ刃面積密度は研磨前後で2.7倍にも増加している。

図9は、図8に示した鳥瞰図から累積切れ刃の面積密度を求めその値を研磨距離に対してプロットした結果である。研磨作業を行った後の切れ刃密度はいずれの研磨荷重の場合にも急増しており、また、研磨荷重の大きいほど研磨後の切れ刃密度の増加も大きいことがわかる。

以上に示した結果より、研磨開始直後の研磨能率の急減は研磨工具・工作物間接触面積の変化によるものではなく、研磨布紙作業面上の作用切れ刃数が急増することによる砥粒接触面積（実質接触面積）の増加が原因となっていることが明らかとなった。

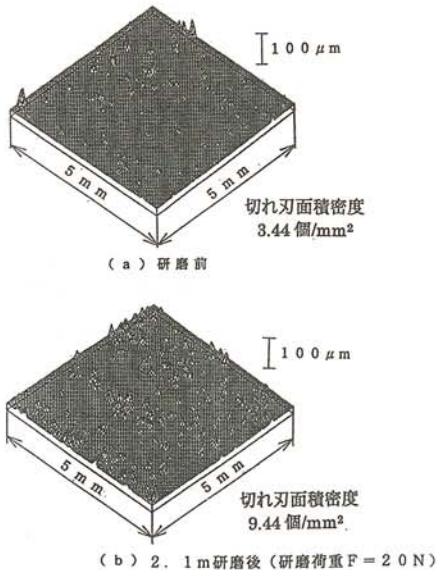


図7 研磨前後における研磨布紙トポグラフィの変化

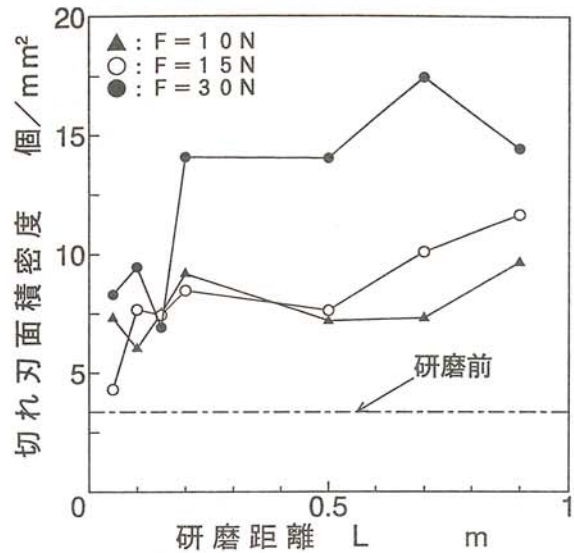


図8 砥粒切れ刃密度の経時変化

4. 結言

研磨ロボットに把持させる研磨工具の基本的特性を理解するために、みずなら柾目材の定荷重平面研磨実験を行った。研磨工具傾き角が研磨特性に及ぼす影響および研磨布紙特性の経時変化を検討した結果、以下の点が明らかとなった。

- 1) 研磨工具は、研磨荷重 10N 以下の範囲において、工具傾き角の値に関わらず研磨パッド先端部の剛性によって規定される一定の弾性定数を示す。
- 2) 研磨荷重が 10N を超えると、研磨工具は研磨パッド部とパッド支持鋼板の 2 層構造体で規定される弾性定数を示す。この弾性定数は、工具傾き角が大きいほど低くなる。
- 3) 一定研磨荷重の下では工具傾き角を大きくすることによって研磨能率が向上する。一方、工具・工作物間接触面積は工具傾き角を大きくしてもそれほど減少しない。したがって、一定荷重研磨作業は実際には一定圧力研磨作業を実行していると考えてよい。
- 4) 研磨布紙作業面のトポグラフィ特性は研磨開始直後において大きく変化する。すなわち、研磨後の切れ刃密度が数倍になる。

謝辞：共同研究を遂行するにあたり研磨試料の提供および技術指導をいただいた北見工業技術センターの伊藤廣氏に謝意を表します。

多目的型プラズマジェットトーチの開発

Development and Application of New 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 type plasma jet torch, Hollow cathode, Movable cathode,
Application, Thermal spraying

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適応が検討されている。しかし、プラズマジェットを発生させる従来型のトーチでは、例えば溶射においては粉末状の材料をトーチノズル（陽極）端近傍から供給するのが一般的であり、粉末材料を最も高温なジェットの中心部に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）¹⁾ や3電極型トーチ²⁾ 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トーチを試作してその特性を明らかにし、次に液相溶射法と称する新しい薄膜作製法への本トーチの適用について検討している。

2. プラズマジェットトーチの開発

2.1 トーチの概要

試作したトーチは、ホローカソードの採用によってジェット中心部への材料の供給を可能にし、また軸方向にホローカソードを移動し、固定陽極（ノズル）との距離を可変することによって出力を制御できる。図1に試作トーチの全体構造、図2にホローカソードの概略を示す。試作トーチの特徴を陰極部と陽極部に分けて以下に示す。

(1) 陰極部

- ・タングステン製ホローカソード（外径6mm、内径1mm）の後方から粉末、液体、気体などを最も高温なジェット中心部へ送給できる。ホローカソードは脱着式であり内・外径の異なるもの、あるいは通常の中実（ソリッド）型陰極も使用できる。
- ・陰極部全体はプラズマ発生中にも軸方向に移動可能なので、放電電圧をかなりの範囲で調節できる（電極間距離は通常のトーチでは固定）。

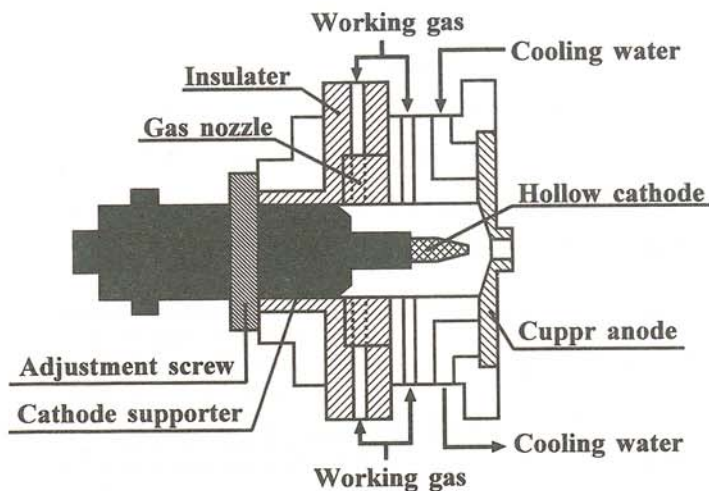


図1 試作トーチの全体構造

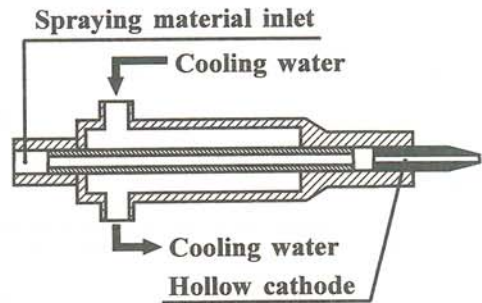


図2 ホローカソードの概略

(2) 陽極部

- ・陽極となる銅製ノズルの交換を容易な構造にしたことにより、短時間での取り替えができる。
- ・プラズマガス（作動ガス）は4箇所から供給できるので、種類の異なるガスを同時に混合、加熱、分解できる。
- ・プラズマガスの供給方式を図3に示すセラミックス製のガスノズルによって旋回流と軸流とに選択できるので、プラズマの安定化あるいは数種類のガスの混合が可能となる。

トーチ本体は、耐食性に優れたステンレス製で、絶縁部にはテフロンを使用し、過熱の恐れのある部分については強制水冷をしている。図4にトーチの外観写真を示す。

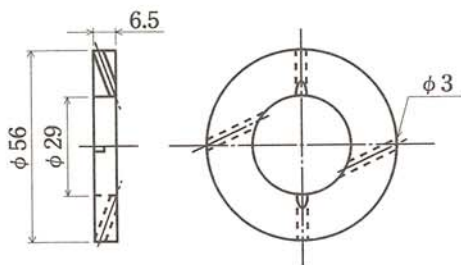


図3 ガスノズルの構造

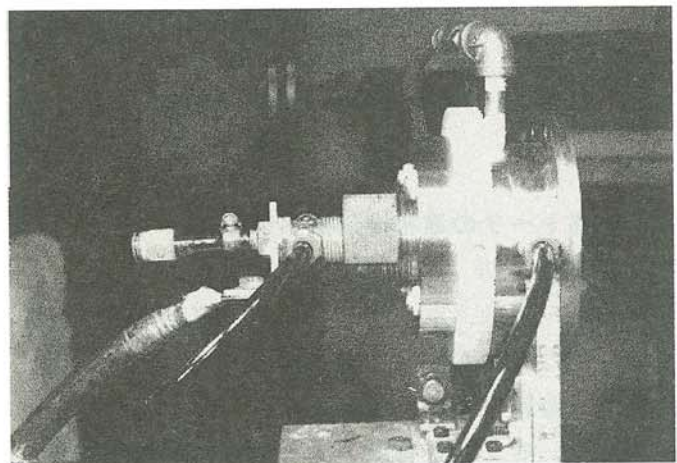


図4 トーチの外観写真

2.2 電流－電圧特性

試作トーチの動特性を把握するために、プラズマジェットを発生させた際の電流－電圧を測定し、その結果を図5に示す。動特性は作動ガスの種類によって異なるが、ここではアルゴンガス（Ar）を使用し、流量を10～40 l/min、ホローカソード先端とノズル先端との距離を0～8 mm、電流を最大200 Aとしている。図(a)～(d)に見られるように、電流－電圧は小電流域では電流の増加に伴って電圧が低下する負特性を示し、60～70 A以上からはほぼ一定となっている。これは、中電流域以上から電流あるいは作動ガス流量の増加に伴って電圧が上昇する正特性を示すことの多い従来型トーチとはやや異なっている。正特性がアーク柱での熱損失

を平衡に保つサーマルピンチ効果³⁾によることを考慮すると、試作トーチでの熱損失は小さいと推測される。プラズマジェットの見掛け上の出力は電流と電圧の積で表され、溶射においては一定出力とした場合に電流、電圧のどちらの影響が大きいかについては統一見解がない。電極間固定の従来型トーチでは、例えば電流 200 A、アルゴンガス流量 40 l/min の条件では 26 V 程度の電圧しか得られない⁴⁾。同程度の条件で約 30 V が確保できる本トーチでは低電流域でも出力の増大が可能となり、したがって陽極と陰極との長寿命化が図れる。

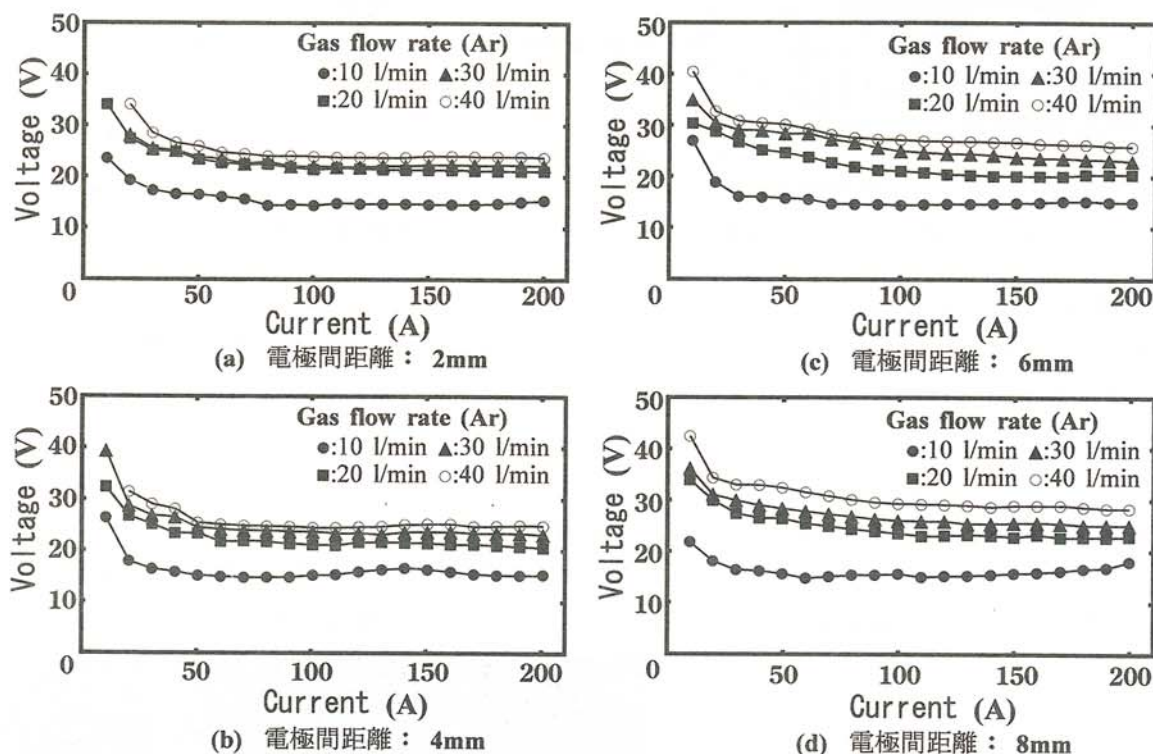


図 5 電流－電圧特性

3. 試作トーチの液相溶射法への適用

3.1 液相溶射法

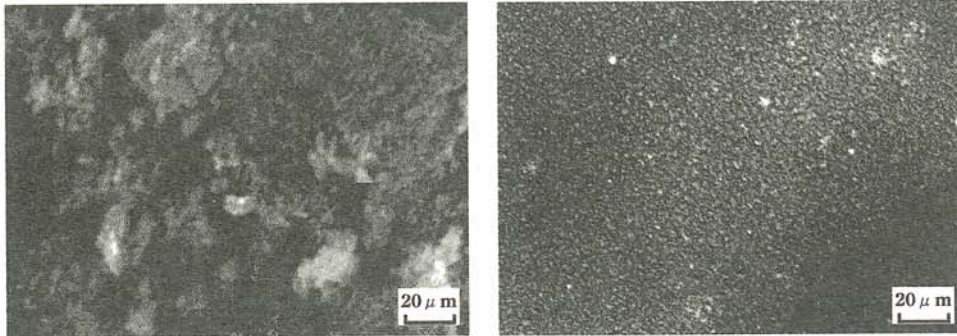
試作トーチは、ホローカソード、可動電極、多様なガス供給方式などを採用したことによって多目的な応用が期待できる。ここでは液相溶射法と命名した薄膜作製法への適用を試みた。同法は、金属化合物・金属塩などを純水またはアルコールに溶解させた液相・コロイド状態の溶液を用いることを特徴とする新しい薄膜作製法であり、平滑で緻密な薄膜を高速で形成できる。同法では溶媒をプラズマジェット中で完全に蒸発させる必要があるが、従来型トーチでは完全に蒸発・除去することは困難であった⁵⁾。そこで、本試作トーチにより有機金属化合物であるチタンテトライソプロポキシド ($\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$) 溶液を用いたチタン系薄膜の作製を試みた。

3.2 実験結果

溶液は、精密送給ポンプによってトーチ後端のパイプからホローカソード内に送られ、キャリアガス (Ar) によって霧化後、最も高温なジェット中心部へ供給される。適用試験では、電流 100～200 A、作動ガス流量 20～40 l/min、電極間距離 0～2 mm、ポンプ流量 2～5 ml/min、キャリアガス流量 4～8 l/min とし、ノズル端から 100 mm の距離に設置のすりガラ

ス上に薄膜を作製した。

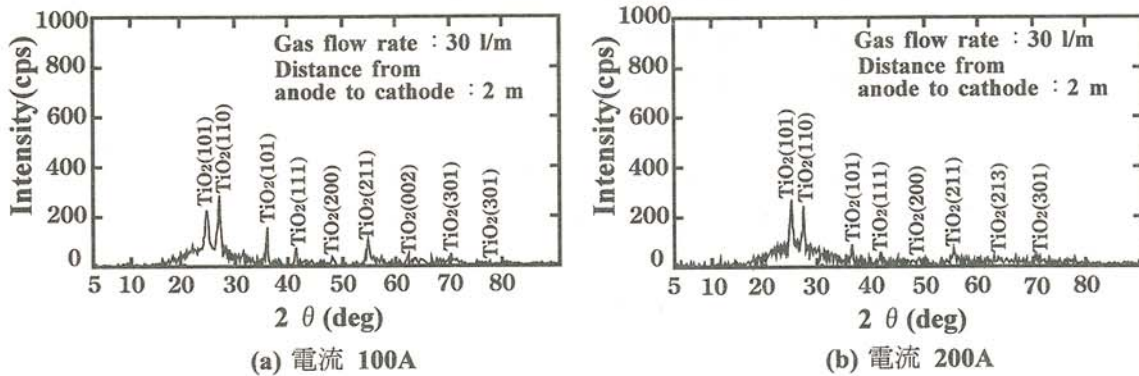
得られた皮膜は、図6に示す100 Aでは灰色 (a)、200 Aでは白色で (b)、基板への密着強度は低いもののSEM写真から判断されるように従来の溶射皮膜に比べ極めて平滑かつ緻密であった。また (a)、(b) 両者の主成分は図7に示すX線回折分析から明らかなように酸化チタンであった。



(a) 電流 100A

(b) 電流 200A

図6 チタンテトライソプロポキシド薄膜表面のSEM写真



(a) 電流 100A

(b) 電流 200A

図7 チタンテトライソプロポキシド薄膜のX線回折分析結果

4. 結言

多機能で多目的に応用可能なプラズマジェットトーチを試作して動特性を明らかにするとともに、液相溶射法への適用を検討した。その結果、試作トーチは、低電流域では負、中電流域以上では定特性を示し、ホローカソードの移動によって出力制御の可能なことが確認された。また、液相溶射法に適用した場合、溶液は完全に蒸発・除去され、平滑かつ緻密な薄膜を形成できることを確認した。さらに本試作トーチでは供給ガスを完全に分解できるので、有害ガスの熱分解処理など多目的な応用が期待できる。

参考文献

- 1) A.Notomi et al.: ITSC'95 International Conference、Vol.1(1995)、pp.321-3 24.
- 2) H.Maruo et al.: ATTAC'88 International Symposium(1988)、pp.153-160.
- 3) 安藤 弘平：溶接アーク現象入門、産報 (1969)、p.15.
- 4) 二俣他：溶接学会論文集、Vol.4、No.3(1986)、pp.609-615.
- 5) 二俣他：溶接学会全国大会講演概要、第59集 (1996)、pp.186-187.

下水汚泥および放流水中の微量成分の 定量に関する研究

Studies on the Determination of Trace Elements
in Sewage Sludge and Effluent Water

増田	弦	(北見工業大学工学部機能材料工学科)
南	尚嗣	(北見工業大学工学部機能材料工学科)
高橋	信夫	(北見工業大学工学部機能材料工学科)
高橋	行雄	(北見工業大学工学部化学システム工学科)
厚谷	郁夫	(北見工業大学学長)
荒木	真	(北見市役所)
山田	俊徳	(紋別市役所)
佐々木	次郎	(美幌町役場)
山下	弘一	(斜里町役場)
斉藤	達男	(留辺蘂町役場)
細川	順市	(津別町役場)

Yuzuru Masuda (Kitami Institute of Technolgy)
Hirotsugu Minami (Kitami Institute of Technolgy)
Nobuo Takahashi (Kitami Institute of Technolgy)
Yukio Takahashi (Kitami Institute of Technolgy)
Ikuo Atsuya (Kitami Institute of Technolgy)
Makoto Araki (Kitami City Office)
Toshinori Yamada (Monbetsu City Office)
Jiro Sasaki (Bihoro Town Office)
Koichi Yamashita (Shari Town Office)
Tatsuo Saito (Rubeshibe Town Office)
Junichi Hosokawa (Tsubetsu Town Office)

Key words:sewage sludge, effluent water, mercury, arsenic

1. 緒言

本研究は平成3年度から継続して行っている下水汚泥の有効利用を可能にすることと同時に下水汚泥および処理水を処分するための安全性を確保するための長期モニタリングに関する研究である。下水処理工程から無機性成分および有機性の成分の混合した汚泥を生じるが、この汚泥をコンポスト化して農業へ利用する場合ははじめ、いろいろの処理をほどこして建築資材

等々として利用する場合の処理工程においても、水銀、ヒ素、カドミウムなどのいわゆる毒性元素のモニタリングは非常に重要である。その他、鉛、クロム等々数種類の重金属やトリハロメタン、農薬など有機化合物のモニタリングを行っているが、ここでは水銀およびヒ素のモニタリング方法およびその結果について報告する。

2. 実験

2. 1 装置・器具および試薬

水銀の定量には、理学電機工業製 RIGAKU MERCURY SP型水銀測定専用装置を用いた。

ヒ素の定量には、日立製作所製 Z-8000形偏光ゼーマン原子吸光分析装置およびAA形データプロセッサを用いた。

光源は、無電極放電ランプを使用した。シースガス及びキャリアーガスには高純度アルゴンを用いた。

金属標準溶液は、和光純薬工業製水銀標準溶液 (1000 mg/L, HgCl_2 in 0.02M HCl), ヒ素標準溶液 (1000 mg/L, As_2O_3 in NaCl in water) をそれぞれ希釈して用いた。

硝酸および塩酸は和光純薬工業製精密分析用を用いた。

試料の秤量には Mettler製の電子天秤PM-400型を用いた。

標準溶液および matrix modifierの添加には Eppendorf製の4700型マイクロピペットを使用した。

純水は、オルガノ製G-20B型で製造したイオン交換水を、Millipore製 Milli-Q Reagent Water Systemで再精製して用いた。

2. 2 汚泥試料溶液の調製方法

汚泥試料約30 gを正確に500 mL丸底フラスコに分取する。これに、濃硝酸10 mLと濃塩酸30 mLを添加して、環流装置にセットする。その後、マンテルヒーターで最初30-40°Cで2~3時間加熱し、その後70°Cに設定して15~20時間環流し、汚泥を分解する。得られた溶液は、ろ過したのちメスフラスコで500 mLに定容にする。

2. 3 放流水試料の濃縮方法

放流水試料約300 mLを正確に三角フラスコに分取する。これを約30 mLになるまで静かに加熱を続け、濃縮を行う。

3. 分析方法

3. 1 水銀の分析方法

我々はこれまで超微量水銀の定量法を確立するため減圧マイクロ波誘導プラズマ発光分析法あるいは有機試薬沈殿固体試料の直接定量法について検討してきたが(1,2), 本研究ではルーテイン化するため全自動水銀分析装置を用いて ngオーダーの水銀分析を行った。

セラミック製の試料ポートに添加剤として1.0 g程度の水酸化カルシウム(B)を薄く敷き、その上に1.0 mLの試料水(S)をマイクロピペットで一様に添加する。その上に約1.0 gの水酸化カルシウム(B)約1.0 gの炭酸ナトリウム(C)約1.0 gの酸化アルミニウム(A)をこの順番で薄く層状

にしていく。上述の添加剤のうち、(A)と(B)は950°Cで約30分間加熱し、(C)は約800°Cで約30分間加熱し、含有水分を除去し、デシケーターの中で放冷した後、使用する。試料ポートは準備が整った後、セットして試料水中の水銀を標準溶液の検量線法および標準添加法により定量する。試料ブランクには、純水1.0 mLを添加し、同様の操作を行う。

3. 2ヒ素の分析方法

これまで我々は、プラズマトーチ分析法(3,4)および黒鉛炉原子吸光分析法 (GF-AAS) (5,6) による微量ヒ素の定量方法を開発してきたが、本研究ではGF-AASでの下水汚泥および放流水中の微量ヒ素の定量を検討した。

ヒ素は揮散しやすい元素であるので、GF-AASの灰化段階におけるヒ素の揮散を防ぎ、高感度で正確さの高い定量をするためには、matrix modifierの添加が必要である。matrix modifierとしては、硫硝酸酸性のニッケル溶液もしくは、硫酸酸性のニッケル溶液が有効であることを我々は既に報告してきた(5,6)。

本研究では、バックグラウンド吸収の低い、3 mol/L硫酸酸性の100 mg/Lニッケル溶液をmatrix modifierとして用いることとした。matrix modifierは、黒鉛炉内に試料溶液を導入した後、試料溶液上に直接添加し、測定を行った。

正確さの高いヒ素の定量を行うために設定した測定条件を、表1に示す。

Table 1 Instrumental Conditions for Arsenic

Wavelength	193.7 nm	
Lamp Current	18.0 mA	
Slit	1.3 nm	
Ar Carrier Gas	200	ml/min
Ar Interrupted Gas	30	ml/min
Temperature Program		
Drying	80→120 °C ^{a)}	(30 sec)
Ashing	700 °C	(30 sec)
Atomization	2700 °C	(10 sec)
Cleaning	2800 °C	(3 sec)

a) Ramp mode

4. 結果および考察

4. 1 水銀の分析結果

4. 1. 1 放流水中の水銀の分析結果

図1に0.005 ppmの水銀標準溶液と放流水試料中の水銀のシグナル例を示す。6市町の放流水試料中の水銀濃度はいずれも0.005 ppm未満であった。水質汚濁防止法に基づく排水基準値は、0.005 ppmであるので(7)、0.005 ppm未満の場合は検出せずと表示することとした。

平成4～8年までの分析結果では放流水中には水銀は検出されず、環境分析の観点からは特に異常は認められなかった。

4. 1. 2 汚泥中の水銀の分析結果

汚泥試料中の水銀の定量には標準添加法を適用した。

平成4～8年までの分析結果では、汚泥試料中では0.2 ppm～2.2 ppm であり、環境分析の観点からは特に異常は認められなかった。

4. 2 ヒ素の分析結果

4. 2. 1 放流水中のヒ素の分析結果

図2に0.2 ppmのヒ素標準溶液と放流水中のヒ素のシグナル例を示す。6市町の放流水試料中のヒ素濃度はいずれも0.01 ppm未満であった。水質汚濁防止法に基づく排水基準値は、0.1 ppmであるので(7)、0.1 ppm未満は検出せずと表示することとした。

平成4～8年までの分析結果では、放流水中にはヒ素は検出されず、環境分析の観点からは特に異常は認められなかった。

4. 2. 2 汚泥中のヒ素の分析結果

汚泥試料中のヒ素の定量には標準添加法を適用した。

平成4～8年までの分析結果では、汚泥試料中では～8.1 ppm であり、環境分析の観点からは特に異常は認められなかった。

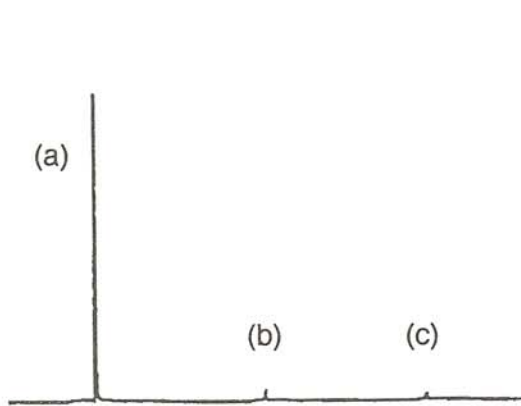


図1 水銀のシグナル例
(a: 0.005 ppm, b: 北見, c: 紋別)

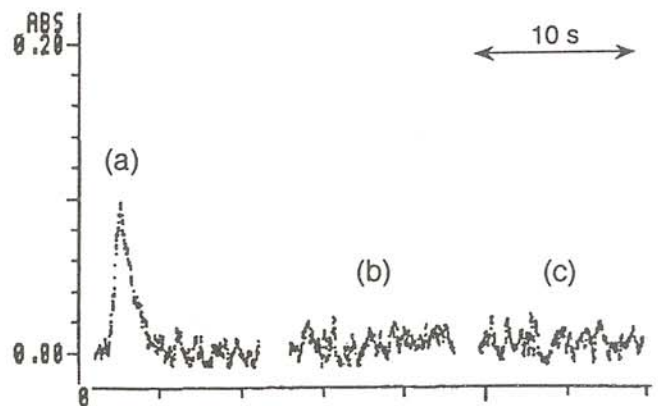


図2 ヒ素の吸光プロファイル例
(a: 0.2 ppm, b: 北見, c: 紋別)

参考文献

- (1) I. Atsuya, H. Kawaguchi and B. L. Vallee : Low-Pressure, Microwave-Induced Plasma Spectrometry Method for the Determination of Subnanogram Quantities of Mercury : Application to Mercury-Carboxypeptidase Analysis
Anal. Biochem., Vol.77, No.2, p208~215, (1977)
- (2) 伊藤 好二, 厚谷 郁夫 : ニッケルジメチルグリオキシム錯体共沈捕集/加熱気化原子吸光法による水中の微量水銀の直接定量, 分析化学, Vol.36, No.11, p750~754, (1987)
- (3) I. Atsuya, G. M. Alter, C. Veillon and B. L. Vallee : Low-Pressure Microwave-Induced Plasma Emission Spectrometry Method for the Determination of Nanogram Quantities of Arsenic in Monoarsanilazo Tyr-248 Carboxypeptidase
Anal. Biochem, Vol.79, No.2, p202~211, (1977)
- (4) I. Atsuya, k. Akatsuka : Determination of trace amount of arsenic using a capacitively coupled microwave plasma combined with hydride generation : application to sewage sludge, iron and steels
Spectrochim. acta, Vol.36B, NO.7, p747~755, (1981)
- (5) I. Atsuya, K. Ito, k. Akatsuka and K. Jin : Direct determination of trace amounts of arsenic in powdered biological samples by atomic absorption spectrometry using an inner miniature cup for solid sampling technique
Fresenius' Z Anal. Chem., Vol.326, NO.1, p53~56, (1987)
- (6) 井上 由紀枝, 南 尚嗣, 厚谷 郁夫 : 1994年冬季研究発表会講演要旨集, p23.
- (7) 環境化学研究会 : 新しい排水基準とその分析法, 第2章, p3~17, (1994)

北見工業大学 地域共同研究センター
研究成果報告書 第4号

発行日 平成9年7月1日

編集 北見工業大学地域共同研究センター
運営委員会・編集小委員会

委員長 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)

委員 小林 正義 (化学システム工学科教授)

増田 弦 (機能材料工学科教授)

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 北海道北見市柏陽町603番13

T E L 0157-26-4170 (センター長室)

0157-26-4163 (専任教官室)

0157-26-4161 (事務室)

F A X 0157-26-4171

E-mail center@crc.kitami-it.ac.jp

U R L <http://crcenter.crc.kitami-it.ac.jp/>

印刷 (株)北海印刷
