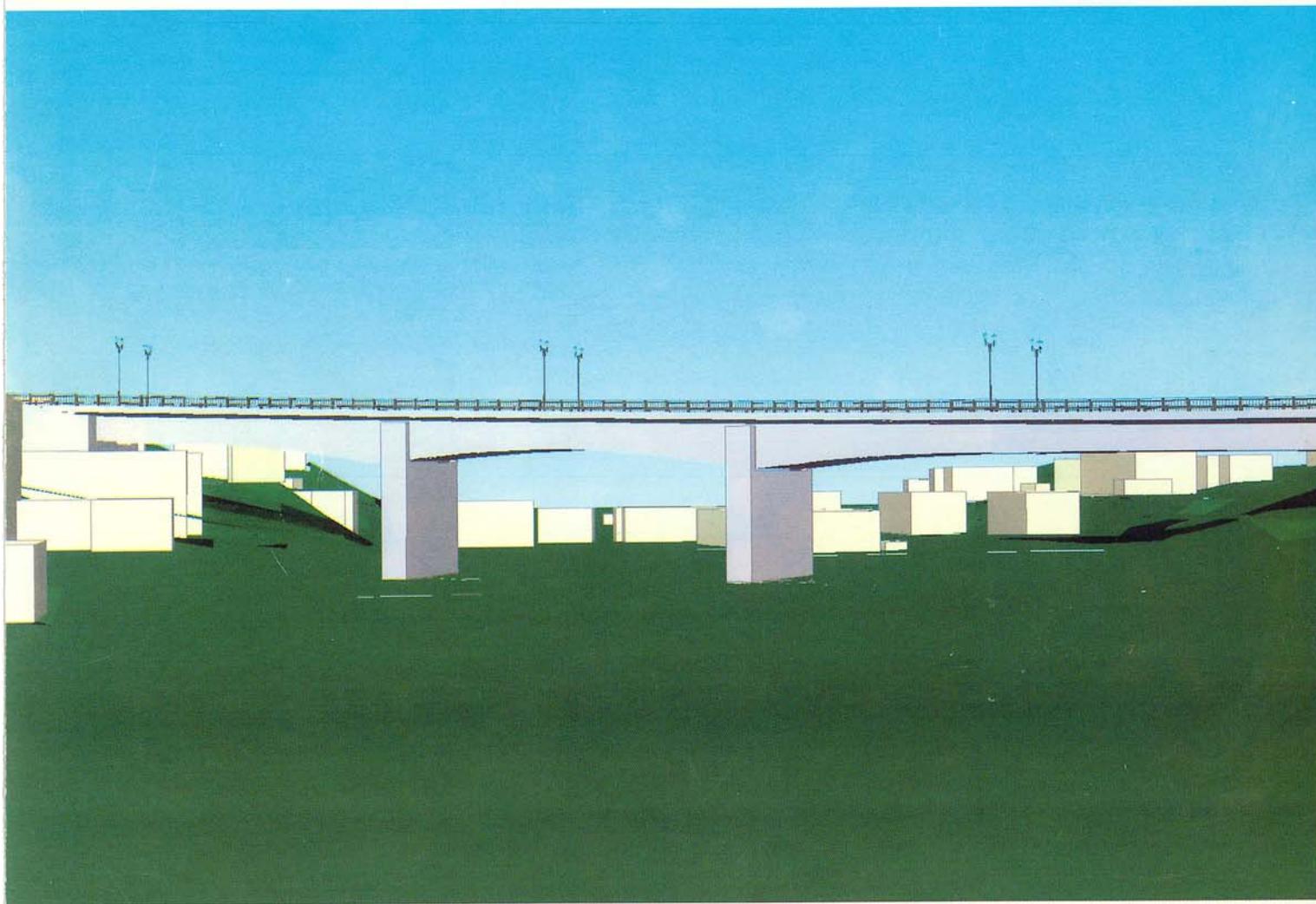


北見工業大学
地域共同研究センター
研究成果報告書

第6号

MEMOIRS OF THE COOPERATIVE RESEARCH CENTER
KITAMI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

No.6
1999



北見工業大学地域共同研究センター

表紙の説明：低温環境下での免震装置の研究結果（本成果報告書27ページ参照）を取り入れた野付牛高架橋の完成予想図、現在、本学南側の北見市環状道路の一部として建設中であり、平成13年度開通予定である。

目 次

客員教授論文

食品包装膜材料の機能性向上に関する研究

後藤昭彦(タマポリ(株)加工研究所)

小林正義・堀内淳一・菅野亨・外川純也・・・1

地震時RC橋脚の非線形振動解析におけるエネルギー収支

能町純雄((株)構造技研 顧問) ・・・ 5

新しい電気事業環境下での電力技術

林敏之((財)電力中央研究所 狩江研究所)

山城迪・・・11

共同研究

区分 A

住宅用太陽熱光・灯油ボイラ式簡易融雪給湯システムの開発

金山公夫・馬場弘・遠藤登・岡本淳・・・17

区分 B

水海域海洋コンクリート構造物の耐久性に関する研究(第3報)

鮎田耕一・木村伸之・王欣・・・23

免震装置の低温環境における性能向上の研究

大島俊之・三上修一・山崎智之・斎藤隆行・・・27

がいし絶縁特性監視システムのデータ解析

菅原宣義・保苅和雄・土方正範・斎藤昭弘・・・33

知的教育支援システムの研究

—流れ図作成支援システムのための流れ図診断機能の評価—

藤原祥隆・岡田信一郎・後藤寛幸・黒丸鉄男・・・37

雪氷・汚泥等の付着防止機能複合材料の開発とその応用

二俣正美・中西喜美雄・鴨下泰久・鈴木実・・・43

ホローカソード型プラズマジェット装置の開発

二俣正美・倉本宏・・・47

バルーン化白土を利用した電磁波シールド材料の開発

二俣正美・中西喜美雄・林幸成・佐藤久隆・戸梶孝・・・51

新型蓄電池機能付き住宅用太陽光発電システムの実証試験研究

山城迪・仲村宏一・松田高明・柿添重光・・・55

区分 C

氷掘削装置開発に関する基礎研究(第4報)

—カムチャッカ半島ウシュコフスキ氷冠における雪氷コア掘削—

高橋修平・庄子仁・榎本浩之・

亀田貴雄・百武欣二・高橋昭好・白岩孝行・・・59

付録：平成10年度共同研究課題一覧

・・・66

※備考

区分A：民間機関等から研究者と研究経費を受け入れるとともに、大学も研究経費の一部を負担し、このため別途国から共同研究経費の配分を受けた研究。

区分B：民間機関等から研究者と研究経費を受け入れるが、大学は研究経費を負担しないか、負担しても別途国から共同研究経費の配分を受けなかった研究。

区分C：民間機関等から共同研究者のみをを受け入れる研究。

食品包装膜材料の機能性向上に関する研究

A study of Improving the functional properties of plastics films for food packaging

後藤昭彦 (タマポリ株式会社 加工研究所)

小林正義 (北見工業大学 化学システム工学科)

堀内淳一 (北見工業大学 化学システム工学科)

菅野 亨 (北見工業大学 化学システム工学科)

外川純也 (北見工業大学 化学システム工学科)

Akihiko GOTO (Tamapoly Co. Ltd)

Masayoshi KOBAYASHI (Kitami Institute of Technology)

Jun-ichi Horiuchi (Kitami Institute of Technology)

Tohro Kanno (Kitami Institute of Technology)

Junya TOGAWA (Kitami Institute of Technology)

Key words; modified atmosphere, permeability, perm-selectivity

1. 緒言

食品包装の基本的な目的は、調理、充填、輸送、保存の流通期間において、様々な外的要因による食品内容物の変色、腐敗、味覚の変化、異臭の発生を防御してシェルフライフを延ばすことにある。現代の包装形態の始まりである瓶詰め、缶詰においては、調理することにより微生物を死滅させ、以後食品を微生物の攻撃から隔離して腐敗防止のみに重点が置かれた機能を要求された食品包装材料であった。1950年代以後、プラスチック材料が開発され、かつ大量生産により安価に使用できることになり（包装材料は最終的に廃棄され短期間に消費されるため安価であることが求められる）、各種プラスチックの機能を組み合わせることで包装用の材料として急速に発展してきた。プラスチック材料を用いた包装材料の機能は、当初、瓶詰め、缶詰に求められた内容物の変敗から保護する、レトルト包装に代表される微生物制御に重点が置かれた。しかしながら近年においては、食文化の高級化により、流通期間に味・新鮮度が維持されることを求められるようになった。このための包装材への機能性の付与には、互いに全く逆の二つの手法が検討されている。その一つは、食品内容物に包装材から味を損なう物を移さない、逆に食品から香り（フレーバー）等、味覚物質を外部に逃さない完全遮断の材料が検討された。例えば、ポリアクリロニトリルは、各種の薬品への溶解性が低く包装材料としての機能が確認され、実際に医薬品の包装に利用されている¹⁾。

一方、生鮮食品の鮮度保持に関してはある種のプラスチックが酸素や炭酸ガスの透過性がよいことを利用した包装機能が選択されている。果物や野菜の青果物は収穫後も呼吸を続けており、酸素を吸って、炭酸ガスを放出する。包装された中、酸素が不足気味になると嫌気呼吸により発

酵しアルデヒドのような異臭成分を発するようになり、逆に酸素が多いと呼吸が盛んになり糖や酸などの栄養分が消費される。従って包装内の雰囲気は低酸素、高炭酸ガス組成に維持することが望まれる。この食品の種類によって定まる最適な組成のガス組成に包装内の雰囲気をパージし長期間鮮度を維持する C A 貯蔵 (controlled atmosphere) あるいは M A 包装 (modified atmosphere) と呼ばれる技術が、実用化へと着実に広がっている²⁾。ここで重要な特性は酸素、炭酸ガスなどの包装フィルムにおける選択透過性である。また、植物の老化酵素・熟成酵素として生鮮食品の鮮度保持に重要な役割を持つと云われている「エチレンガス」も MA 包装の対象となる。しかしながら、エチレンガスに関しては現在有効な機能を有している物はなく検討が続けられている。

本研究においては、ポリエチレンフィルムに香気成分を吸着することにより元の基質と異なるガス透過特性が得られる報告³⁾をもとに、ガスの選択透過性の高い材料を開発することを目的として、D-Limonene (以下 DL) を吸着させたポリエチレン膜により透過選択性を検討した。

2. 実験

2.1 膜材料

使用した膜は、汎用性の高い密度 0.923 の低密度ポリエチレン(LDPE)をインフレーション法により厚み 60 μm に成形したもの用いた。

2.2 実験装置

膜透過率を測定する実験装置を Fig.1 に示した。ステンレス製の拡散セルはガス透過用の空間を有した上下 2 つの部屋に分かれており、その間に LDPE を挟み込み、さらに経路内への水の浸入を防ぐため LDPE とセルの間にシリコンゴム O-リングを挟めて、ボルトで均一に絞める構造になっている。LDPE とガスの有効接触面積は 18[cm²] であり、拡散セルは精密な温度制御が可能な恒温槽に設置されており、その温度は 25°C(±0.1) で行った。DL を He でバブリングし、その混合気体を一度希釈し DL を目的濃度に調製し、拡散セル下部室へ同時に He ガスを上部室に導入する。DL の膜中溶解量が透過定常 (24hr) に達したら、目的混合比に調製した (CO₂+N₂) 混合ガスである透過目的ガスを上部室に置き換える。DL も同様に流し続ける。そして、下部室へ透過してきた透過目的ガスを透過が定常に達する (24hr) まで経時的にガスクロマトグラフィーで定量した。流速は上下ともに 75(±3) [ml/min] に固定した。

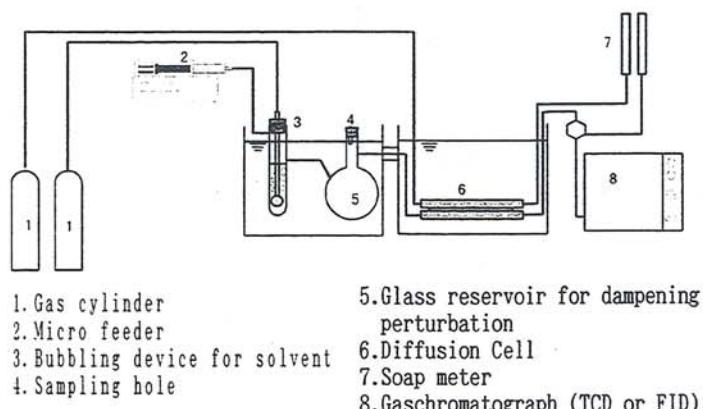


Fig.1 実験装置模式図

2.3 各種係数の算出

透過係数 P は 1 式を用いて算出した

$$P = \frac{Q_s \cdot L}{A \cdot (P_1 - P_2)} \quad (1)$$

但し P ; 透過係数、 Q_s ; 定常透過速度、 L ; 膜厚、 A ; 有効接触面積、 p ; ガス分圧

選択透過率 α は、 2 式で示す透過係数の比により表した。

$$\alpha = P_1 / P_2 \quad (2)$$

但し P_1 / P_2 は成分 1 及び 2 の透過係数である。

3.結果及び考察

DL 等の溶媒系により非晶性ポリマーが膨潤した状態においてガス透過率が著しく変化する報告を元に、ガス透過率の変化を詳細に検討した³⁾。DL を収着させた LDPE において DL 膜中収着量が変化することに各種ガスの透過選択性 α の変化を Fig.2 に示した。結果は C_2H_4, C_3H_6, CO_2 が DL 膜中収着量の上昇と共に増加する傾向が得られ、一方 H_2, O_2 の α は DL 収着量に対して減少し、逆の傾向を示した。この著しい違いは、前者 3 つのガスは膜中への溶解透過の寄与が大きいことによるものと考えられ、DL により膜材を改質することで、元来材料の持つガスの選択透過率を変えることが可能なことを示している。

Fig.2 において観察された選択透過性の変化を明確化するために、LDPE における各ガスの透過性及び透過選択性について、DL 収着膜 (DL 収着量 2.46[cm³(STP)/cm³·cmHg]) と未収着膜の比較を Fig.3 に示した。DL 収着膜の各ガスの透過性はすべて増加傾向にある。しかしながらその増加度はガスの種類によって異なり、特に臨界温度の高いガス (C_2H_4, C_3H_6, CO_2) では約 4-6 倍に達する著しい透過係数の増加がみられた。また透過選択性においても C_3H_6, CO_2 の $\alpha=23-25$ 程度となりオリジナルフィルムから約 2 倍の増加を示した。従ってこれらの臨界温度の高いガスの場合 DL 収着により P 及び α 共に大幅に増加させる傾向にあることが分かったが、ガス種と選択透過率の改善の因子についてはさらなる研究が必要である。

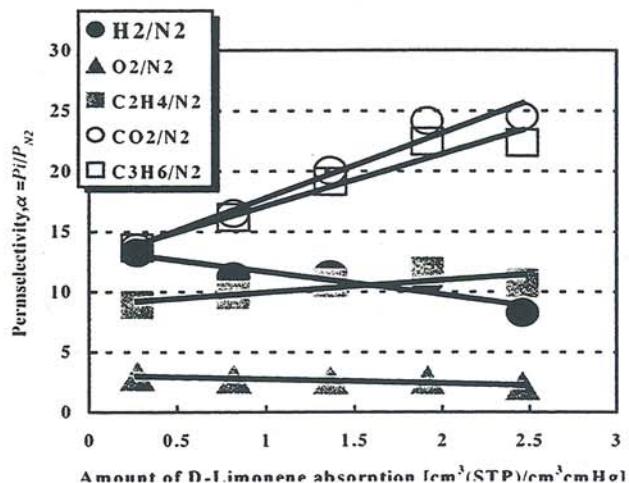


Fig.2 D-Limonene 吸着量に対する各種気体の選択透過率

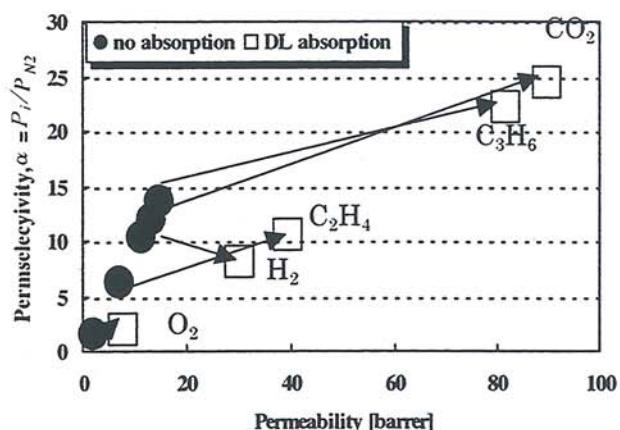


Fig.3 LDPE のガス透過率と選択透過率 (P_i/P_{N2}) の関係(温度 298K.)

MA 包装における食品の雰囲気は内容物の呼吸により常に変化する状態にあるため、N₂に対する透過選択性の最も高い CO₂について種々 CO₂+N₂ 混合ガスを用いて、両者の膜を介しての He ガス中への透過係数(P_{CO₂}, P_{N₂})を測定し、得られた P_{CO₂}, P_{N₂} から α 値を求め CO₂ 分圧の影響を DL 収着膜 (DL 収着量 2.19 [cm³(STP)/ cm³·cmHg]) と未収着膜とを比較し Fig.4 に示した。 α 値は CO₂ 下がることにより単一ガス (CO₂ 分圧 1.0[atm]) から求めた α 値 (未収着膜 $\alpha=19$ 、DL 収着膜 $\alpha=27$) より小さくなる傾向にある (CO₂ 分圧により $\alpha=12\sim18$)。また DL 収着膜の方が透過選択性は CO₂ 分圧によらず約 20% 向上している。この結果はガス透過率の設計上、内包ガス分圧の因子を考慮せずとも DL 収着膜の効果の予測が可能であることを示している。

4.まとめ

本研究により D-Limonene 等の収着により非晶性ポリマーを膨潤させることでガスの選択性に改善されることが判明した。この結果は MA 包装における材料開発の応用に期待される。しかしながら、この手法の基本的問題は、収着した DL を固定化し、選択性を持続させる点にある。この手法には、DL の微少カプセル化等が考えられるが、実用上は更なる研究を必要とする。

参考文献

- (1) 後藤昭彦：ポリアクリロニトリル共重合体フィルムについての溶媒の拡散及び膨潤機構、群馬大学工学部学位論文、1995
- (2) 椎名武雄：各種の鮮度保持技術、フレッシュフードシステム、vol 27、1998
- (3) 外川純也、菅野亨、小林正義：香氣成分吸着ポリエチレン系フィルムにおけるガス透過促進、北見工業大学研究報告、vol30、(1998)

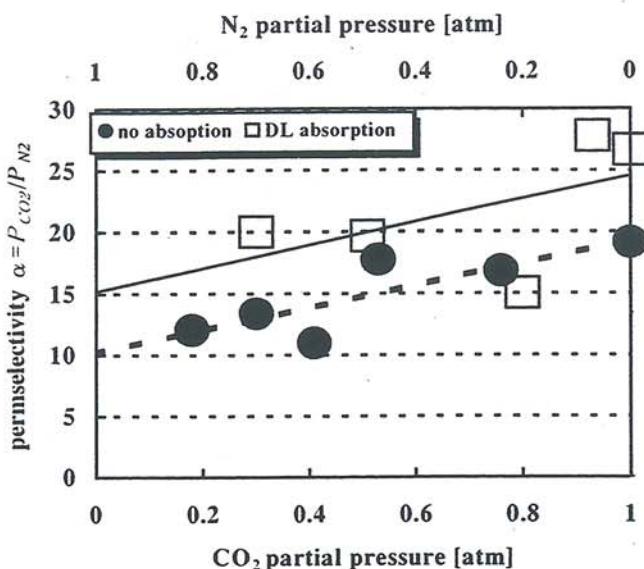


Fig.4 選択性透過率(CO₂/N₂)とCO₂分圧の関係
(温度 298K)

地震時RC橋脚の非線形振動解析におけるエネルギー収支

Energy Balance in Elasto-Plastic Response of RC Pier during Earthquake

客員教授 能町 純雄 (株構造技研 顧問)

Sumio G. NOMACHI(Kozo Giken Co.,LTD.)

Key words : energy balance, elasto-plastic response, RC pier

1. 緒 言

本論文では地震時における RC 橋脚の曲げ振動弾塑性応答解析を対象として、橋脚の内部に蓄積される塑性ひずみエネルギーに着目し、この蓄積される塑性ひずみエネルギーが入力地震動特性や橋脚の構造特性の変化に対応してどのように変化するかを検討した。すなわち、時々刻々の入力地震エネルギーは一般に構造物の運動エネルギー、減衰エネルギーおよび内部的弾性ひずみエネルギーと塑性ひずみエネルギーの各成分によって分担される。そのエネルギーの中で橋脚の損傷に関連する塑性ひずみエネルギーがどの程度、構造内部に蓄積されるかを検討する目的は、入力地震動特性や橋脚の構造特性に応じて橋脚に発生する全体的な損傷状況を把握するとともに、橋脚の塑性変形を実際の被害と比較検討して解析の精度を検証し、最終的には大地震時にも大きな損傷を生じさせないための検討を実施するためである。

これまで地震時における構造物の応答をエネルギー論に基づいて行った研究には Housner の研究が有名である。秋山¹⁾は Housner によるエネルギー入力の考え方を発展させ、塑性ひずみエネルギーを構造物の破壊に関わる損傷と考え入力エネルギーと対比させた耐震設計法を提示した。また星谷、山崎²⁾は地盤と構造系の簡単な力学モデルで各エネルギー、その中でも塑性ひずみエネルギーから構造物の損傷が地盤特性や構造特性のどのような要因に影響を受けるかを検討している。さらに大野ら³⁾はエネルギー論に立脚した耐震設計を確立するために、塑性域での剛性や入力地震動の特性などさまざまなパラメーターに対する塑性ひずみエネルギー量を定量的に把握する研究を行っている。本研究では実際の RC 橋脚を多質点系にモデル化し、正弦波および地震波を入力して弾塑性曲げ振動解析を行った。その過程において構造物が受ける損傷程度の指標として塑性ひずみエネルギーの時刻歴変化に着目し、これに影響を及ぼす基本的な要因と考えられる入力地震動特性および橋

表-1 構造諸元

a) 依田橋			b) 阿古耶橋		
節点	座標 (m)	重量 (t f)	節点	座標 (m)	重量 (t f)
1	0.0000	24.00	1	0.000	236.250
2	1.2000	25.35	2	3.500	280.250
3	1.9000	2.429	3	5.100	88.000
4	2.4625	2.165	4	6.700	88.000
5	3.0250	2.333	5	8.300	90.750
6	3.6750	2.502	6	10.000	94.875
7	4.3250	2.502	7	11.750	96.250
8	4.9750	2.502	8	13.500	97.625
9	5.6250	11.84	9	15.300	193.875
10	7.6750	87.62	10	21.525	682.625
地盤バネ係数	水平	4.077×10^5 [kgf/cm]	地盤バネ係数	水平	1.481×10^7 [kgf/cm]
	回転	3.141×10^{10} [kgf·cm/rad]		回転	5.221×10^{12} [kgf·cm/rad]
	鉛直	2.622×10^5 [kgf/cm]		鉛直	1.280×10^6 [kgf/cm]
固有周期 [s]	一次 0.42	二次 0.16	三次 0.08	固有周期 [s]	一次 1.04
					二次 0.25
					三次 0.18

脚の構造特性について検討した。その結果、入力エネルギー E によって塑性ひずみエネルギー W_p を無次元化した W_p/E に関して、いくつかの有益な結果が得られた。

2. RC 橋脚のモデル化

本論文で対象とした RC 橋脚は 2 種類である。1 つは釧路市の西南西 87km の生花地内道道 881 号線ホロカヤント一線に位置し、1968 年に建造された依田橋 (P-2 橋脚) である。もう 1 つは山形自動車道笹谷 I.C ~ 一般有料道笹谷 T.N 間にある阿古耶橋 (P-5 橋脚) で、この橋は 1990 年に完成したものである。各橋脚の諸元を表-1 に示す。表-1 に示すようにそれぞれの節点に質量を配分し、離散質点系はり要素 (図-1 参照) にモデル化した。また各方向の地盤バネ係数および 1 ~ 3 次モードの固有周期も併せて表-1 に示す。図-1 の簡略的な解析モデルには、各橋脚の段落しの位置とそれぞれの断面を記号 (例: CS1) で表示した。この記号は以下、CS1~3 は依田橋を、CS4、5 は阿古耶橋の各断面を表している。図-2 には各橋脚における断面と配筋を示しており、依田橋は円形断面で鉄筋の本数を減らして 2 箇所の段落しが実施されている。また、阿古耶橋は矩形断面で鉄筋径の低減によって段落しが実施されている。

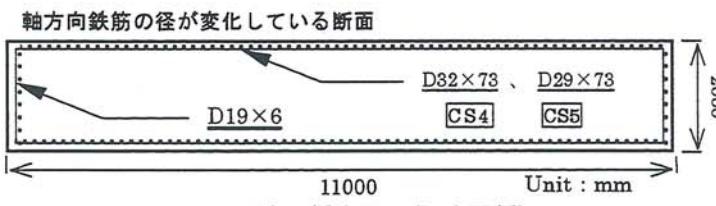


図-2 (b) 橋脚断面 (阿古耶橋)

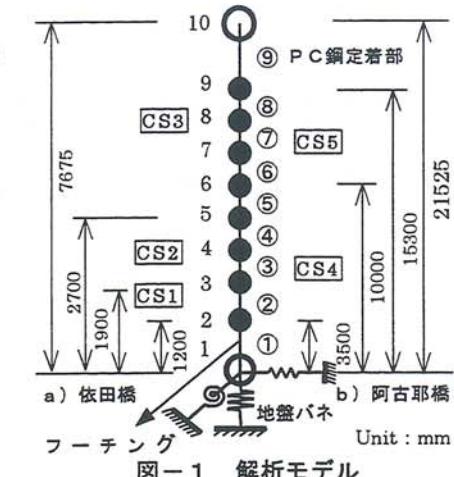


図-1 解析モデル

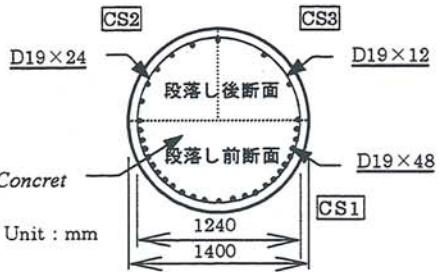


図-2 (a) 橋脚断面 (依田橋)

3. 地震時弾塑性応答解析とエネルギー計算

3. 1 復元力モデル

材料特性に関してまず、鉄筋は弾塑性硬化型のバイリニアモデルを使用し、塑性時の弾性係数は弾性時の弾性係数の $1/10^4$ とした。次にコンクリートは道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編を参考に帶鉄筋による横拘束効果を評価してモデル化した。この材料モデルでは圧縮側の最大圧縮応力時ひずみを越えてから残留ひずみが生じることになる。この 2 つの材料特性を用いて曲げモーメント曲率曲線を描き、その曲線を図-3 に示すように 4 本の直線で近似した。この図の 4 点はそれぞれ断面の弾性限界 : c、引張側鉄筋の降伏 : y_0 、圧縮側コンクリートの最大圧縮応力に達した点 : c_{max} 、圧縮側コンクリートの終局ひずみに達する点 : u である。本解析で用いた履歴特性を図-4

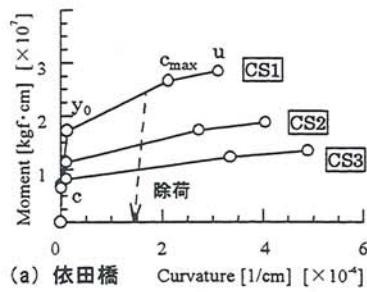


図-3 M-φ モデル

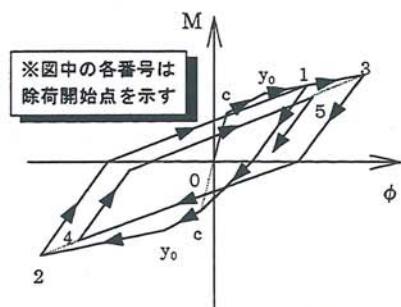
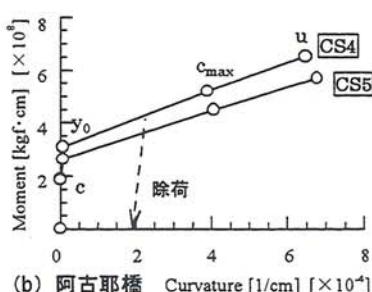


図-4 復元力履歴特性

に示し、その経路は鉄筋降伏 (y_0 点) 前は原点指向で、それ以上の曲率を経験したときは原点と y_0 点を結ぶ直線の傾きで履歴をたどるものとした。

3. 2 動的応答解析

一般に非線形な復元力をもつ構造系の運動方程式は、

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + \{R(t)\} = \{P(t)\} \quad (1)$$

となる。ただし、 $\{u\}$ は相対変位ベクトル、 $[M]$ は質量マトリックス、 $[C]$ は減衰マトリックス、 $\{R(t)\}$ は非線形復元力、 $\{P(t)\}$ は外力ベクトルである。

また、微小時間間隔 Δt に対して有効な剛性マトリックスを $[K]$ とし、式 (1) を増分形で表すと、

$$[M]\{\Delta\ddot{u}\} + [C]\{\Delta\dot{u}\} + [K_t]\{\Delta u\} = \{\Delta P(t)\} \quad (2)$$

となる。応答解析においては各時刻毎ごとに曲げモーメントー曲率関係から曲げ剛性 EI 、($M - \phi$ 曲線の傾きに相当) を求め、剛性マトリックス $[K]$ を作成する。そして式 (2) を Wilson の θ 法 ($\theta = 1.4$) を用いて逐次積分を行い、応答を計算する。

減衰を考慮するために、本解析で採用した減衰理論はひずみエネルギー比例減衰である。この理論では系の各要素に蓄えられるひずみエネルギーの一部が減衰エネルギーとして消滅すると考えている。これより i 次モードの減衰定数 h_i を求める式を示すと次のようになる。

$$h_i = \frac{\sum_{j=1}^n h_j \{x_{ij}\}^T \begin{bmatrix} k_j \\ \end{bmatrix} \{x_{ji}\}}{\{x_i\}^T [K] \{x_i\}} \quad (3)$$

ただし、 $[k]$ は各要素の剛性マトリックス、 h_j は各要素の減衰定数、 $\{x_{ij}\}$ は i 次の要素 j のモードベクトル、 $\{x_i\}$ は i 次の構造全体のモードベクトル、 $[K]$ は構造全体の剛性マトリックスである。また、式 (3) の各剛性マトリックスは初期弾性時のものとしているので、復元力の非線形性に関係なく常に一定である。この式は道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編に記されている式と同一である。式 (3) によって求めた h_i を次式に示すように減衰マトリックスに導入した。

$$[C] = \begin{bmatrix} 2h_1\omega_1 m_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & 2h_i\omega_i m_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

ただし、 ω_i は i 次モードの固有円振動数、 m_i はモード質量である。

3. 3 エネルギー計算

エネルギー応答に関する方程式は式 (1) の各項に $\{\dot{u}\} dt$ を乗じて、求める時間 t まで積分を行うことで次式のエネルギーつまり式が得られる。

$$\int_0^t \{\dot{u}\}^T [M]\{\ddot{u}\} dt + \int_0^t \{\dot{u}\}^T [C]\{\dot{u}\} dt + \int_0^t \{\dot{u}\}^T \{R(t)\} dt = \int_0^t \{\dot{u}\}^T \{P(t)\} dt \quad (5)$$

ここで、各項は左辺より運動エネルギー W_k 、減衰エネルギー W_D 、全内部ひずみエネルギー W_t 、右辺は外力による入力エネルギー E をそれぞれ表し、次式と書き換えることができる。

$$W_k + W_D + W_t = E \quad (6)$$

$$W_t = W_e + W_p \quad (7)$$

そのなかで全内部ひずみエネルギー W_t は構造物の振動が継続している間では、弾性ひずみエネルギー成分 W_e と塑性ひずみエネルギー成分 W_p の和で、式 (7) のように表される。ここで、塑性ひずみエネルギーを直接計算することは難しいので、まず弾性ひずみエネルギーを求め、式 (7)

の関係から塑性ひずみエネルギーを算定することとした。

本解析では弾性ひずみエネルギーを次のように定義した。時々刻々変化する増分形の復元力は剛性マトリックスと増分形の変位ベクトルで表わせ、次式となる。

$$\{\Delta R(t)\} = [K_e]\{\Delta u\} \quad (8)$$

$\{\Delta u\}$ は弾性の変位ベクトル成分 $\{\Delta u_e\}$ と塑性の変位ベクトル成分 $\{\Delta u_p\}$ で表される。弾性の変位ベクトル成分 $\{\Delta u_e\}$ を求めるために式(8)の復元力と弾性時の剛性マトリックス $[K_e]$ を用いると、図-5を参照して式(9)となる。

$$\{\Delta u_e\} = [K_e]^{-1}\{\Delta R(t)\} \quad (9)$$

このときの時間変化する剛性マトリックス $[K_e]$ の作成に必要な曲げ剛性について説明する。図-5に曲げ剛性の変化に関する例を示す。復元力すなわち曲げモーメントがc点までは曲げ剛性を初期状態とした。次にc~y₀点の間では図-5のI、IIサイクルのように各1サイクルにおける初期の曲げ剛性がそのサイクル中の弾性時の曲げ剛性としている。そしてy₀点を越えると、原点とy₀点を結ぶ傾きとなり、これ以降は変化せず一定とした。そして、式(9)から弾性の速度ベクトル成分 $\{\dot{u}_e\}$ を求め、時々刻々の復元力 $\{R(t)\}$ との積として弾性ひずみエネルギー W_e を次式のように定義した。

$$W_e = \int_0^t \{\dot{u}_e\}^T \{R(t)\} dt \quad (10)$$

そして、式(10)の弾性ひずみエネルギーを全内部ひずみエネルギーから引くことによって塑性ひずみエネルギーを計算した。

4. 地震動入力による W_p/E の検討

本解析で用いた地震動は3種類で、それぞれの加速度波形を図-6に示す。波形(a)は開北橋周辺地盤で記録され最大加速度が318.8[gal]で、経過時間に伴って加速度が減衰している。波形(b)は七峰橋周辺地盤で最大加速度が322.7[gal]であり、加速度はほとんど減衰せず波形後半のほうが大きくなっている。また、波形(c)は神戸海洋気象台で記録され最大加速度が765.9[gal]で、発生の初期段階で大きな加速度を記録している。

図-1に示す解析モデルに各地震動(図-6)を入力し動的応答解析を行った。解析条件として

解析時間は30および40[sec]とし、時間間隔 Δt を $5.0 \times 10^{-5}[\text{sec}]$ とした。ここでは、塑性ひずみエネルギーが入力地震動や構造特性からどのような影響を受けているかをエネルギー収支、応答変位、M-φ履歴を用いて検討する。損傷を評価する指標として、3.3で定義した塑性ひずみエネルギー量 W_p を入力エネルギー量 E で正規化した無次元量 W_p/E について検討する。これによって構造物に入力される入力エネルギーの影響を小さくし、主に構造物の特性を評価するものである。

解析は地震波の入力振幅を1/4倍し、橋脚の構造減衰を0.02として行った。図-7、8、9は

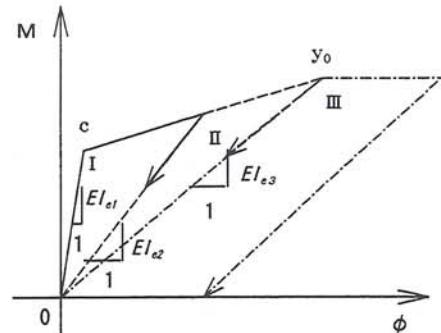


図-5 原点指向時の曲げ剛性の変化

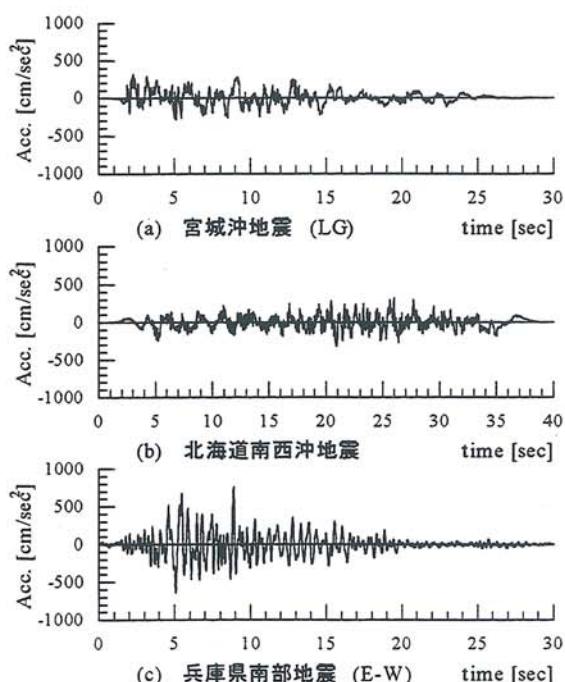


図-6 地震動波形

各地震動、段落しの回数、橋脚の違いを比較するためにエネルギー収支および節点 10（柱頂上）の応答変位、 W_p/E 時刻歴を示している。

はじめに地震動の影響について述べる。図-7、8 (a) (b) (c) を見ると、(a) のエネルギー収支は 2 秒付近から徐々に塑性ひずみエネルギーが増加し、15 秒以降はほとんど蓄積されていない。応答変位では前半のほうが大きく振動し、15 秒以降はほぼ同じような振幅で振動している。従って、この地震動では 15 秒までに大きな損傷を受けてそれ以降はそれほどの損傷を受けていないと考えられる。(b) について、エネルギー収支では他の地震動に比べて塑性ひずみエネルギー量が小さく、20、25 秒付近で急激に増加し階段状に蓄積されている。応答変位は徐々に振幅が大きくなり、26 秒で最大変位を示している。この地震動では他の地震動に比べてあまり損傷していないと考えられる。(c) ではエネルギー収支から、他の地震動と比べて塑性ひずみエネルギー量が大きくなっている。応答変位を見ても振幅が大きく、10 秒付近から残留変形を生じているので、明らかに他の地震動よりも大きな損傷を受けている。図-9 (a)において、各地震動の違いは W_p/E 時刻歴の値がほぼ一定になるまでの間に特徴が現れている。宮城沖地震では一定の値になるまで 15 秒を要しその間で 5、8 秒で卓越している。このときをエネルギー収支（図-7 (a)）で見ると、ある程度で塑性ひずみエネルギーがおさまり、入力エネルギーが小さくなっている。

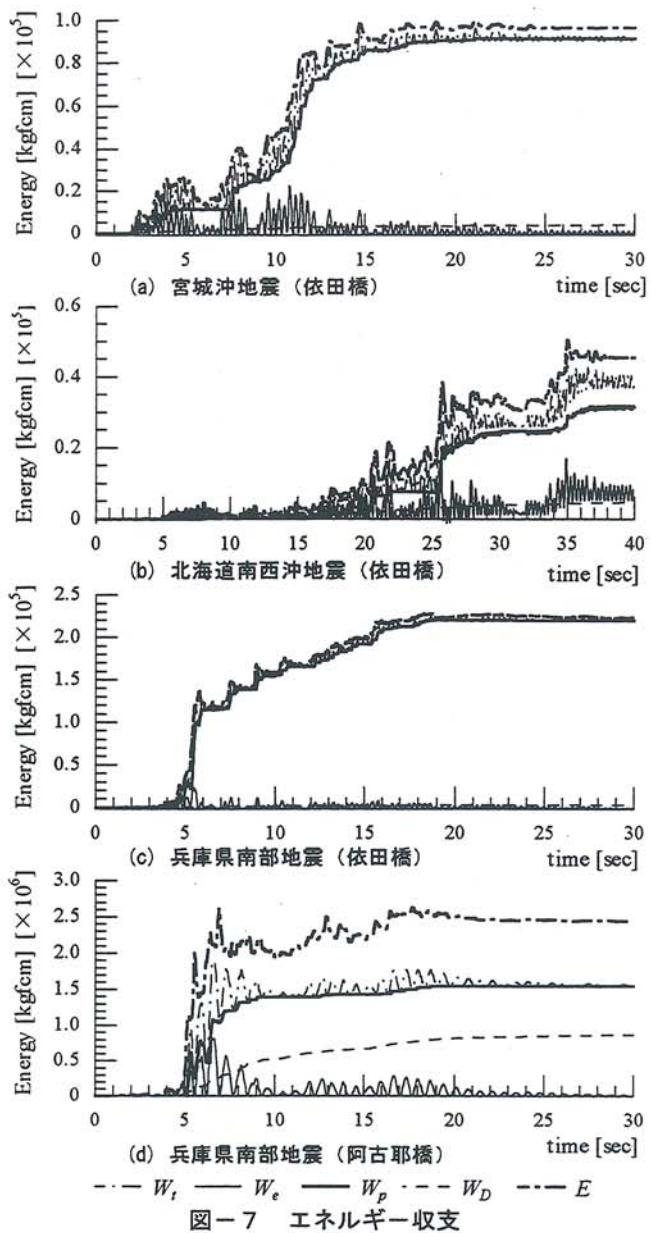


図-7 エネルギー収支

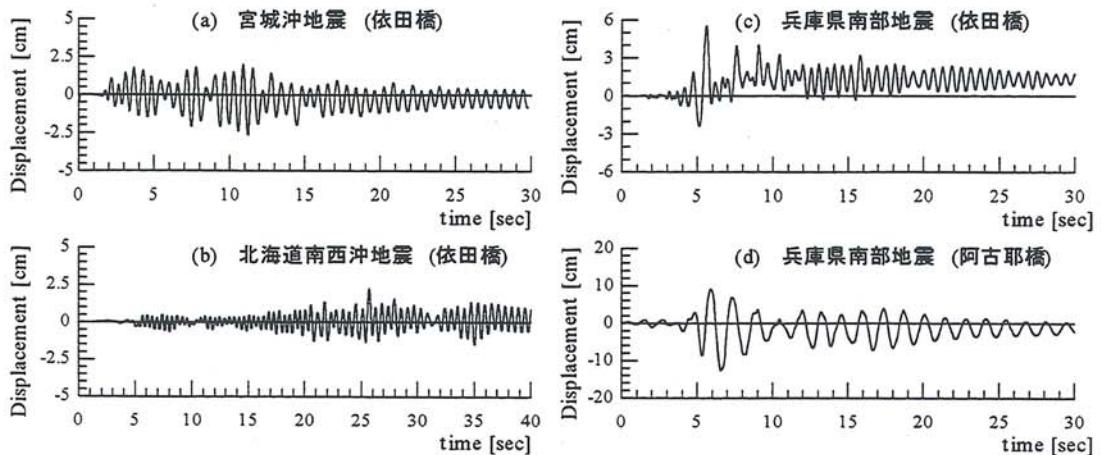


図-8 応答変位

る。兵庫県南部地震は他の地震動よりも早く7秒付近で一定の値となっている。このとき、エネルギー収支（図-7(c)）を見ると塑性ひずみエネルギーはかなり大きくなっている。北海道南西沖地震だけは W_p/E の値が一定となる傾向が見られない。

次に、依田橋と阿古耶橋に兵庫県南部地震を入力し比較検討を行う。エネルギー収支（図-7(c)(d)）を比較すると、依田橋に比べ阿古耶橋の各エネルギー量は大きく、とくに入力エネルギーに対する減衰エネルギーの割合が大きくなっている。また図-8の応答変位についても阿古耶橋の振幅が大きくなっている。このように図-7, 8では橋脚の断面形状や高さ、復元力特性などの構造特性が異なるために単純に比較はできない。しかし入力エネルギーで無次元化することで橋脚自身のエネルギー吸収能力について比較することができ、図-9(b)を見る

と W_p/E 時刻歴では、依田橋は7秒付近までに急激に増加し、阿古耶橋は5秒から徐々に増加し最大で70%ぐらいまで達している。解析終了時には依田橋は100%、阿古耶橋は65%となっている。このことは依田橋のほうが相対的に損傷していることを示している。

5. 結 言

実際のRC橋脚（依田橋、阿古耶橋）に対して地震動（3種類）を入力による弾塑性応答解析を行い、入力地震動の相違による時刻歴塑性ひずみエネルギーに対する影響を、入力エネルギーとの比 W_p/E で検討した。

- 1) 入力地震動の比較では各地震動によって塑性ひずみエネルギーの蓄積過程が異なり、 W_p/E 時刻歴にも一定になるまでの時間に地震動の違いが見られた。
- 2) 2つの橋脚の損傷を比較するとき、エネルギー収支、応答変位だけで簡単に評価することは難しい。しかし W_p/E 時刻歴によって各橋脚自体に対する損傷程度を比較することができる。

また本論文には紙面の都合上結果を載せられなかったが、正弦波を入力して構造特性の相違による検討も行った。その結果、正弦波入力では塑性ひずみエネルギーは構造減衰が大きいほど、また加振周期が固有周期から遠いほど小さくなる。 W_p/E 時刻歴では全体的に値が小さくなる。特に入力エネルギーに対して塑性ひずみエネルギーが小さいとき、 W_p/E 時刻歴は減衰によって時間が継続するにつれてが小さくなる。

参考文献

- 1) 秋山宏：建築物の耐震極限設計、東大出版会、1980.
- 2) 星谷勝、山崎武文：地震動エネルギーに基づく応答解析、土木学会論文報告集 No.291、pp1-14、1979.11.
- 3) 大野友則、西岡隆、藤野陽三：構造物が地震時に受ける塑性ひずみエネルギー量の定量的評価、土木学会論文報告集 No.333、pp91-99、1983.5.

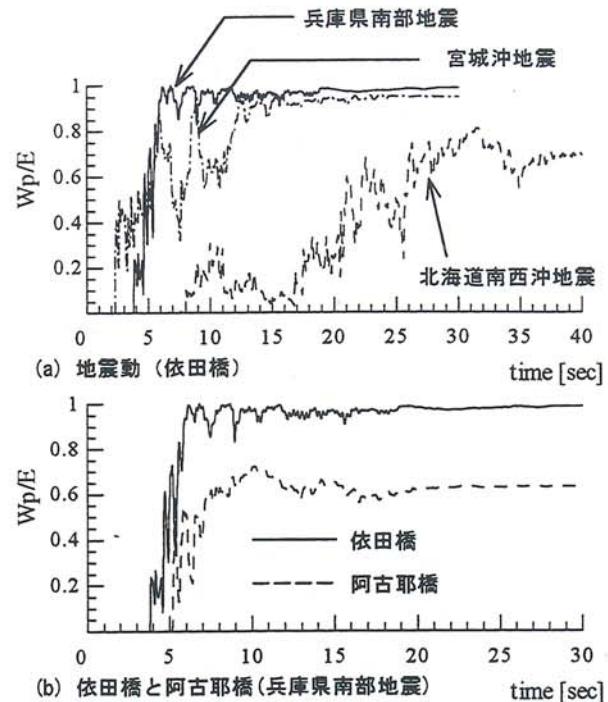


図-9 W_p/E 時刻歴

新しい電気事業環境下での電力技術

Electric Power Technologies under the New Environment of Electric Power Industry

林 敏之（財団法人電力中央研究所 狛江研究所）

山 城 迪（北見工業大学工学部 電気電子工学科）

Toshiyuki Hayashi (Central Research Institute of Electric Power Industry)

Susumu Yamashiro (Kitami Institute of Technology)

Keywords: system operation, system control, open access, reliability, security, transmission capacity, system stability

1. まえがき

電力コストの低減を目指して、電気事業の規制緩和が内外で進められている。米国では、新エネルギー導入の拡大を図る公益事業規制政策法（PURPA、1978）の是正のための、エネルギー政策法（1992）による非電気事業者（NUG）への発電市場の自由化、送電線の開放活用を方向つけたメガ規制法（Mega NORP、1996）により、卸電力の自由化（Whole Sale Competition）から小売自由化（Retail Competition）へと進んでおり、どのような方式とするかは各州での自由選択となっている。

また、英国でも電力の民営化とともに、発電会社と送電会社、配電会社に分割して、電力プールによる電力の市場化を図り（1989）、独立発電事業者（IPP）や電力供給者、大口需要家の参入が可能となっており、現時点では電力供給者、大口需要家の限度の引き下げが検討されている。

他の国でも電力の自由化が進められており、電力市場と系統運用のあり方により大きくは図1に示す（a）プール方式と（b）ISO方式に分類される。一方、わが国のように発電と需要家の一部を自由化している場合は（c）部分自由化方式と分類できる。

このような電力自由化における課題として、1) 発電における競争がコストの低い化石エネルギーに偏り、地球温暖化問題への対応など長期的な視点での電源の開発が疎かになる、2) 需要家の自由な選択により不要となる発電設備のみならず送変電設備が生じ、資源の無駄遣いとなる、さらには、3) 自由競争により利益を得るのは競争の当事者のみで、規模の小さい需要家へのメリットの有無が懸念されるなどが考えられるが、電力系統の計画、運用の面では、電源と需要の不確定性による電力システムへの影響が考えられる。

すなわち、米国西部地域の大停電事故（1994.12、1996.7、1996.8）やマレーシアの全系統崩壊（1996.8）、ニュージラント北島の長期間の停電など、ここ数年の事故、大規模停電は電力の自由化が要因で発生したとの説も出ている。また、電力取り引きの自由化により電力潮流のボトルネックが生じ、送電可能容量（ATC）の評価方法が話題となっており、その解決策としての電

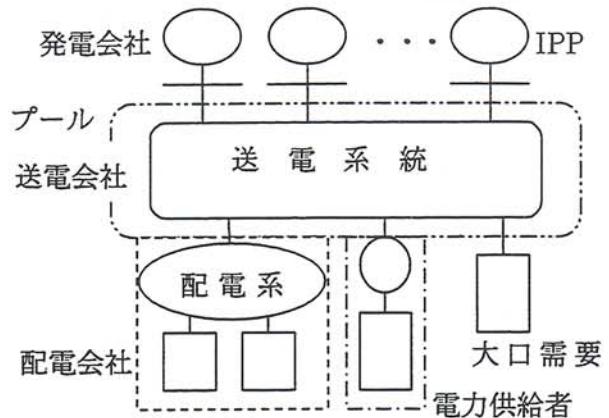
力料金の決め方に関する論文も見られる。

このような状況において、電力システムの運用制御のあり方が注目される。このため、電力自由化における電力システムの供給信頼度、送電可能電力の評価、ならびに系統安定度、電圧安定性、事故波及防止など系統信頼度について、ここ2、3年のIEEEの解説、論文を主に調査した。

(a) プール方式

- ・電源（発電会社、IPP）、系統（送電会社）、負荷（配電会社、電力供給会社、大口需要家）がプールを構成。
- ・プールは電力売買と系統運用の二役。（英国では系統運用は送電会社が分担）
- ・送電に必要な対策はプールで賄う。

主な実施例；英国、ニュージーランド

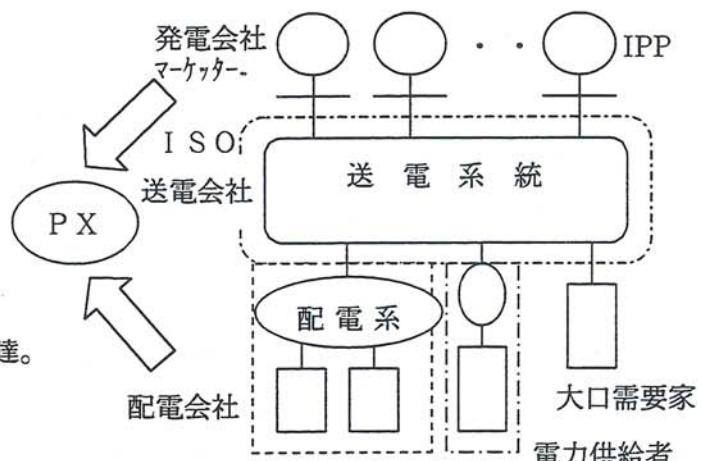


(b) ISO方式

- ・電源（発電会社、IPP）と負荷（配電会社、電力供給会社、大口需要家）がPX（電力取引所）を通じて契約。
- ・ISO（系統運用者）が系統運用を分担。
- ・送電に必要な対策は主にISOが調達。

主な実施例；ノルウェー・スウェーデン・フィンランド、

カリフォルニア、ニューヨーク、オーストラリア、アルゼンチン



(c) 部分自由化方式

- ・IPP（独立発電事業者）は電力会社或いは大口需要家と供給契約。
- （大口需要家は、他の電力会社を含め、電力供給元を選べる）
- ・電力会社が系統運用を行う。
- ・送電に必要な対策は電力会社が行う。

主な実施例；日本、フランス、イタリア、ドイツ

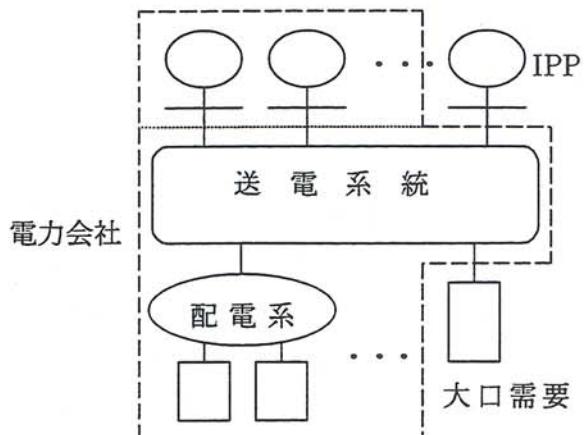


図1 電力自由化のパターン

2. 電力自由化における運用制御

電力システムの業務を計画と運用制御に分けて、電力自由化における電力システムの運用制御は、一般に補完的サービス（Ancillary Service）と呼ばれ、予備力、周波数制御、電圧・無効電力制御等の常時制御や、系統安定化、電圧安定性、事故波及防止などの緊急時制御、系統停電後の復旧の分担を系統運用者が調達することになっている。

(1) 補完的サービス

ニューヨークパワープール（NYPP）は連邦の最終規則 ORDER No.888 (1996.4) に従って、ISO と電力取引所（NYPE）、信頼度協議機関（NYSRC）を設立して、ISO 方式による電力自由化を実施した。その補完的サービスは表 3 に示すように、ISO が調達するものと、ISO または他者により調達するものに分類できる。

表1 NYPP の補完的サービスの分類

項目	調達者	価格決定法	備考
電圧・無効電力制御	ISOのみ	コストベース	発電設備からの供給分
需給バランス調整	ISO または 自主供給	市場価格	
周波数制御	"	"	
電力量偏差調整	"	"	
運転予備力	"	"	瞬動、待機予備力
ブラックスタート	ISOのみ	コストベース	系統復旧計画内で電源指定
運転調整、系統制御、給電	"	"	
暴風雨監視	ISO または 自主供給	市場価格	

電源が系統運用と独立した電力自由化の状態では、系統運用者による補完的サービスの確保とともに、最適な系統運用に必要な情報整備と、この情報によるオンライン運用が、電源、需要の不確定性に対応できるものと考えられる。

また、電源、需要の不確定性に伴う電力系統でのボトルネックの解消が近年話題となっており、送電可能容量（ATC）の評価法と解決方策が検討されている。

(2) オンライン供給信頼度評価

電力自由化に対応して供給信頼度の評価するため、オンラインに対応可能とした運用計画にそって、基準外乱や予備力をもとにオンラインで供給信頼度を評価する方法が提案されている。この場合、系統の安定度や系統バランス（電源トリップ、負荷遮断、連系分離等）、さらには系統復旧までも考慮した評価を行う（図2）。

(3) 連系系統の送電可能容量（ATC）

電力自由化に伴い系統間連系に潮流のボトルネックが生じ、電力供給契約にもとづく電力供給ができなくなる。英国のプール方式ではこのような供給制約に対し、供給可能な電力での振り替え供給を行い、そのための費用を「追加費用（Uplift）として電力供給コストに加算している。

送電制約の主な緩和方策としては、熱容量の向上、電圧制約の緩和の他、多回線化や直流化が挙げられており、運用制約の緩和として、直列コンデンサや位相調整器による潮流の制御、FACTS（Flexible AC Transmission System）の適用、ならびに各種安定度向上方策が提案されている。

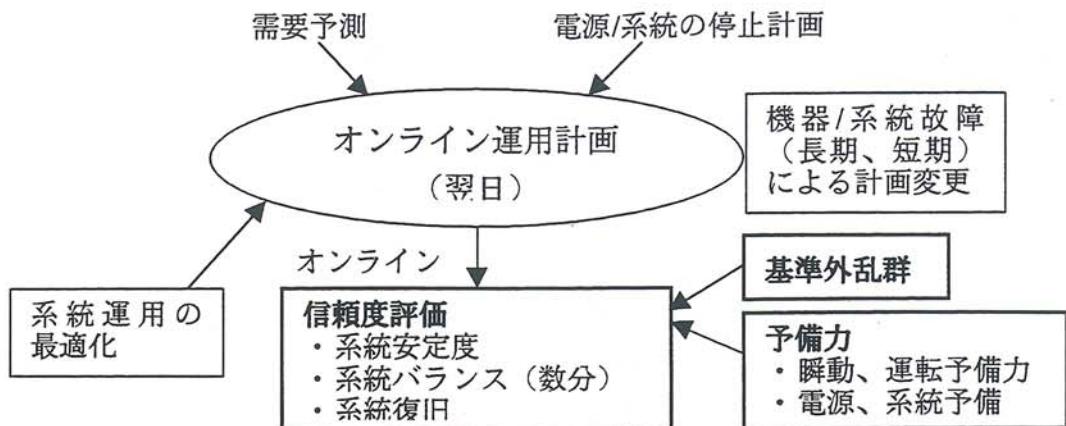


図2 オンライン供給信頼度評価

フロリダ電力（FPC）では連系系統（図3）を対象に、非電気事業（NUG）が系統間連系に与える影響を検討している。FPCは北米サザンカンパニー（SC）と連系しており、この連系線はオンラインで電力輸入限界を監視しているが、主系統に連系されるNUGからの負荷地域への電力供給が、この電力輸入限界に影響することになる。

NUGの導入地点が負荷地域から離れる（NUGが北米系統に近くなる）に伴い、負荷地点への電力供給が輸入限界に影響することになり、負荷地点近くにNUGを導入することで、輸入限界への影響が軽減される。このことを輸入限界の低下率で評価したものを図4に示す。

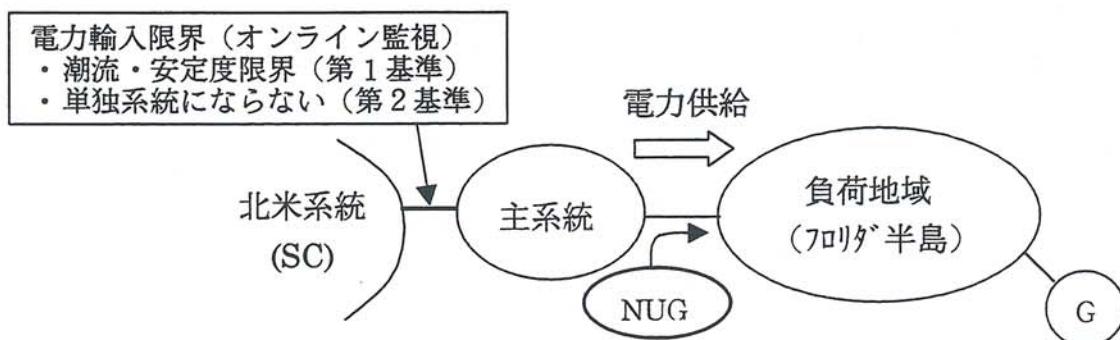


図3 フロリダ電力（FPC）の連系系統

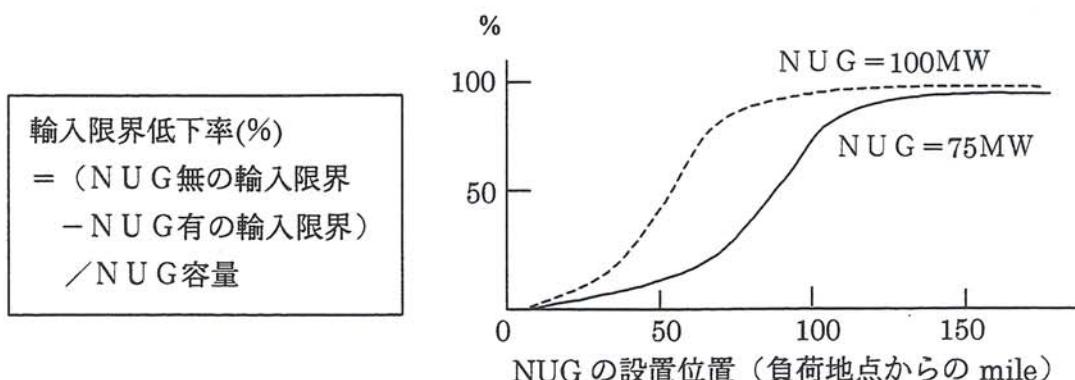


図4 NUGに対する電力輸入限界の評価

(4) オンライン動的信頼度評価

米国西部系統で発生した大規模停電は、電力自由化における系統信頼度（Power System

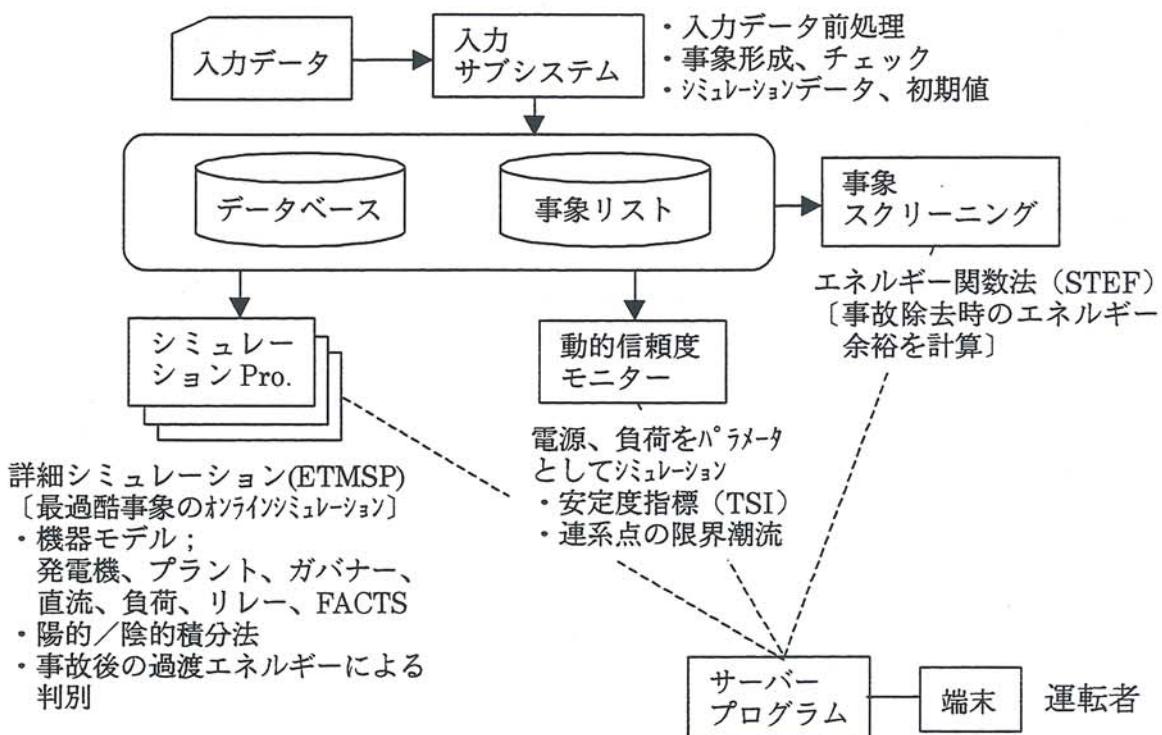
Security)に対する注目を喚起したと言える。

August 10, 1996 の事故]

- ・樹木接触によりキーレーアリストン線が地絡、トリップ (15:42:03)。
- ・ロスレキシントン線、マックネイリー発電所がトリップ (15:47:36)。
- ・長周期動搖がダンピングせず、脱調分離 (15:48:51)。
- ・西部系統が4分割となり、最大3,000万kW、数時間の大停電となる。

米国電力研究所 (EPRI) 他ではこの事故を契機に、広域計測と情報処理システムによる広域計測システム (WAMS) と、電圧安定性と過渡安定度を評価するオンラインソフトウェア VSA、DSA の開発を進めている。

Siemens 他の提案している DSA は、図 5 に示すように系統事故などの事象を整理する部分と、エネルギー関数法により事象のスクリーニングを行う部分、詳細シミュレーションにより最過酷事象を把握する部分、ならびに時々刻々の安定度や連系線潮流限界を求める部分とからなる。



一方、電力自由化に慎重な EDF では、全系の過渡安定度を協調して防御する方策として、図 6 に示す事故波及防止方策を開発した。主な原理と計測情報システムは表 2 のとおりである。

表 2 過渡安定度の事故波及防止方策

原理〔脱調の領域を選択分離〕	計測情報システム
<ul style="list-style-type: none"> ・発電機のコヒーレンシーで 12 の領域に分割 ・各地域の位相角を中央制御所でオンライン比較 ・脱調領域の外部連系線を遮断 ・必要なら負荷遮断 (位相の動きで判断) ・1. 3 秒で計測、処理、伝達を完了 	<ul style="list-style-type: none"> ・フェーザ計測；GPS による同時刻計測 CPUへの伝送時間 50ms 衛星通信とマイクロ波通信 ・連系遮断情報；衛星通信とマイクロ波通信 ・負荷遮断情報；衛星通信

この方式を選択するにあたって、3つの処理システムの方式について検討し、集中協調方式を

選定している。

処理システムの比較			
方 式	機能性	コス ト	信 頼 性
1)集中協調 ¹⁾	◎	◎	◎
2)分散協調 ²⁾	◎	△	△
3)分散 ³⁾	△	○	◎

- 1) 各領域からの位相を中央制御所で処理し、指令を出す。
- 2) 各領域で位相計測、比較の後、指令を出す。
- 3) 各領域での位相をもとに、連系分離を行う。

これらをもとにシステム開発を行い、十分な性能を有することを確認した。表3に動作の検討結果を示す。

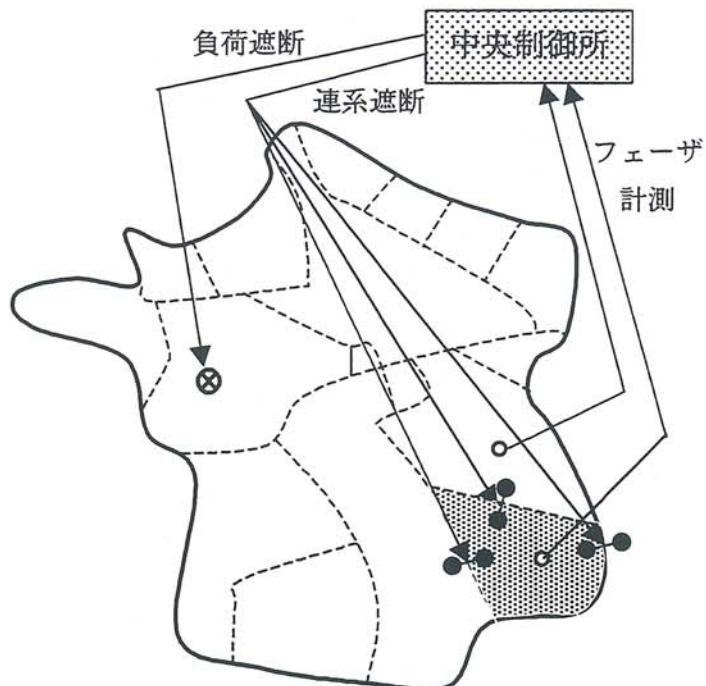


図6 過渡安定度の協調的防護方策

表3 動作性能の検討

項 目	最大応答時間 (m s)	誤 差 (m s)	信 頼 性	アンペイロビリティ
フェーザ計測	130	±5	1E - 07/h	1E - 07/s
中央計算機	100	±2	1E - 07~08/h	1.1E - 04/s
連系遮断	150	±5	1E - 09/h	3E - 04/s
負荷遮断	100	±10	1E - 07/h	5E - 03/s
マイクロ波通信	30	±10	1E - 09/h	1E - 03/s
衛星通信	600	±10	1E - 09/h	1.5E - 03/s
計1070		±47		

3. あとがき

電力自由化に伴う電力システムの運用制御への影響について、海外での対応状況を紹介したが、基本的には電源、需要家の不確定性に対して、計画と運用制御の乖離を如何に埋めるかにあると言えよう。現状のわが国の電力システムでは、計画の段階で極力現実に沿った検討を行い、運用に当っては一層現実への対応が図られている。すなわち常時運用においては、負荷変動に対してガバナーフリー発電機の応動や負荷周波数制御(LFC)が、系統運転者の電力需給の調整を補完する。一方、緊急時制御においては、後備保護を含めた各種の保護システム、系統安定化装置、さらには事故波及方策としての系統安定化制御などが、大外乱時の系統安定化の役割を果すが、これを有効に動作させるために計画面の詳細な検討が行われている。電力自由化における発電、負荷の不確定性に対し、計画面での検討によりどこまで対応可能か、また運用制御の適応性にどこまで期待するかが課題である。オンライン監視による運用制御の高度化が一つの解決策として期待される。

住宅用太陽熱光・灯油ボイラ式簡易融雪給湯システムの開発

Development of General Housing Plain Roof-Type Snow Melting and Hot Water Heating System with Thermal / Photovoltaic and Boiler

金山 公夫 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

馬場 弘 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

遠藤 登 (北見工業大学工学部機械システム工学科)

岡本 淳 (サンポット(株))

Kimio KANAYAMA (Kitami Insutitute of Technology)

Hiromu BABA (Kitami Insutitute of Technology)

Noboru ENDOH (Kitami Insutitute of Technology)

Atusi OKAMOTO (Sunpot Corporation)

Key words : snow melting, hot water heating, thermal/photovoltaic

1. 緒 言

北海道などの積雪寒冷地では、屋根雪の処理が大きな社会問題になっている。これを融雪によつて行う場合、一般的に電気や石油を熱源とする装置が用いられている。

しかし、近年では化石燃料の過剰消費による環境破壊、資源枯渇化が問題になっており、自然エネルギーを取り入れた装置の開発が期待されている。

著者らは、一般住宅の屋根雪処理を想定し、屋根に簡単な集熱・融雪パネルを組み込み、太陽エネルギーの集熱及び蓄熱を行い、主にこの熱源で屋根の融雪を行う簡易型屋根集熱・融雪システムの設計及び試作を行い、その性能の測定及び評価を行ってきた。本研究では、同システムの性能向上させるため平行して改良を行い、改良前後でのシステムの性能の比較、検討を行う。

2. 実験システムの概要

実験システムフローを図1に示す。本システムでは、装置の一次側の熱媒体に不凍液（プロピレンジコール）を使用し、二次側蓄熱媒体として水が使用される。ボイラーは不凍液の加熱の他に給湯が可能である。

集熱モードでは集熱パネルで日射量を集熱し、それをS.T.内に蓄熱する。融雪モードでは加熱された不凍液を融雪パネルに移送することにより融雪を行う。以下に各モードのシステム稼動条件を示す。

(1) 集熱モード

集熱パネル入口の熱媒体温度が、タンク内の温水温度より約2.5°C高くなった場合、太陽電池によって発電された電力によってポンプが稼動し集熱が行われる。その温度差が約1°C以下でポンプが停止する。

(2) 融雪モード

融雪モードでは、降雪センサーによって降雪を感じて、商用電源でポンプが稼動して熱移送する。降雪センサーが降雪を感じしなくなつてから一定時間経過した後（通常2時間）遅延タイマーが働き、ポンプが停止する。

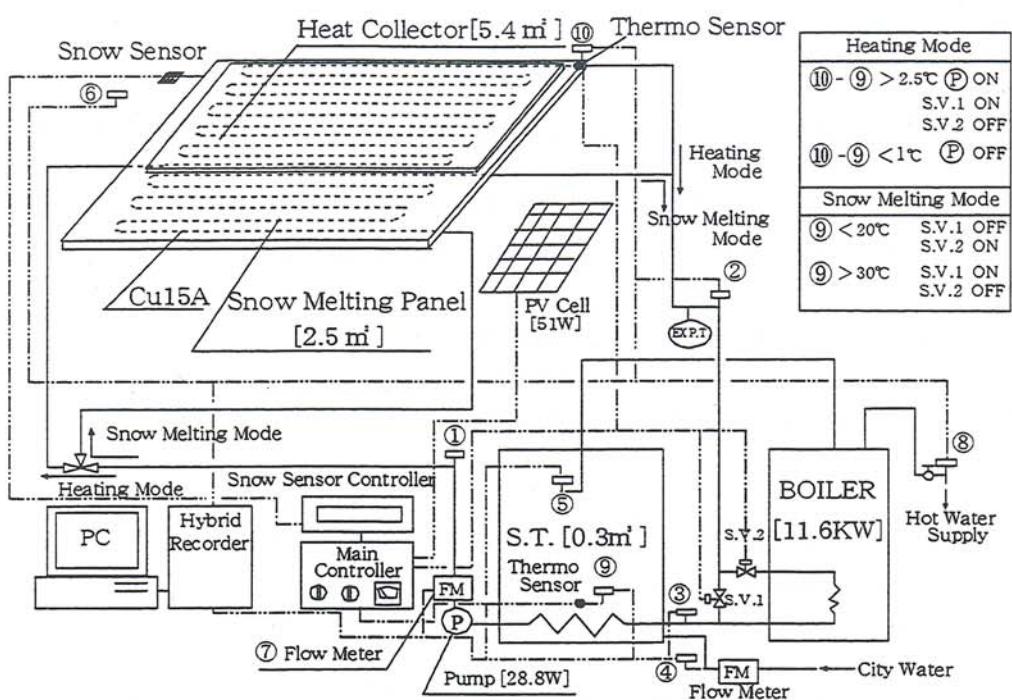


図1 集熱・融雪パネルシステム

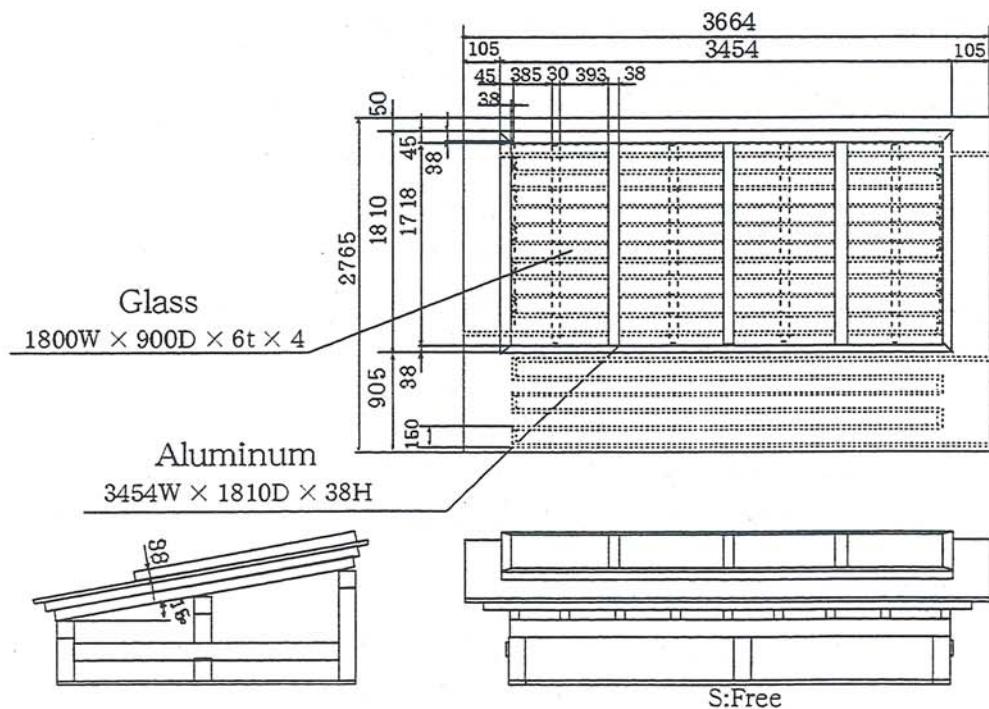


図2 集熱・融雪パネルの詳細

① タンク内の温水温度が20°C未満のとき

電磁弁が作動し、ボイラー経由ラインに切り替わりボイラーで加熱された不凍液がS.T.を経由し融雪パネルに移送される。その後、タンク内の温水温度が30°Cに達するとボイラー未経由ラインに切り替わる。

② タンク内の温水温度が20°C以上のとき

ボイラー未経由ラインで作動し、S.T.内の蓄熱量によって融雪が行われる。

測定記録は図1のように①集熱・融雪パネル入口温度、②集熱・融雪パネル出口温度、③S.T.1次入口温度、④S.T.補給水温度⑤S.T.内温度⑥外気温、⑦流量、⑧給湯出口温度（室温）、⑨S.T.センサ-部温度及び⑩集熱・融雪パネルセンサ-部温度をハイブリッド記録計を介しパソコンで記録を取り込み、データ処理を行っている。

3. システムの改善点

従来は、単独の回路のパネルで集熱及び融雪の両モードを兼用していた。これをシステム効率の向上を図るために各モード毎に回路を設け、融雪パネルは有効面積を5.4m²から2.5m²に縮小し、集熱パネルはガラス板により屋根の上に集熱空気層を図2のように設けた。

4. 実験結果および考察

図3及び図4はシステム改善前後の集熱モードでの傾斜面日射量、集熱量、気温及び集熱効率の日毎の積算値及び平均値を示す。

前者は6月及び7月の代表的な晴天時の改善前の測定値であり、ほぼ100MJの傾斜面日射量のうち約1割程が集熱されている。後者は8月、11月及び1月の代表的な晴天時の改良後の測定値である。8月は、傾斜面日射量が7月に比べ約40MJ程増加し、集熱効率は改善前より2.6倍向上した約21%と高い割合となっている。これは、屋根の集熱面にガラス板を利用した集熱空気層を設けたので、集熱パネル管内の温度の応答性が高まり集熱時間帯が約2時間程増加したこと及び集熱面の屋根の伝熱量が増加したためである。11月及び1月は、外気温が0°C前後という低温でも集熱効率は夏場のそれとほぼ同じ高い割合を示す。これより、冬場での高効率な集熱が期待される。

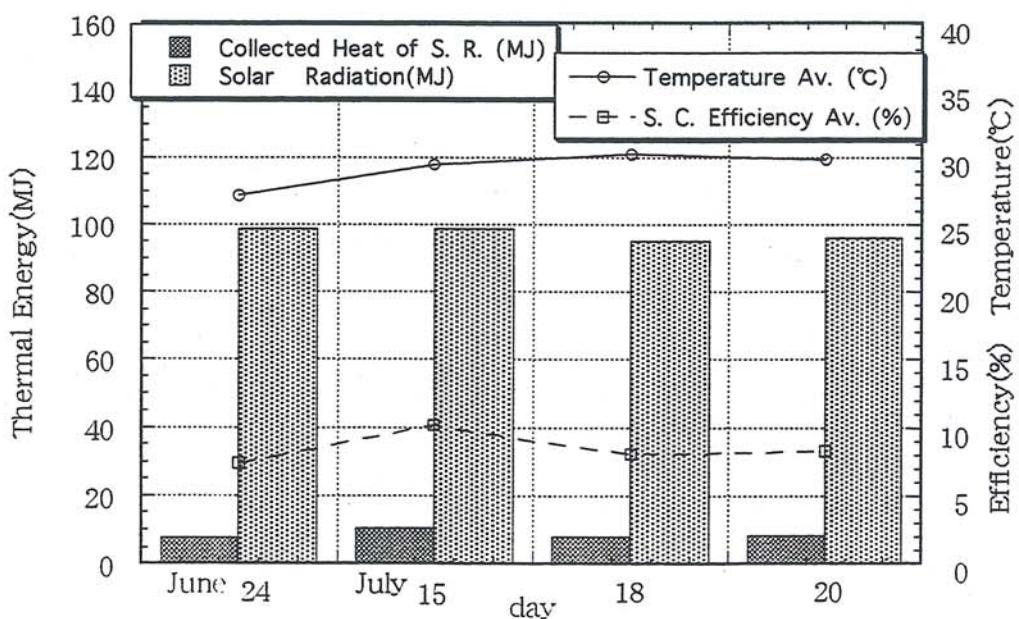


図3 集熱モードにおける気温、熱量及び集熱効率の日平均値及び日積算値（改善前）

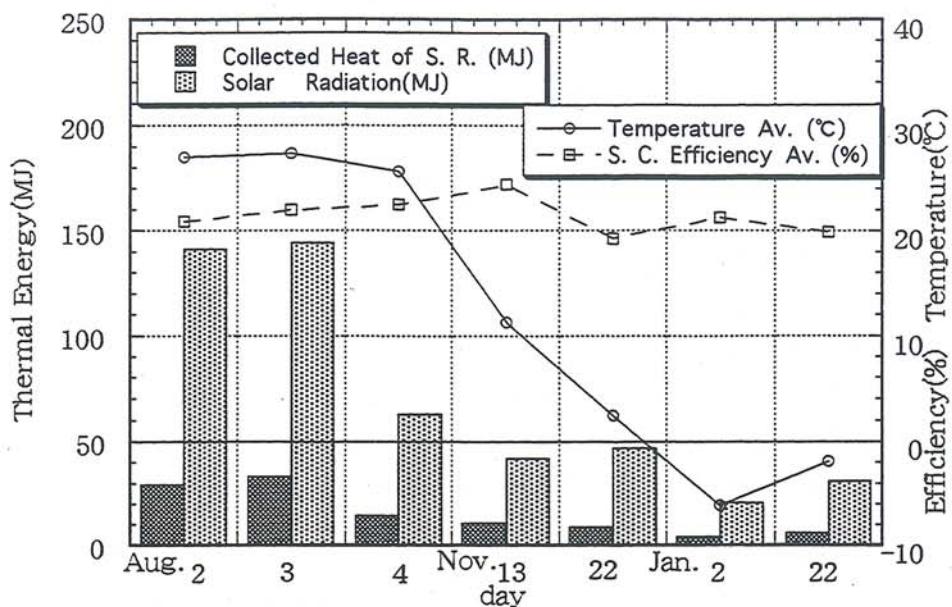


図4 集熱モードにおける気温、熱量及び集熱効率の日平均値及び日積算値（改善後）

図5は平成10年11月13日の集熱モードの各温度と流量及び熱量の時間変化を示す。この日は朝方-6°Cまで冷え込み、初冬同様の気温になっているが、日中は最高気温が15°Cで傾斜面日射量もピークで約3500Wあり比較的穏やかな秋晴れである。日中、集熱効率はピークで約30%を超す高い割合を示し、熱媒体の流量も約5ℓ/minで推移し、太陽電池の電力のみで循環ポンプが運転している。

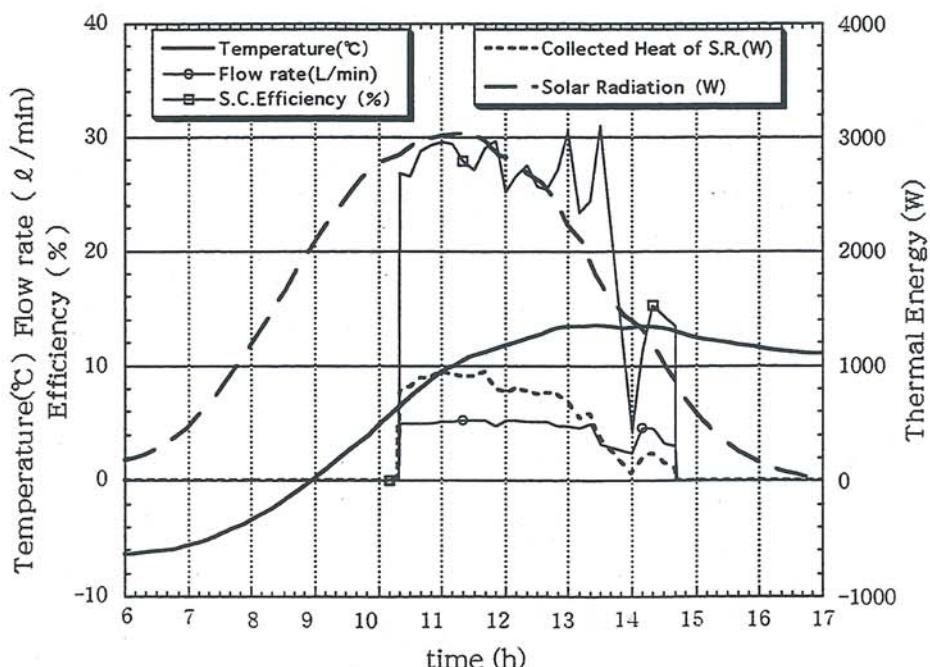


図5 集熱モードにおける気温、流量、熱量及び集熱効率の時間毎の推移
(1998年11月13日)

図6は平成10年11月24日の融雪モードの各温度と流量及び熱量の時間変化を示す。降雪は前日午後5時頃からこの日の午前11時30分までに11cmで、それに合わせてシステムも前日から引き続き午後13時30分まで運転している。ボイラ-経由ラインでは、その出口温度が約60°C前後まで昇温するのでS.T.内の温水を予熱した後の熱媒体が融雪に利用されるため、S.T.出热量がマイナスを示している。融雪熱量は、ボイラ-未経由ラインとボイラ-経由ラインで比較すると、前者が融雪パネル入口が約15°Cと低温であるのでピークで500W前後になっているのに対し、後者はその温度が約45°Cと高温であるためピークで2.6倍の1300Wに達している。

実際の融雪熱量を理論上のそれで除して求めた融雪効率の改善後の平均値は、改善前より約4割増の65%であった。

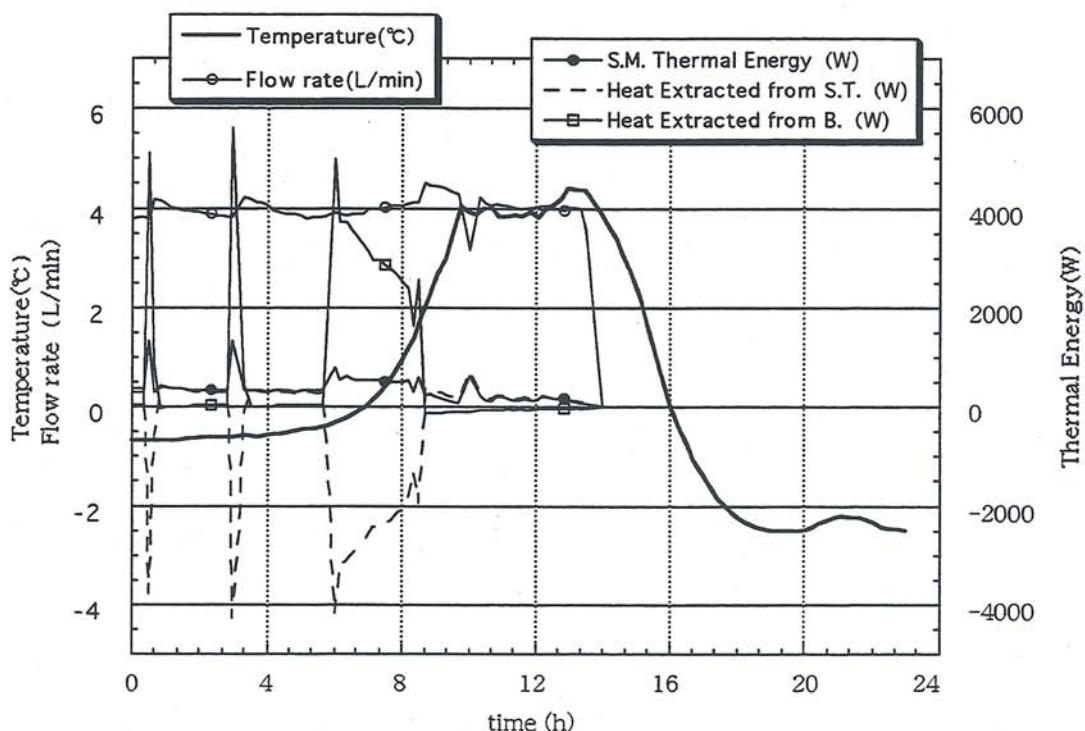


図6 融雪モードにおける気温、流量及び熱量の時間毎の推移
(1998年11月24日)

5. 今後の課題点

- (1) 本システムは降雪時、集熱パネル上において自然融雪しないので、ボイラ-経由で強制的に不凍液を循環させ融雪を行った。今後、融雪時には融雪パネルに限らず集熱パネルも合わせて自動的に不凍液を循環させて融雪を行う制御方法に変更する必要がある。
- (2) 現状のタイマーによる融雪システムの停止制御方法から降雪時と同様に赤外線センサー等によって残雪量を感知し、システムを停止させる方法に改善すること及びボイラ-経由ラインでのその出口温度を融雪状況に合わせた適正にすることによって融雪熱量の省エネルギーが期待される。
- (3) 融雪モードでのS.T.内の蓄熱量を有効に利用するため、一次側の熱交換用コイルの取出位置を、現状のS.T.の下部から上部に変更する。ただし集熱モードでのそのコイルの取出位

置は現状の下部のまます。

- (4) 軒先での氷（つらら）を防止するため、その軒裏に融雪用コイルを設ける。
- (5) 屋根の傾斜を増加することによって、集熱量が増大し、雪の滑落が容易に行うことができる。
以上、改善点を列挙したが実用化に当たり、イニシャルコスト及びランニングコストのコストメリットを考慮し、対処する必要がある。

6. まとめ

試作した簡易型屋根集熱・融雪システムの改良を行い性能の測定及び評価を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) 屋根の集熱部にガラス板を取り付け、集熱空気層を設ることによって、集熱効率が約2.6倍向上し、集熱モードの稼動時間帯も2割程増加した。
- (2) 融雪モードでは、システムの停止制御、ボイラの出口温度制御及び集熱パネル面の融雪制御の改善により性能の向上が図られる。

7. 参考文献

- (1) 夏目 佳和、金山 公夫、馬場 弘、遠藤 登、日本機械学会北海道学生会、第27回学生員卒業研究発表講演会前刷集、(1998)、pp.181-182.

氷海域海洋コンクリート構造物の耐久性に関する研究(第3報)

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

鮎田 耕一 (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)

王 欣 (北見工業大学大学院物質工学専攻)

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)

Nobuyuki KIMURA (Shimada Corporation)

Xin WANG (Kitami Institute of Technology)

Key words: marine concrete, pore structure, amount of frozen water, porous

1. 序論

寒冷地では海水の作用を受けるコンクリート構造物に凍害が発生しやすい。このため海洋コンクリートの凍害劣化プロセスを解明することが望まれ、多くの研究がなされてきた。コンクリートの凍害機構の基本理論として、Powers の水圧説¹⁾がよく知られている。この理論によれば、破壊につながる水圧はコンクリートの透水性が低いほど、凍結水量が多いほど大きくなる。しかし、海水によるセメントペースト組織の変化が水圧に及ぼす影響に関しては十分に明らかにされていない。

本研究では、海水の作用を受けるコンクリートの凍害劣化プロセスを明らかにすることを目的として、海水、淡水中に浸漬した微小セメントペースト供試体を用いて、浸漬水の違いが質量、細孔構造に及ぼす影響を検討するとともに、示差走査熱量測定(Differential Scanning Calorimetry、以下 DSC) から凍結水量を求めて海水の影響について考察した。

2. 実験方法

2.1 使用材料及び配合

供試体は $\phi 1 \times 2\text{cm}$ の円柱セメントペーストとし、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。配合は表-1 のように $W/C=45\% \sim 50\% \sim 55\%$ とした。供試体は室温約 20°C 、湿度約 90%の室内で型詰め後、材料分離を防ぐために写真-1 に示すミックスローターで 24 時間回転させた後、型枠を取り外し所定の材齢まで約 20°C の海水あるいは淡水に浸した。

2.2 試験項目

(1) 細孔構造 供試体を所定材齢で $2.5 \sim 5\text{mm}$ に粉碎後、アセトン中で洗浄し D-Dry により水和を停止させ、水銀圧入式ポロシメータにより測定した。

表-1 セメントペーストの配合

W/C (%)	単位量 (kg)	
	セメント	水
45	1305	587
50	1224	612
55	1154	635

(2)粉末X線回折 所定の材齢に達した供試体を粉末状にした後、粉末X線回折装置を用い結晶性物質を同定した。

(3)質量 所定材齢に供試体を水中から取り出し、表面乾燥飽水状態の質量を0.0001g単位まで測定した。

(4)DSC 冷却用の液体窒素を測定用容器の周辺に注入した後、昇温速度2.0°C/minで10°Cまで温度を上げ30分間保持した後、降温速度0.4°C/minで-30°Cまで温度を下げ40分間保持し、次に昇温速度0.3°C/minで再び10°Cまで温度を上げ30分間保持した。

図-2にDSC曲線のモデルを示す。セメントペースト中の水分の凍結による発熱カーブの基線を延長し、ピークの初めの部分を逆に延長した線との交点である補外開始温度から凍結温度、同様に融解時に測定される吸熱カーブから融解温度を求めた。また、本研究では、吸熱カーブの面積から求めた吸熱量を凍結水量として扱った。なお、本実験では同一条件で3個の供試体を使用してそれぞれDSCを行い、結果はその平均値を用いた。

3. 実験結果及び考察

3.1 細孔構造

図-3に材齢28日におけるW/C=50%の淡水、海水浸漬供試体の細孔構造を示す。斜線部分は海水浸漬供試体の細孔容積が淡水浸漬供試体のそれより多い部分である。海水中では数十nm以上の半径の細孔が淡水中より多くなっていて、淡水浸漬供試体と比べて海水浸漬供試体の細孔構造が粗大化している。

図-4にW/C=45・50・55%の供試体の総細孔容積の平均値と材齢の関係を示す。海水浸漬供試体の総細孔容積はどの材齢においても淡水のそれより多くなっている。

図-5に材齢28日まで海水、淡水に浸漬した供試体の粉末X線回折の結果を示す。海水浸漬供試体ではCa(OH)₂のピーク高さが低く、Mg(OH)₂も検出されている。従来から指摘されているように、海水の浸透に伴いCa(OH)₂が溶出することが確認された。海水浸漬供試体の

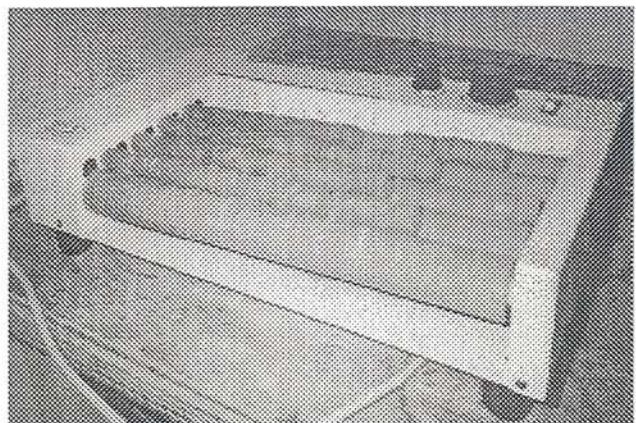


図-1 ミックスローター

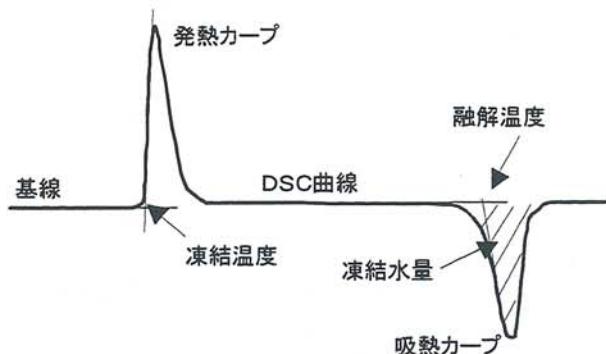


図-2 DSC曲線のモデル

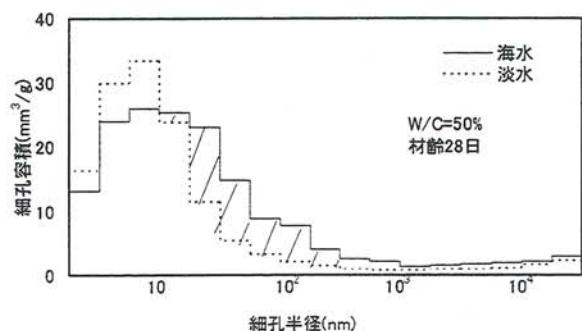


図-3 細孔構造

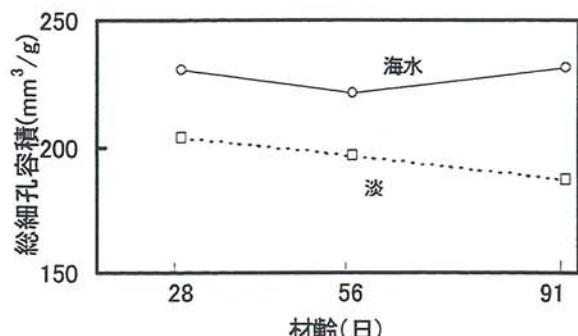


図-4 総細孔容積

細孔構造が粗大化するのは、海水の浸透に伴い $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が溶出するためであると思われる。海水の作用を受け半径数十 nm の程度の大きさの細孔が多くなることは、強度発現の停滞²⁾と耐凍害性低下の要因³⁾になっていると考えられ、海水浸漬供試体はより凍害を受けやすい状態になっていると考えられる。

3.2 質量

海水、淡水浸漬供試体の質量変化率を図-6 に示す。材齢が進むにつれて海水のほうの質量が大きく増えている。これは、海水中の Cl^- イオンがセメントペーストの OH^- イオンと相互拡散することによる結晶生成と、海水が淡水よりセメントペースト内部に浸透しやすいためと考えられる。

3.3 DSC 曲線と凍結水量

図-7 に海水・淡水浸漬供試体を用いて測定した DSC 曲線の例を示す。発熱カーブは急激に立ち上がっており、過冷却を起こしやすい状態にあることを示している。

海水浸漬供試体の吸熱カーブは、淡水浸漬供試体のそれに比べてよりブロードに現れ、海水浸漬供試体の融解温度の分布が広いことを示している。融解過程では融点が低い小さな細孔中の水から融解する。水の蒸気圧が氷のそれよりも低いため融解した水を多く含む小さな細孔と凍結している水分が多い大きな細孔の間に蒸気圧の勾配が生じるとともに、遅れて融解する大きな細孔中の水の濃度が小さな細孔中のそれより高いので、小さい細孔から大きい細孔に水を移動させる駆動力が発生すると推測される。海水の作用を受ける場合、淡水と比べてより広い温度域でより長い時間この圧力を受けていることになり、海水の作用を受けたコンクリートが劣化しやすい原因になっていると考えられる。

海水、淡水に浸漬した W/C=45・50・55% の供試体の凍結水量の平均値と材齢の関係を図-8 に示す。海水の作用を受けた場合には細孔容積の増加及び凍結核の生成の容易さ⁴⁾のため、海

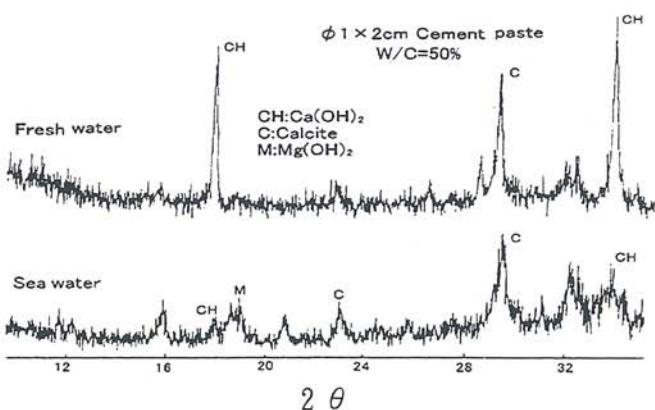


図-5 粉末 X 線回折

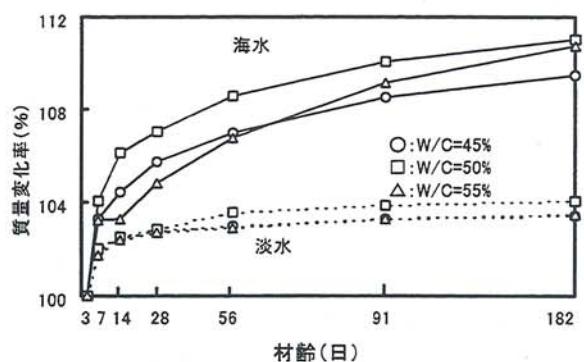


図-6 質量変化率

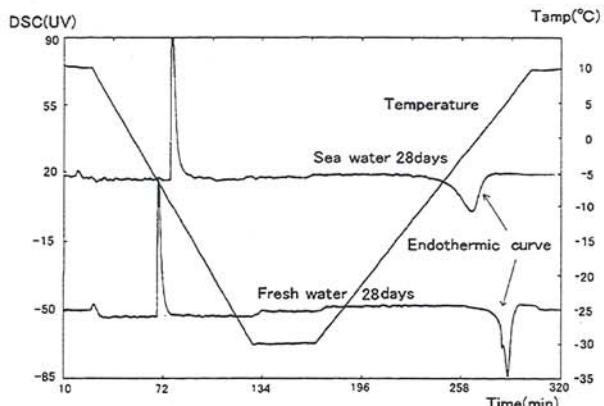


図-7 DSC 曲線

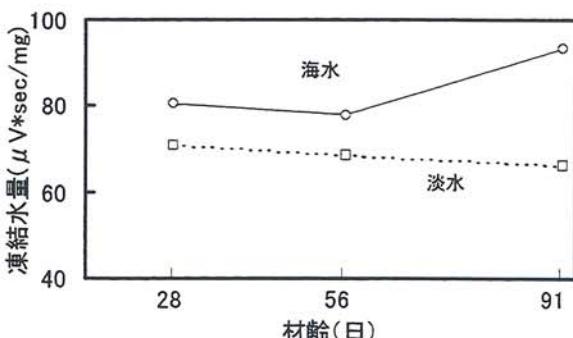


図-8 凍結水量

水浸漬供試体の凍結水量が淡水浸漬のそれよりも多くなっている。冷却過程では、このより多い凍結水量によって劣化につながる大きい水圧が生じる。

図-9 に総細孔容積と凍結水量の関係を示す。総細孔容積と凍結水量の間には高い相関関係が認められる。

図-10 に淡水、海水浸漬供試体の総細孔容積と凍結水量に及ぼす水セメント比の影響を示す。水セメント比が大きいほど総細孔容積が多く凍結水量が増加することが認められる。

4. 結論

海水の作用を受けるコンクリートの凍害劣化メカニズムを検討するために、セメントペースト供試体を用いて DSC、細孔構造試験などを行った結果から、以下のことが明らかになった。

- 1) 海水は淡水よりセメントペースト中に浸透しやすく、海水浸漬供試体ではその質量が材齢の進行とともに大きく増加する。
- 2) 海水の作用を受けるセメントペーストでは淡水の作用を受ける場合に比べて数十 nm 以上の径の細孔が多くなる。
- 3) 淡水浸漬供試体に比べ海水浸漬供試体の融解カーブの幅が広い。
- 4) 海水の作用を受ける供試体は淡水浸漬供試体と比べ凍結水量が多くなる。
- 5) 凍結水量と総細孔容積と間には高い相関関係がある。

以上の実験結果から、海水の作用を受けるコンクリートは、中程度の径の細孔が増え細孔構造が粗大化し、凍結水量が多くなることが明らかになった。このことから、寒冷地の海洋コンクリートが凍結融解の繰返しにより劣化しやすいのは、海水にさらされることにより表層部の細孔構造が粗大化して凍結水量が多くなることが原因であると考えられる。

本研究の遂行にあたり、ご協力いただきました島田建設株式会社 安藤輝夫副社長、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) T. C. Powers: A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete, Proc. of ACI, Vol. 41, pp. 245~272, 1945
- 2) 鮎田、林: 微小モルタル供試体の強度に及ぼす炭酸化の影響、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、pp. 105~108、1981
- 3) 鮎田、林: 海水にさらされたコンクリート露出面の強度性状、セメント技術年報 36、pp. 349~352、1982
- 4) 須藤儀一、秋葉徳二、新井政和: セメント硬化体の凍結融解に関する DTA 法による研究、セメント技術年報 XXIX、pp. 78~81、1975

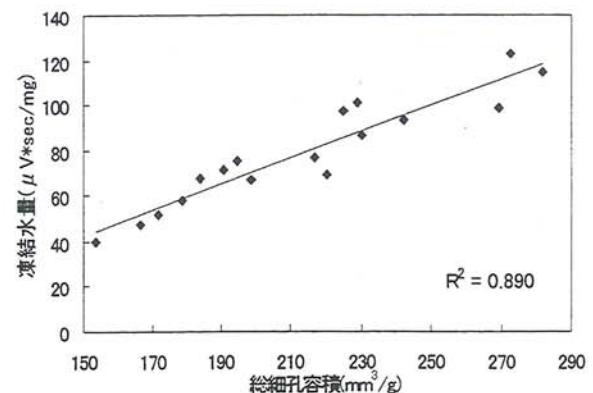


図-9 総細孔容積と凍結水量の関係

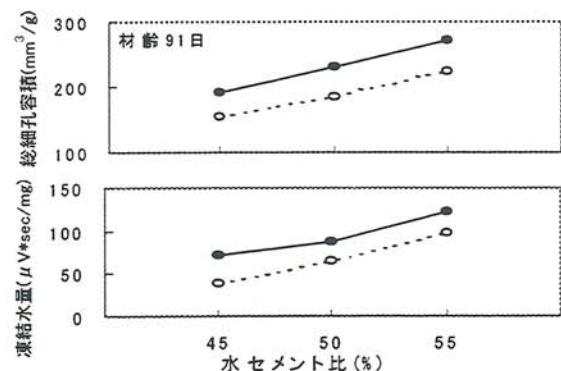


図-10 水セメント比の影響

免震装置の低温環境における性能向上の研究

Study on Performance Improvement of Lead Rubber Bearing (LRB)
under Low Temperature Condition

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）
斎藤 隆行（島田建設株式会社）

Toshiyuki OSHIMA (Kitami Institute of Technology)
Shuichi MIKAMI (Kitami Institute of Technology)
Tomoyuki YAMAZAKI (Kitami Institute of Technology)
Takayuki SAITO (Shimada Construction Ltd.)

Key words : LRB, low temperature experiment

1. まえがき

本論文では鉛プラグ入り積層ゴム支承 (Lead Rubber Bearing, LRB) の極低温条件 (-30°C) を含めた低温時の振動特性のうち、等価剛性と等価減衰に着目して、実験的研究を行ったのでその結果を報告する。橋梁の免震設計については平成4年に公表された建設省の「道路橋の免震設計法マニュアル（案）」²⁾によって本格的に実用化できる指針が示された。また建築の分野では免震構造の実例が多く⁵⁾、阪神大震災でもその効果が發揮された。さらに平成8年11月に出版された新しい道路橋示方書・同解説V耐震設計編¹⁾では免震設計を推奨しており、今後ますます構造物の免震化が進められるものと思われる。一方、環境条件が低温になると、ゴムのせん断剛性が増加することが知られている^{3), 4)}。その増加の程度は-30°Cで常温の2倍程度、-50°Cになると1000倍程度にまで増加する。文献¹⁾では低温環境として-10°Cまでについて述べられており、それより低温の-20°C、-30°Cの範囲については実際の実験結果などを根拠として実用化されるべきものとなっている。したがって低温下での実証データが必要である。低温条件の厳しい北海道においてはこれまでに、建築の分野ですでに帯広の寺院や釧路の病院の建物等に13箇所の施工事例があり、橋梁の分野でも検討が必要となっている。

本研究の実験では大型低温実験室に振動台を設置し、実際の現象を正確に再現できるシステムを用いて、-30°Cまでの低温条件について様々な実験を実施したのでその結果について報告する。結論的には-30°C程度までの低温条件に対して LRB の特性の変化を考慮した上で設計すれば所要の免震効果を期待できるものと思われる。

2. 実験概要

2.1 供試体および実験装置

供試体は現在北海道北見市において建設を計画している3径間連続コンクリート曲線箱桁橋の免

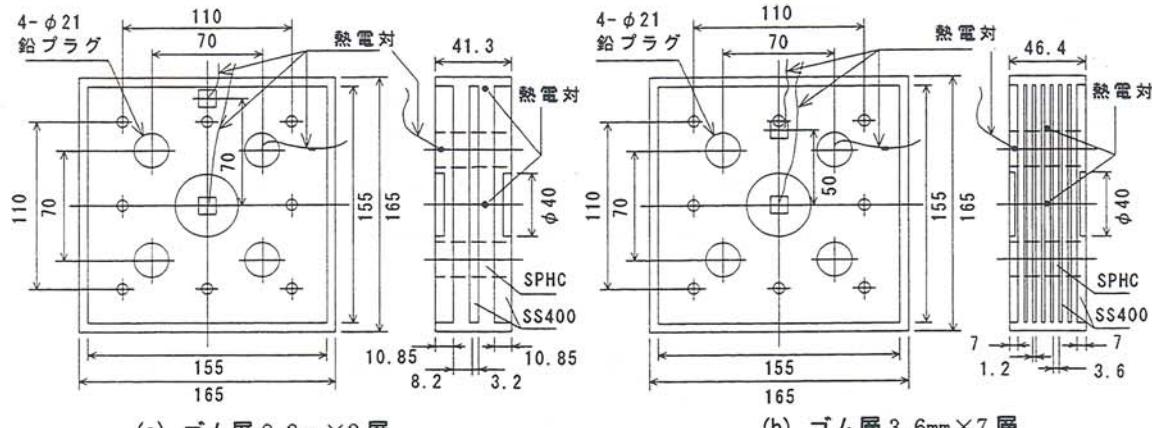


図1 供試体(a), (b)

震支承を対象として、図1(a), (b)に示す二種類の鉛プラグ入り積層ゴム支承を用いて実験を行った。供試体(a)はゴム層 $8.2\text{mm} \times 2$ 層、供試体(b)はゴム層 $3.6\text{mm} \times 7$ 層で振動させたことによって内部温度がどのように変化するのか調べるために熱電対を鉛プラグおよび積層ゴムの中心側と外側に付けた。供試体の目標設計値は、実験装置の容量等を考慮に入れて、せん断ひずみ $\gamma = 175\%$ 、等価剛性 $K_{eq} = 1227\text{kN/cm}$ 、等価減衰定数 $h_{eq} = 19.3\%$ 、降伏荷重 $Q_d = 1177\text{kN}$ 、 K_1 (第1剛性) $= 5313\text{kN/cm}$ 、 K_2 (第2剛性) $= 817\text{kN/cm}$ と決定した。実際の設計計算においては動的応答解析

の結果から1箇所の支承位置において合計で 1000tf 程度(中間橋脚上)の分担力となっている。

振動実験装置は図2に示すように振動台(アクチュエータ)と鉛直載荷用のジャッキで構成されている。実験は供試体を振動台上に設置し、供試体の上部を固定して鉛直荷重をかけ振動台を水平方向に加振する方法で行った。本実験の振動は正弦波加振10サイクルとし、振動制御はコンピューターを通じて正弦波の振幅、周波数等をセットし供試体を加振する。データ計測は加振された供試体のせん断変位およびせん断力と供試体内部温度とした。温度データは熱電対でCard Scope II(共和電業製)により記録し、せん断変位およびせん断力は振動台(アクチュエータ)のデータとし振動制御装置を通じてデータレコーダに記録した。

2.2 実験条件

冬期に橋梁が冷却された時の状態を想定して供試体を実験装置に設置し鉛直荷重をかけた状態で実験室内的温度調節を行い、室内全体の冷却を行った。低温試験として温度条件を常温+20°Cおよび低温0, -20, -30°Cとし、試験は供試体内部温度が条件温度となった直後に行った。また耐寒試験として-20°Cおよび-30°Cにおいて供試体を20日間連続冷却し、その間に試験を行った。この間の実験室及び免震装置の温度は一定である。試験を行うと供試体温度が変化するので、供試体温度と環境温度の差が無くなつてから試験を行った。その他の実験条件として、せん断歪 $\gamma = 60, 150, 175\%$ (せん断変位)、振動周波数2, 1, 0.5, 0.25Hz、5, 10, 15tf(面圧20.8, 41.6, 62.4kgf/cm²)を種々変化させて試験を行った。

2.3 データ解析内容

免震支承の特性の変化は、等価剛性、等価減衰定数により検討した。等価剛性は図3にあるよう

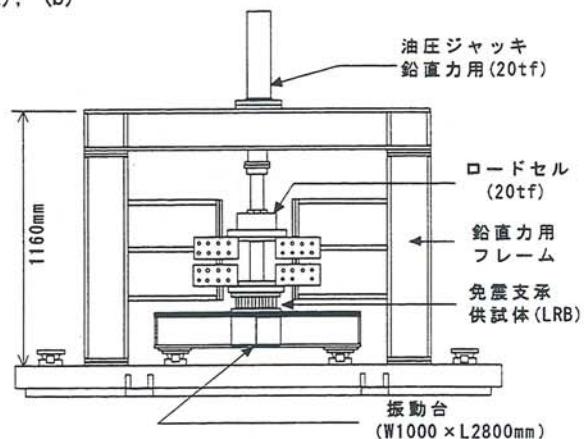


図2 振動実験装置

に道路橋示方書に従ってせん断変位、せん断力の正負の最大点を結ぶ斜線の傾きより求め、等価減衰定数も同様に履歴曲線によって囲む面積 ΔW を数値積分によって求め、上記の2点を結ぶ斜線からなる三角形ABCの面積Wをして $\Delta W/\pi W$ により求めた。履歴曲線はサイクルによって変化するため、ある程度安定していく7サイクル目を採用した。また供試体内部のゴム層および鉛ブレグ中に埋め込んだ熱電対(図1参照)により、供試体内部温度を加振前から加振停止後までの変化を連続的に計測し、環境温度の違いによる免震装置内部の温度変化について調べた。

3. 低温試験による等価剛性および等価減衰定数の変化

3.1 周波数の影響

表1の(I)の試験条件で、周波数の違いによる、環境温度変化に伴う等価剛性・等価減衰定数の変化を比較した。常温時の履歴特性を図4に、環境温度を下げていった場合の等価剛性・等価減衰の変化を図5に示す。等価剛性において周波数2Hz以外では周波数の違いによる差は余り見られない。これは図4より周波数2Hzでは機械の追随性の関係から設定変位よりも小さい変位で振動する傾向が見られたための影響と考えられる。周波数2Hzの場合以外の等価剛性の値は、環境温度が+20°Cから-10°Cと低下した場合は+20°Cの場合より少しだきくなる程度であるが環境温度が-10°Cから-30°Cと低下すると先程と異なり大きな値を示すようになる。この事から環境温度が-10°C以下となる地域で免震装置を用いる場合には特に剛性の増加に対する配慮が必要である。

また等価減衰定数においては振動数の違いによる差は余り無いがその差は環境温度が低下するに連れ更に小さくなる傾向が見られる。環境温度が+20°Cから-10°Cと低下した場合、振動数2Hzの場合は等価減衰定数の値はほとんど同じであるが、これは周波数2Hzでは機械の追随性の関係から設定変位よりも小さい変位で振動する傾向が見られたための影響と考えられる。他の振動数では環境温度+20°C時の約0.9倍前後の値を示している。

また環境温度が-10°Cから-30°Cと低下した場合、等価減衰定数は-10°C時の0.83~0.93倍の値を示すようになる。

3.2 鉛直荷重の影響

表1の(II)の条件で、鉛直荷重の大きさの違いによる、環境温

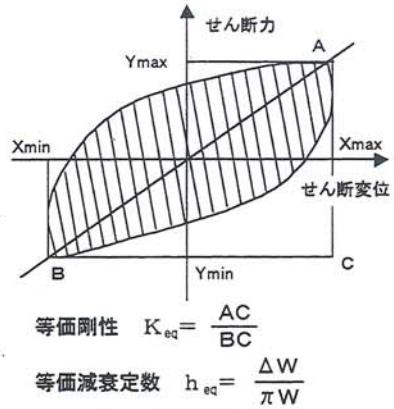


図3 等価剛性・等価減衰定数の定義

表1 低温試験の条件

		供試体(a)	
せん断歪		60%	175%
環境温度 (°C)		+20 -10 0 -30	+20 0 -10
周波数 (Hz)	2 1 0.5 0.25	1 1 1 1	1
鉛直荷重 (tf)	15 10 15	5 10 15	15
実験番号	(I) (II) (III) (IV)	(I) (II) (III) (IV)	(I) (II) (III) (IV)

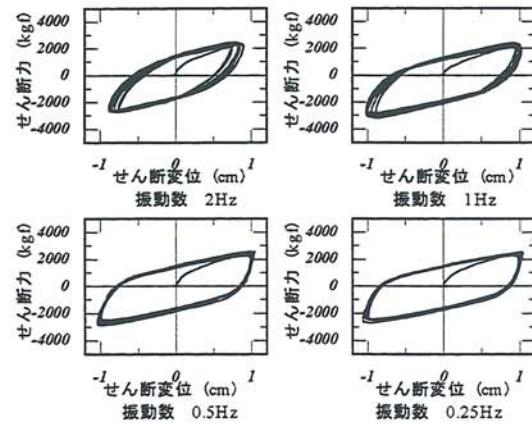


図4 +20°Cの場合の履歴特性

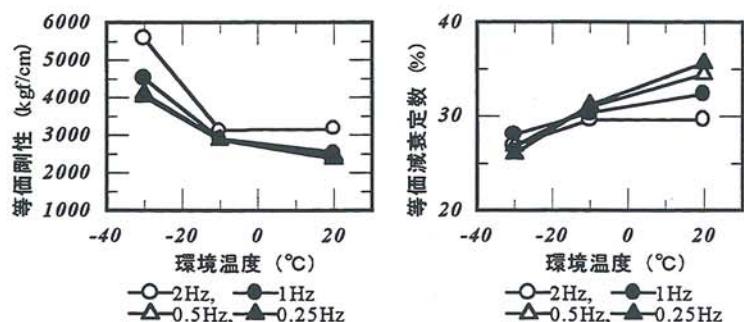


図5 周波数が異なる場合の等価剛性と等価減衰定数

度変化に伴う等価剛性・等価減衰定数の変化を図6に示す。等価剛性では鉛直荷重が大きい方が僅かに大きな等価剛性を示しているが、鉛直荷重の大きさの違いによる等価剛性の差は-30°Cで10%程度で、全体としては小さい。また鉛直荷重の大きさに関わらず環境温度が+20°Cから-10°Cと低下した場合、等価剛性はあまり変化しなかったが環境温度が-10°Cから-30°Cと低下した場合、多少大きな値を示す傾向になっているが、この実験結果のみから結論づけるには無理がある。

また、実際の免震装置の設計においては鉛直荷重の面圧を 60kgf/cm^2 程度にしているものが多いようである。

等価減衰定数では鉛直荷重が大きくなると等価減衰定数も大きくなる傾向が見られ、鉛直荷重の大きさは減衰効果に大きく影響すると考えられる。また、鉛直荷重が15tfの場合は環境温度が低下するに伴って等価減衰定数が減少しているがその変化は小さい。

3.3 振幅の影響

表1の(III)、(IV)の条件で、振幅の大きさの違いによる、環境温度変化を伴う等価剛性・等価減衰定数の変化を図7に示す。せん断変位の大きい方が等価剛性は小さい値を示す。また環境温度が+20°Cから-10°C低下した場合、せん断変位の大小に関わらず等価剛性は+20°Cの場合とあまり変わらない。また、環境温度が-10°Cから-30°Cと低下した時、せん断変位の小さい方が等価剛性に増加の傾向が見られる。

なお、図中の△印は供試体(b)においてせん断ひずみ150%とした場合の結果であるが参考までに表示した。

振幅の大きさの違いによる等価減衰定数の変化は供試体(a)の場合においてはせん断変位が大きい場合($\gamma=175\%$)に40%程度等価減衰定数が低下する傾向となっており、同様に温度依存性はあまり見られない。また等価剛性と同様、供試体(b)に関する結果を参考までに△印で表示した。

4. 耐寒試験による等価剛性および等価減衰定数の変化

耐寒試験は供試体(b)を用いて行った。図8は環境温度-30°C、-20°Cにおいて20日間の耐寒試験

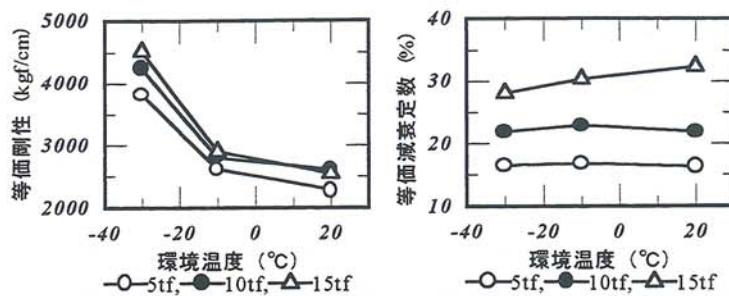


図6 鉛直荷重が異なる場合の等価剛性と等価減衰定数

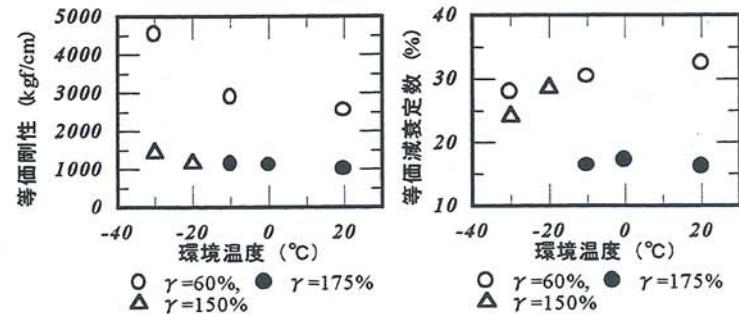


図7 振幅が異なる場合の等価剛性と等価減衰定数

4. 耐寒試験による等価剛性および等価減衰定数の変化

耐寒試験は供試体(b)を用いて行った。図8は環境温度-30°C、-20°Cにおいて20日間の耐寒試験

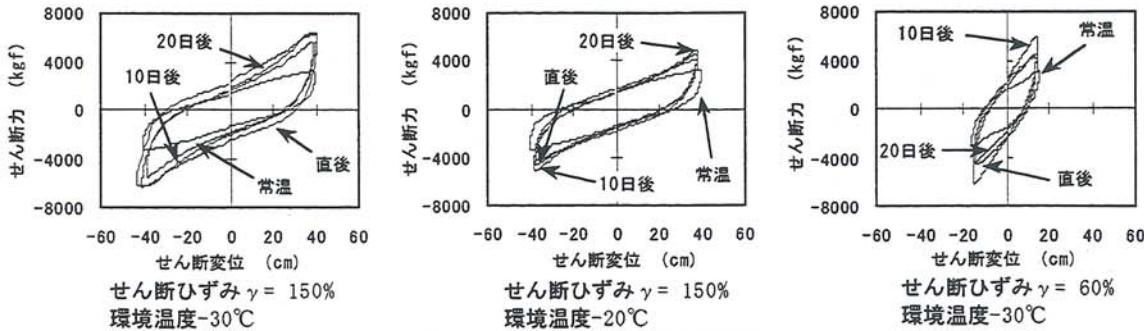


図8 耐寒日数による履歴特性

をしたときの履歴特性である。図9は耐寒日数による等価剛性の変化を表したものである。図9(a)のグラフの縦軸は等価剛性とし、横軸については、環境温度が一定のとき、耐寒日数の影響がわかるように、環境温度に耐寒日数を乗じた積算寒度 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{day}$) を用いた。図9(a)より、せん断ひずみ 60%で耐寒日数の経過によって等価剛性に変化が見られる。この変化は環境温度-30°Cの時に明確に表れている。このことは、-30°C以下の低温においてゴムの特性の変化や、免震装置そのものの凍結によるものと思われる。また、環境温度の違いによっても等価剛性に差が表れ、先程と同様に環境温度-30°Cの等価剛性は-20°Cの約 1.5 倍程度である。せん断歪み 150%においても環境温度の違いによる差は表れているが、せん断ひずみ 60%と比較すると小さい。また、経過日数が進むにつれ、環境温度-30°C、-20°Cともに等価剛性は増加していき最大 30%程度高くなっている。以上より LRB の低温下長時間の使用については、多少の剛性の増加を考慮する必要があると思われる。

図9(b)は環境温度-30°C、-20°Cにおいて20日間の耐寒試験をしたときの等価減衰定数である。グラフについては等価剛性と同様である。グラフより、耐寒日数の経過に伴い等価減衰定数は減少している。また減少は積算寒度で-300°C·dayまでであり、それ以降はほぼ一定の値となる。この減少率は積算寒度 0°C·day の時と比較すると約 17%であり、常温時と比較しても 18%と大差はない。せん断ひずみについては、せん断ひずみ 60%とせん断ひずみ 150%では約 1.3 倍程度の差があり、この低温時のせん断ひずみによる等価減衰定数の差は耐寒日数が経過してもほとんど変化しない。このことから、等価減衰定数の環境温度に対する特性は、低温下で長時間放置すると減少するが、積算寒度で-300°C·day で安定し、その減少率は 17%程度である。

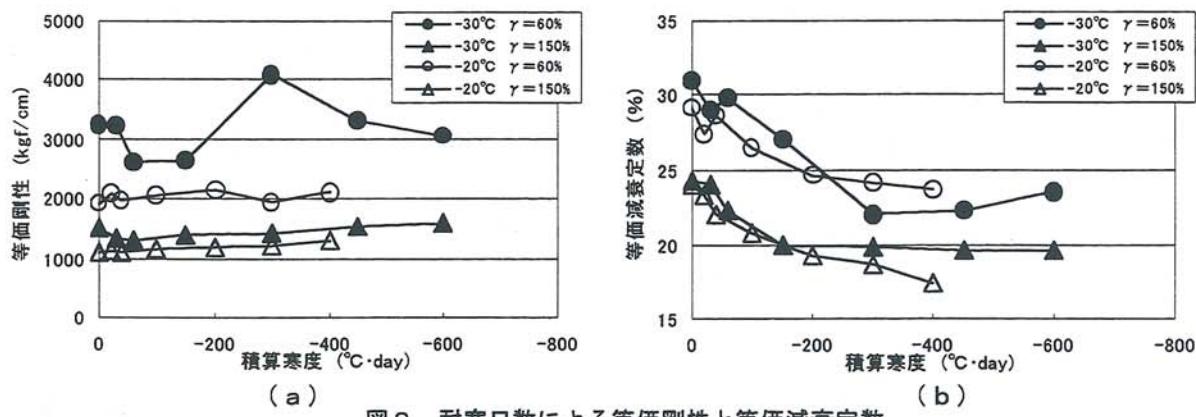


図9 耐寒日数による等価剛性と等価減衰定数

5. 低温条件下における試験時供試体内部温度の変化

図10は供試体(b)、せん断歪み 150%で環境温度+20°C、0°C、-30°C直後の供試体内部の温度変化を表したものである。環境温度+20°Cの時、温度上昇は鉛が最も高く、次にゴム内部、ゴム外部となっている。環境温度 0°Cにおいても同様の傾向が見られる。またこのときの上昇温度は鉛で 60°C、ゴムで 20°C程度である。環境温度-30°Cでは鉛とゴム内部・外部とともに同じ温度上昇を示した。このとき鉛の上昇温度は 30°C程度であるので、常温時に比べ低温下では鉛の温度上昇は小さくなつ

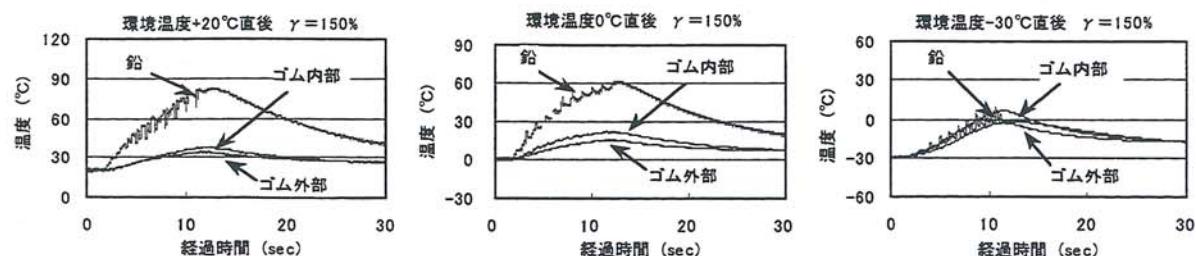


図10 環境温度の変化による供試体内部温度

ている。一方、ゴムは低温下においては常温時よりも温度上昇は10°C程大きくなっている。これからLRBは環境温度により振動で発生する内部温度の変化の傾向が異なり、低温になると温度上昇の割合は鉛が減少、ゴムは増加するという傾向が得られた。

図12は供試体(b)で環境温度-30°C、経過時間1日後の内部温度変化を表したものである。せん断ひずみの大きい方が温度上昇も高いことがわかる。また、振動開始後からどちらも内部温度の上昇が始まる。せん断ひずみ60%では鉛とゴムは同じ温度上昇をするが、せん断ひずみ150%ではゴムの温度上昇が高い。せん断ひずみの違いによる上昇温度の差は、鉛で10°C程度であり、ゴムは内部で30°C、外部で15°Cである。これから、鉛の温度変化は環境温度によるものであるのに対し、ゴムの温度上昇は環境温度によるものと、せん断ひずみの違いによっても傾向が異なることがわかる。

6 結論

実験により得られた結果から免震支承の低温下の特性をまとめると、以下の通りである。

- (1) 周波数の違いによる免震装置の振動特性への影響は小さい。
- (2) 鉛直荷重の大きさが異なる場合、等価剛性にはその影響が余り見られなかつたが、等価減衰定数では鉛直荷重が大きくなるとその値も多少大きくなる傾向がある。
- (3) 加振振幅の大きさが異なる場合、振幅の小さい方が環境温度の影響を受けやすい傾向がある。
- (4) 環境温度が-30°C程度に低下してゴムの剛性が増加しても免震装置の振動特性は大きく変化しない。
- (5) 長時間低温状態でのLRBの等価剛性は最大30%程度増加する。また等価減衰定数は減少するが、時間経過と共に安定し、その減少率は約17%程度である。
- (6) LRBの振動時内部温度変化は環境温度の影響を受け、低温下でゴムの温度上昇は大きくなり、鉛は小さくなる。

以上より-30°Cまでの低温環境における鉛プラグ入り積層ゴム支承の振動特性が得られた。しかし、本格的に実橋に活用していくためには更に低温(-50°C程度)の場合の特性や他の種類の免震装置との比較など、今後検討すべき課題も多い。北海道のような冬期が長期間にわたる地域においてのLRBの使用については、今回の実験より得られた低温特性を考慮した動的振動解析により設計許容範囲内に入るか否かを照査する事が望ましい。

本実験の遂行に当たっては、オイレス工業(株)の下田、池永、長谷川の各位および土木開発工学科橋梁・構造工学研究室の皆さんに御協力いただきました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説V 耐震設計編, 1996.12
- 2) (財)土木研究センター:道路橋の免震設計法マニュアル, 1994.10
- 3) 戸原晴彦編:改訂新版 防震ゴム, 現代工学社, 1975
- 4) 大島, 三上, 山崎, 久保, 長谷川, 松井:免震装置の低温条件における免震効果のシミュレーション, 第1回免震・制震コロキウム講演論文集, 土木学会耐震工学委員会, 1996.11
- 5) (財)日本建築センター:免震構造建築物ーその技術開発と地震観測結果ー, 平成4年11月

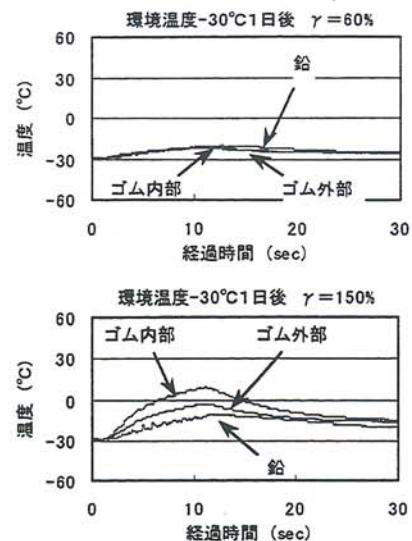


図12 せん断ひずみの違いによる
内部温度変化

がいし絶縁特性監視システムのデータ解析

Data Analysis of Monitoring System for Insulator Insulation Characteristics

菅原宣義（北見工業大学工学部電気電子工学科）
保刈和雄（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）
斎藤昭弘（北海道電力株式会社旭川支店）

Noriyoshi Sugawara (Kitami Institute of Technology)
Kazuo Hokari (Kitami Institute of Technology)
Masanori Hijikata (Kitami Institute of Technology)
Akihiro Saito (The Hokkaido Electric Power Co., Inc.)

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

1. まえがき

冬季の日本海側の海岸は、季節風により波頭が立ち、波飛沫と波の華の飛来により海岸線一体が海塩と飛来物で汚染される。この様な状況は、図1に示す初冬の留萌沿岸でも同じ様になる。この様な過酷な気象条件下の日本海沿岸沿いの送電線は海から風で運ばれる海塩で汚損される。強風による海水の飛沫に由来する海塩粒子による汚損は、特に、冬季間の日本海沿岸で多く発生する。この季節には海塩を含んだ雪の付着と冠雪、さらにこれらの融雪水によるつららの形成・成長と着氷でがいしの絶縁は低下し、送電に支障を来す可能性がある。著者らは平成3年から苦前送電線にある3カ所の変電所構内に直流漏れ抵抗監視装置とパイロットがいしの拭き洗いデータとの相関を気象条件を考慮して調査してきている。これらの調査結果の一部は既に、がいしの直流漏れ抵抗は塩分汚損の状態や湿度、風向、降雪や降雨等の気象条件に大きく影響されるとして報告してきた（1～9）。

この様な気象条件下のフィールドでの観測データは商用電源の取れる変電所構内等が主な観測点となる。然し、この様な変電所は送電線ルートよりは海岸から内陸に入ったところが多い。事故実績を調べると、塩



図1 荒れた初冬の海（波の華の飛来）

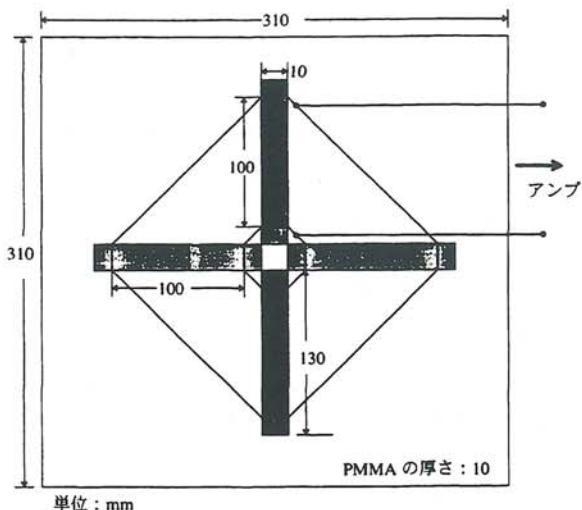


図2 SCOB センサー部分

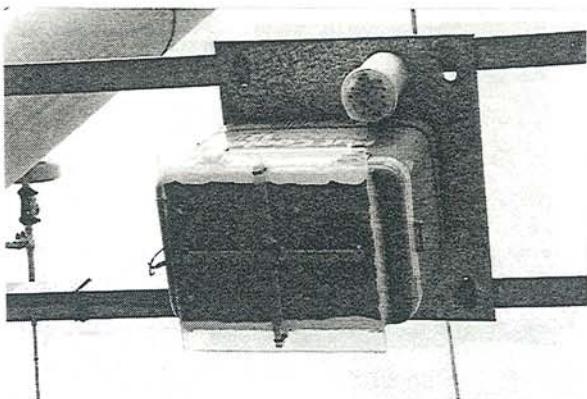


図3 SCOBのフィールド設置状態（下面）

した。実験温度は約28℃一定とした。

がいしとSCOBセンサーの汚損はとのこと塩の混合液をスプレーで吹きかけて行い、実験終了後これらを拭き洗いして、表面の汚損度を測定した。汚損度は、懸垂がいし笠下面で 0.4mg/cm^2 であり、SCOBのセンサーでは 0.424mg/cm^2 であった。

直流漏れ抵抗測定用電源に直流 +100 V を使用した。この電圧は苦前線のがいし絶縁監視装置で使用しているがいしの直流漏れ抵抗測定用電源電圧と同じである。

雪害事故の多くは変電所から離れた海岸に近い送電線ルートで発生している。この様な商用電源の無いパンザーマストのがいしの汚損状態を推定するために、平成9年12月からバッテリ稼働型の懸垂がいし笠下面の汚損を推定するための直流漏れ抵抗測定センサー(SCOB(Self-Contained Observation Box))を開発し、フィールドでのデータ収集を行ってきた(8, 9)。図2にSCOBのセンサー部分を示す。また、図3にフィールドのパンザーマストに設置したSCOBを示す。データ記録部分の箱の下面に図2に示すセンサー部分を取り付けてある。この箱の横の円筒形の中には温度と湿度を測定するセンサーを入れてある。漏れ抵抗測定場所での温度と湿度を測定する為である。

観測中の磁器製懸垂がいしの直流漏れ抵抗との相関を取るために、鬼鹿変電所構内にもSCOBを設置してデータ収集し、磁器がいしと比較したところ非常に良い相関関係が得られた。

そこで、実験室内で湿度と温度を任意に変化してより詳細に懸垂がいしの下面の直流漏れ抵抗とSCOBのデータとの相関を調べた。

2. 実験方法

図4に示す実験装置を使用して、SCOBセンサーによる漏れ抵抗と懸垂がいしの笠下面の漏れ抵抗を測定した。これら、SCOBと懸垂がいしはビニールの部屋に入れて、湿度を1時間間隔で40～90%まで変化させた時のそれぞれの漏れ抵抗を1分間隔で測定

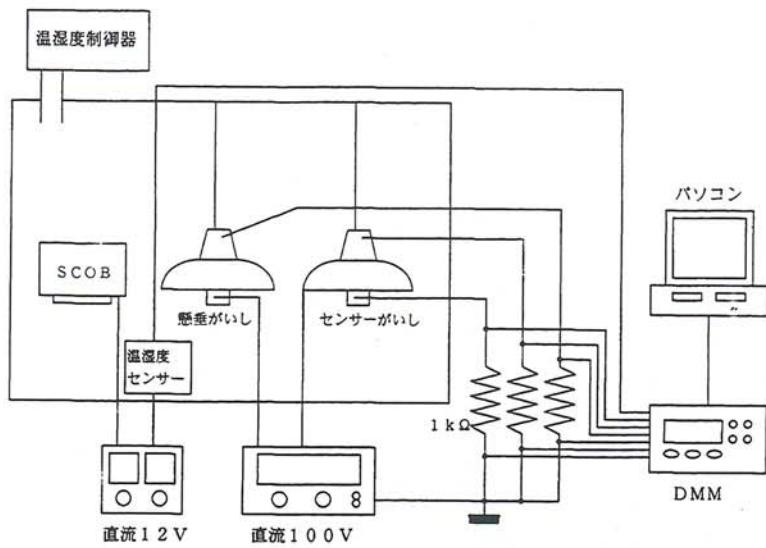


図4 実験装置概略

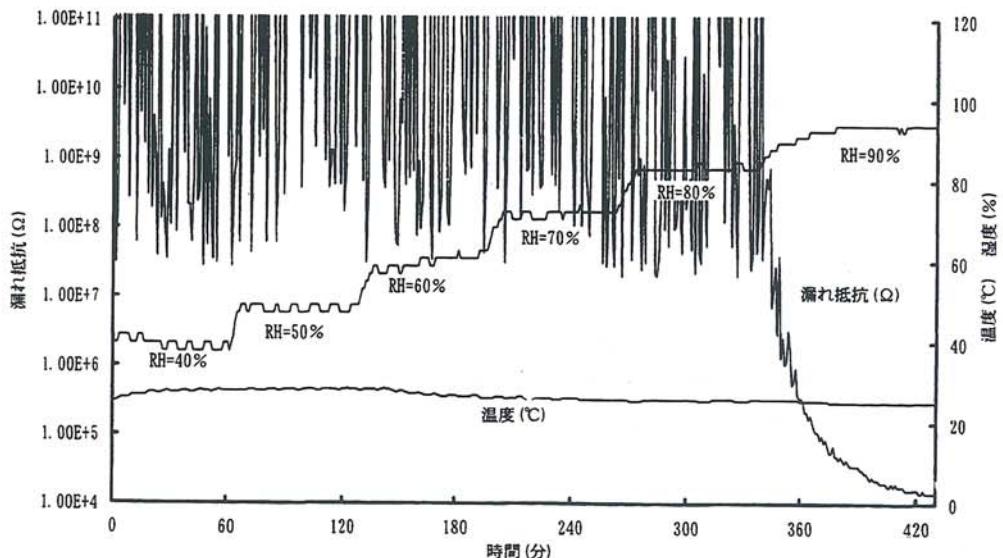


図5 SCOB の漏れ抵抗

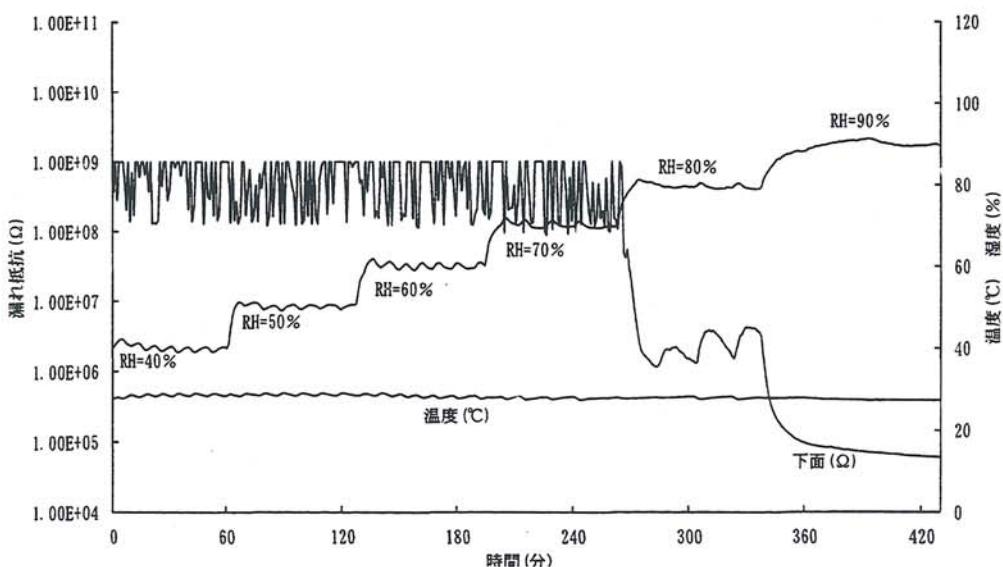


図6 磁器製懸垂がいし笠下面の漏れ抵抗

3. 実験結果と考察

図5にSCOBの直流漏れ抵抗を示す。湿度80%頃から漏れ抵抗が時々低下するときが見られる。然し、湿度が90%に上昇するのに伴って、漏れ抵抗は急激に低下し、 10^4 オーダの低い値に低下した。

一方、磁器製懸垂がいしの笠下面の直流漏れ抵抗は、70%から時々値が低下する傾向にあるが、80%に成ると明らかに漏れ抵抗は 10^6 オーダに低下した。湿度を更に90%に上昇すると漏れ抵抗は更に 10^4 オーダに低下した。

この様に、磁器表面の汚損物質が空気中の水分を吸収して表面の漏れ抵抗を低くすることが判った。また、今回の実験で行った程度の汚損度では、湿度80%程度から明らかな絶縁低下を引き起こすことが判った。この湿度が更に上昇すると、漏れ抵抗も更に低くなつて行くことが明らかとなつた。

然し、SCOBセンサーが湿度80%で明らかな漏れ抵抗の低下を示さなかつたのは、漏れ抵抗測定用のガラスロッドの配置によるものとも考えられるが、今後、更に検討を要する部分と考えている。90%での漏れ抵抗のオーダは、磁器がいし笠下面の漏れ抵抗のオーダと同じであることから、これら両者の漏れ抵抗の特性は良い相関を示すと考えられる。この事が、既にフィールドでの磁器がいしの漏れ抵抗とSCOBの漏れ抵抗との変化特性に良い相関関係がある(8,9)ことが観測されている理由と考えられる。

以上のように、バッテリー稼働型のがいし下面汚損推定用のセンサー、SCOBの有用性が実験室レベルでも確認できた。今後は更に、汚損条件を変えて、これら両者の相関関係を理論化すると共に、SCOBのフィールドでの使用をもっと便利で簡単にするために改良を重ねて行く予定である。

参考文献

- (1) 高山、渡辺、菅原、保苅、土方、佐藤：気象変化と碍子連の絶縁特性（。）－湿度・海風・降雨の影響－、平成3年度電気関係学会北海道支部連合大会、No.76
- (2) 高山、渡辺、菅原、保苅、土方：気象変化と碍子連の絶縁特性（「」）、平成4年電気学会全国大会、No.1186
- (3) 高山、渡辺、菅原、保苅、土方：気象変化と碍子連の絶縁特性（「」）－降雪の影響－、平成4年電気関係学会北海道支部連合大会、No.246
- (4) 保苅、菅原、高山、桑島：気象変化と碍子連の絶縁特性（「」）－湿度変化と漏洩抵抗－、平成5年電気学会全国大会、No.1324
- (5) 菅原、富所、保苅：がいしの漏洩抵抗特性、1994年電気学会高電圧研究会資料、HV-94-4
- (6) 菅原、保苅、斎藤、山内：66kV送電線用ラインポストがいしの含塩着氷による絶縁低下と閃絡現象、平成9年電気学会電力・エネルギー部門大会、No.439
- (7) 保苅、菅原、山内、斎藤：塩雪害地域の絶縁監視システムによるがいしの漏洩抵抗の観測、平成9年度電気関係学会北海道支部連合大会、No.23
- (8) N. Sugawara, Y. Ishida, K. Hokari, M. Hijikata, A. Saito and K. Yamanouchi, "Development of Diagnostic Monitoring System for Insulation Deterioration of Transmission Line Insulators Using DC Leakage Resistance along Heavy Sea-Salt and Snow Accretion Coasts", International Conference on Electrical Engineering, Vol. 1, pp.460-463, 1998
- (9) 菅原、保苅、土方：塩雪害地域送電線用がいしの絶縁監視法に関して、電気学会高電圧研究会資料 HV-98-68、1998
- (10) N. Sugawara, K. Tanishima, A. Saito and K. Yamanouchi, "Insulation Deterioration of a 66 kV Line-Post Insulator Covered with Salt-ice", Annual Report of Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Vol. 1, pp.92-95, 1998

知的教育支援システムの研究

—流れ図作成支援システムのための流れ図診断機能の評価—

Research on Intelligent Computer Aided Instruction System

—Performance Evaluation of Flowchart Diagnostic Capability for Flowchart Tutoring 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 words: flowchart, support system, diagnosis

1 緒言

本学情報システム工学科では数十人の学習者を対象とし、流れ図によるアルゴリズム記述を中心とした体系のプログラミング演習を支援するための知的教育支援システムをリコーシステム開発(北見)と共同開発し、実際のプログラミング演習授業に導入している⁽¹⁾。

このような数十名の学習者を対象とするプログラミング演習授業において、学習者の記述するすべての流れ図の正当性を検証し、それぞれの学習者に適切な指導を行うことは教官にとって大きな負担となる。そのため、学習者の犯す流れ図の誤りを3つに分類し、それらを階層的に診断する階層化知識による流れ図診断法が提案されている⁽²⁾⁽³⁾。

本研究ではこの知的教育支援システムの中で流れ図の作成支援を行う「流れ図作成支援システム」に上述の診断法による診断機能を実装したプロトタイプを作成し、これに過去の演習授業において実際に学習者が作成した流れ図を診断させ、診断能力を評価するとともに、実際の演習現場へ導入する際の問題点を検証する。

2 階層化知識による流れ図診断法

学習者が流れ図を記述する課程で犯す誤りは、予め定められた文法に対する違反である「表記の誤り」、無限ループなど論理的な誤りである「論理的誤り」、与えられた課題に対する適切な解法となっていない「不正解」に分類することが出来る。そのため、流れ図作成支援システムでは流れ図の診断処理全体をこの分類に対応して、「表記法診断」、「論理性診断」、「正解性診断」に分類する。

これらの診断処理をそれぞれ独立した知識源とみなすと、誤り検出の困難さから表記法診断→論理性診断→正解性診断の順に知識レベルが高くなっていくことが解る。そこで流れ図作成支援システムは診断処理を図1に示すような階層構造とする。

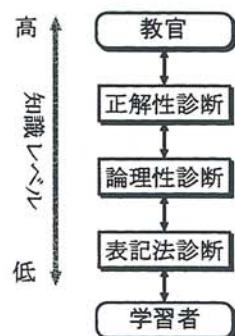


図1：階層化知識による流れ図診断

このように誤りの診断を階層的に行なうことを階層化知識による流れ図診断と呼ぶ。なお、教官は正解性診断でも診断できない流れ図を診断し得る唯一の存在であるため、正解性診断の上位に位置する特殊な知識源とみなすことができる。

2.1 正解性診断

表記法診断、論理性診断では診断に必要な知識（診断知識）は課題の内容に依存しない。そのためこれらの診断処理にはシステムに固定の知識として診断知識を与えることができる。

しかし、正解性診断に必要な診断知識は課題の内容に依存するため、固定的な知識として予めシステムに与えておくことができない。

そこで正解性診断では、課題毎に与えられた正解流れ図（正解例）と学習者の流れ図を比較することにより診断を行う方針を取る。この方針では、正解知識は流れ図表現で与えられるため、正解知識の作成・追加を容易に行なうことができる。

正解性診断には流れ図同士の比較方法の違いから静的診断と動的診断の2つの手法が提案されている。

- 静的診断

学習者と正解例を図的に比較することで診断を行なう。

- 動的診断

実際に流れ図を実行し使われている変数の値をトレース・比較することで誤りの有無を調べ、ダイナミックスライシング⁽⁴⁾を用いることでデータ依存関係と制御依存関係を抽出し誤り原因の特定を行なう。

ここで、データ依存関係とは“ある文の実行において参照された変数の値を決定した文”を、制御依存関係とは“ある文の実行を直接決定した文”を示す。

動的診断は静的診断に比べより柔軟な診断処理を行うことができると考えられる。本稿ではこの動的診断を取り上げる。

2.2 動的診断

動的診断では、まず課題提出時に学習者に対し与えられた課題で重要な変数を着目変数として指定する。同様にあらかじめ教官によって作成される正解例に対しても同一なものを設定する。

次に学習者解・正解例双方を、着目変数の変数値が変化した箇所（これを同期点と呼ぶ）まで実行し、同期点までの履歴情報を作成する。履歴情報とは、“変数値の変化”、“分岐条件の結果”などについての情報が保存されたものである。例として着目変数を LTERM としたトレースの様子を図2に示す。

同期点では、着目変数の変数値を比較する。着目変数の値が一致する場合には学習者解はその同期点までは正解であると判断され、次の同期点までのトレースに処理が移る。

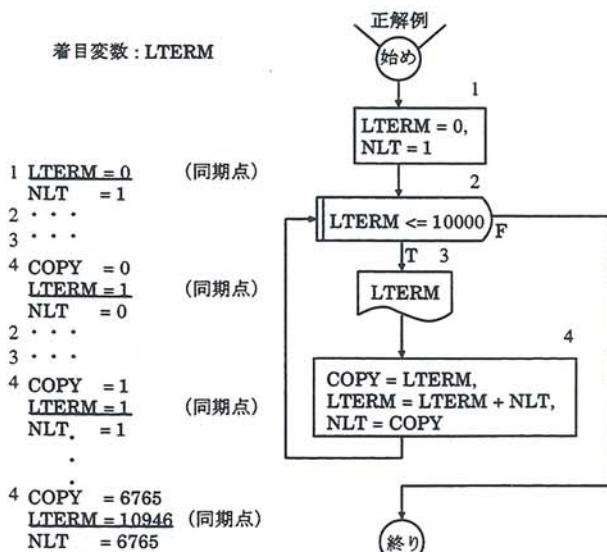


図2: 着目変数のトレース

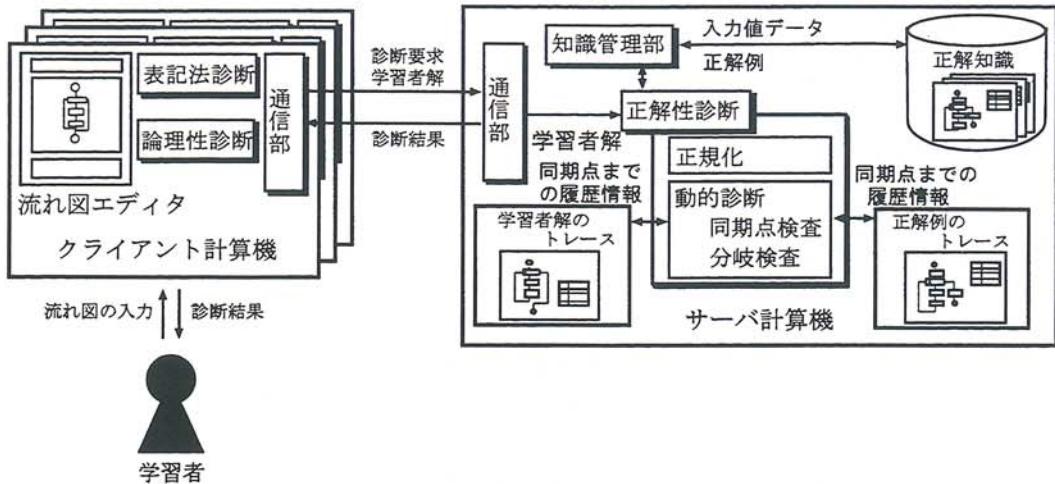


図 3: 評価用プロトタイプシステム構成

着目変数の値が一致しない場合には、学習者解に誤りがあると判断される。そして、同期点における式や着目変数以外の変数値の比較（同期点検査）、同期点に至るまでの分岐条件の分岐状態の比較（分岐検査）を行い、誤りの原因を調査する。

また、正解例のトレースが終了した時点で学習者解の同期点が余分に存在する、あるいは正解例が終了していないにもかかわらず学習者解のトレースが終了した場合には制御依存関係に誤りがあるとみなし、分岐検査を行ない誤りの原因を仮定する。

3 評価用プロトタイプシステムの概要

階層化知識による流れ図診断法の診断性能を評価するために、この診断法による診断機能を備えた流れ図作成支援システムのプロトタイプを実装した。その構成を図3に示す。

正解性診断を行うために必要な正解例は教官により随時追加登録されるため、一箇所で集中管理された方が都合が良い。そのため、プロトタイプシステムは正解例と正解性診断がサーバ計算機上に置かれるクライアント・サーバの構成を取る。

なお、課題には流れ図の実行の際に標準入力からの入力を必要とする内容のものもある。このような流れ図の動的診断を行うためには入力値データのサンプルが必要となるため、これもサーバ計算機上に置かれる。入力値データもまた、正解例同様正解性診断を行うために必要な診断知識であるため、プロトタイプシステムでは正解例と入力値データを合わせて正解知識と呼び、知識管理部で管理している。

学習者の流れ図作成はクライアント計算機上の流れ図エディタで行われる。表記法診断は流れ図エディタに組み込まれており、常に学習者の入力する流れ図を監視している。表記上の誤りが発生すると、リアルタイムにエラーを表示し、学習者に修正を促す。論理性診断も流れ図エディタに組み込まれているが、常時監視は行わず、学習者の要求により論理性の検証を行う。ただし、論理診断は表記の誤りがないことが前提となるため、事前に表記法診断により表記の誤りが存在しないことが確認される。

正解性診断もまた論理的誤りがないことが前提となるため、流れ図エディタは論理的誤りのないと診断された流れ図のみを、学習者の要求によりサーバ計算機上の正解性診断へ送る。

学習者の流れ図を受け取った正解性診断は、まず流れ図の正規化を行う。これは簡単な変形規則により学習者解と正解例の表現の統一を行い、診断を容易にするための処理である。

次に正解性診断は学習者解に対応する課題の正解例を正解知識から取り出し、動的診断による比較を行う。流れ図の実行に標準入力からの入力を必要とする場合には、正解知識から入力値データを取り出し、入

力をエミュレートする。

最後に、正解性診断によって行われた診断の結果がクライアント計算機の流れ図エディタへ返され、学習者に提示される。

4 評価実験

4.1 実験方法

流れ図診断の有効性と実用化の問題点を探るため、実際に過去の演習で学習者により作成された流れ図を前節のプロトタイプシステムに診断させ、診断能力の評価を行った。

評価に用いた流れ図データは平成10年度の情報システム工学演習で出題された3つの課題に対し学生が作成したものである。

実験はすべての学習者解に対して以下のような手順で行なった。

まず、学習者の流れ図データに対し、表記法診断、論理性診断を行なう。それぞれの診断で誤りが検出された場合、表記法の書式に沿わないなどの単純な誤りについては、”学習者が診断結果を用いて流れ図を正しく直すことができた”と想定してアルゴリズム変化がない範囲で修正し次の診断機能の評価に利用した。

次に、それぞれの課題に対して正解例として最も一般的と思われる解を1つ診断知識として与え正解性診断を行なった。

結果の表はそれぞれの診断で実験を行なったデータ数と診断結果を示す。表記法診断、論理性診断における診断結果は、実際の誤りの数を分母とし、検出された誤りの数を分子として表記されている。一方、正解性診断の診断結果は、実際の正解の数を分母とし、検出された正解の数を分子として表記されている。

4.2 課題1：フィボナッチ数列

問題：うさぎの繁殖モデルを表すフィボナッチ数列について、初期値として0月目の値を0、1月目の値を1とするとき、2月目から20月目まで、各月のうさぎの総数の前月比 r (今月の総数/前月の総数)を計算し、出力するプログラムを作成せよ。またこの値が黄金比1.618に近づくことを確認せよ。

アルゴリズムは比較的単純な課題である。着目変数に前月比 r を指定し診断させた結果を表1示す。

表記法診断と論理性診断はそれぞれ53件、4件の誤りすべてを検出することができた。

正解性診断では、2つの誤りを検出した。1つはループカウンタの初期値の誤りであり、誤りの原因を正しく特定することができたが、もう1つの誤りは原因を正しく特定することができなかった。

この課題の診断に用いた正解例では、2月目から20月目までの先月比を計算するためにループカウンタ変数を2~20まで変化させていた。しかし、この課題ではループカウンタを1~19まで変化させる解答も考えられる。誤り原因の特定に失敗した学習者解は後者のアルゴリズムでループの終了条件を誤り、1~20の範囲でループさせていた。そのため、正解例との比較からループカウンタの初期値が1であることが誤りの原因と診断されてしまった。

この場合、ループカウンタの値を1~19とした正解例を別解として与えることで、誤りの原因を正しく特定できると考えられる。

表1: 課題1 診断結果

総学習者データ数	57
表記法診断実験データ数	57
表記法診断で誤りがあると診断	53/53
論理性診断実験データ数	57
論理性診断で誤りがあると診断	4/4
正解性診断実験データ数	57
正解性診断で正解と診断	36/36
正解性診断で診断失敗	0

4.3 課題2：制御コードの出現回数

問題：エスケープシーケンスを含む任意の文字列を入力するとき、この中に存在する空白、タブ、復改、の個数をそれぞれ数えるプログラムを作成せよ。ただし、文字列の終りを示すEOFの文字は\とする。

この課題は、空白、タブ、改行、それぞれの出現回数を着目変数とするため着目変数が複数あること、入力値データを必要とすることが特徴である。診断結果を表2に示す。

表記法診断は簡単な誤り16件すべてを検出でき
た。

論理性診断は、11件の誤りのうち、特定のある特定の経路で無限ループとなる誤り1件が検出できなかつた。そのため、この学習者解は正解性診断において無限ループを起こし、診断失敗となっている。

その他の学習者解については、正解性診断はすべての正しい流れ図に対して正答であると診断し、着目変数が複数ある場合でも診断可能なことを示した。

表2: 課題2 診断結果

総学習者データ数	56
表記法診断実験データ数	56
表記法診断で誤りがあると診断	16/16
論理性診断実験データ数	54
論理性診断で誤りがあると診断	10/11
正解性診断実験データ数	46
正解性診断で正解と診断	44/44
正解性診断で診断失敗	1

4.4 課題3：再帰的なフィボナッチ数列

問題：フィボナッチの数列の第n項を再帰的に求める関数fib(n)を作成せよ。ただし、フィボナッチの数列は第0項から始まるものとする。またこの関数を用いて、nの値が2から15まで、前の項との比

$$r = fib(n)/fib(n-1)$$

を求め出力するプログラムを作り、rの値が黄金比1.618に収束することを確認せよ。

この課題の特徴はアルゴリズムに関数の再帰を用いることである。前月比rを着目変数とし、診断を行つた。診断結果を表3に示す。

表記法診断と論理性診断では、それぞれ9件と16件の誤りをすべて検出することができた。

この課題では、再帰の方法に工夫をし正解例よりも再帰回数を減らした学習者解があった。この流れ図は正解例と見た目がかなり異なるものであったが、結果である比の変化は同一であるため、正解性診断はこの学習者解を1つの正解例で正解と診断することができた。このことから、動的診断は正解例と学習者解の比較を柔軟に行えることが明らかになった。

また、変数の型を不正確に記述したため、数値計算で正しい結果が得られず正解と診断することができない学習者解が多数存在した。このとき、誤りの場所は特定できたが、変数の型に誤りがあることは検出できなかつた。そこで、学習者解の変数の型や関数の戻り値に厳密な型の定義を行ない、もう一度診断を行なつた結果、正しい流れ図に対してすべて正答であることが診断できた。したがって、正解性診断を用いる場合、学習者には厳密に変数型を定義させる必要があることが解った。

表3: 課題3 診断結果

総学習者データ数	63
表記法診断実験データ数	63
表記法診断で誤りがあると診断	9/9
論理性診断実験データ数	63
論理性診断で誤りがあると診断	16/16
正解性診断実験データ数	43
正解性診断で正解と診断	6/37
型を指定した場合の 正解性診断で正解と診断	37/37
正解性診断で診断失敗	0

4.5 考察

実験の結果より、表記法診断は学習者のすべての誤りを検出すること、論理性診断および正解性診断も高い確率で学習者解の正当性を正しく診断できることが解った。

特に正解診断は動的診断を用いることにより、課題毎に一つの正解例を与えるだけではほとんどの学習者流れ図を診断することができた。今回実験に使用した学習者流れ図が作成されたプログラミング演習授業は講義の後に演習を行うスタイルを取るため、学習者の作成する流れ図はある程度の類似性が見込まれる。このような演習スタイルにおいては、動的診断は有効な手法であると考えられる。

以上より、流れ図作成支援システムにおける診断機能は有効に機能することが確認された。したがって、診断機能の実装により、教官の負担が軽減することが見込まれる。

5 結言

本稿では、プロトタイプシステムと実際に学習者が作成した流れ図を用いた実験により、流れ図作成支援システムの階層化知識による流れ図診断機能は学習者の誤りのほとんどを検出することが可能であり、この機能を実装することにより、教官の負担は大幅に軽減されるものと期待される。

今後は、実用化に向け、教官とサーバ計算機上の正解性診断サーバとの連携を容易にするための各種ツールの作成を行う予定である。

参考文献

- (1) 藤原祥隆, 松西年春, 岡田信一郎, 大鎌広, 後藤寛幸, 黒丸鉄男, 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, pp.1701-1709, (1995)
- (2) 岡田信一郎, 藤原祥隆, 松西年春, 大鎌広, 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, pp.1669-1679, (1995)
- (3) 富士池均, 岡田信一郎, 藤原祥隆, 流れ図作成支援システムにおける誤り診断機能の評価, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.98, No.563, pp.31-38, (1999)
- (4) 下村隆夫, プログラムスライシング技術と応用, 共立出版社, (1995)

雪氷・汚泥等の付着防止機能 複合材料の開発とその応用

Development and Application of Nonadhesion Compound

Materials for Snow-Ice and Mire

二俣 正美（北見工業大学工学部機械システム工学科）

中西喜美雄（北見工業大学工学部機械システム工学科）

鴨下 泰久（北辰土建株式会社）

鈴木 実（北辰土建株式会社）

Masami Futamata (Kitami Institute of Technology)

Kimio Nakanishi (Kitami Institute of Technology)

Yasuhisa Kamoshita (Hokushin Civil Eng. Co., Ltd.)

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

Key words: anchi-icing material, thermal spray coating, fluorocarbon, surface modification, composite material

1. 緒言

北海道のような積雪寒冷地域では、各種構造物への雪氷（汚泥や土砂を含むことがある）の付着が本来の機能を低下させ、また重大事故を誘発する恐れがある。雪氷の付着を防止、軽減するには撥水性に優れた表面機能を有する材料が有効である。そこで本研究では、耐久性に優れ、大面積を安価に処理可能な表面改質技術の開発を目的に、金属製チューブ内部に超撥水性を有するフッ素化カーボン¹⁾（以下、フッ化ピッチと称す）を充填したワイヤを試作し溶射と同時に両者を複合化する方法（複合ワイヤ法と称す）を検討し、得られた皮膜の評価を行った。

2. 実験装置及び方法

皮膜の作製は、予備実験で求めた表1に示す条件で溶線式ガスフレーム溶射装置を用いて行った。試作ワイヤは、外径3mm、内径2mmの99.7%Alと99.9%Cu製チューブにフッ化ピッチを充填したもので、単位長さ当たりの質量比はAlとフッ化ピッチP（以下、Al/P）で約5:3、CuとP（Cu/P）で約5:1になる。フッ化ピッチの熱的安定

表1 溶射条件

	C ₂ H ₂	O ₂	Air
Gas pressure (MPa)	0.21	0.10	0.48
Gas flow rate ($\times 10^{-3}$ m ³ /s)	0.64	0.31	13.3
Spraying distance (mm)	150		
Traveling speed (m/s)	≈0.7		
Substrate	Aluminum plate		
Wire material	Al / P , Cu / P		
Wire feed rate (mm/s)	60		
Coating thickness (μm)	300		

性は573K以下で、チューブの融点に比べるとさらに低い。溶射に際しては、チューブを十分溶融しなければならない一方、フッ化ピッチについては過熱を防ぐことが必須となる。そこで、ワイヤの供給速度を約60mm/sと通常のソリッドワイヤでの約43mm/sよりも大きく設定し、過熱を極力防止した。試験片は、アルミナグリッドblast法で粗面化した工業用純アルミニウム基板（寸法：75×25×3mm）に、厚さ約300μmにAl/P、Cu/Pの複合皮膜を被覆したものである。

固体表面への雪氷の付着の主因は、その中に含まれる水分子と固体面との分子間力であり、固体面での水の状態、具体的には接触角によって付着の難易度を評価できる。ここでは、各試験片を対象に接触角、ピッチの分散状態とフッ素濃度、接触角と耐候性試験時間の関係、及び皮膜の密着強度などについて検討した。

3. 実験結果及び考察

3.1 接触角の測定

図1に、Al/P皮膜(a)、Cu/P皮膜(b)について測定した接触角 θ を示す（用いた接触角計：協和界面科学、CA-D型）。接触角は体積約1.8mm³の蒸留水を用いた液滴法で、長さ75mm、幅25mmの試験片について5mm間隔で全56点測定した。接触角は、Al/P皮膜で最小が132.6°、最大が146.6°であり、平均は140.9°であった。またCu/P皮膜での平均は139.5°であった。これら複合皮膜で測定された接触角は、アルミニウム溶射皮膜のみでの68.9°、テフロンに代表されるフッ素系ポリマーでの109°と比較して大きな値を示している。

3.2 表面分析の結果

(1) EPMAによる分析

図2に、Al/P皮膜(a)、Cu/P皮膜(b)のEPMA（日本電子、JXA-8900RL）による面分析結果を示す。フッ素濃度(wt.%)は写真中、白と黒の濃淡で表示し、白いほど高く黒いほど低い。フッ化ピッチは比較的良好に分散しているものの一部に見られる偏析によって、図1のように接触角の測定結果にばらつきが生じたと推定される。フッ素濃度の面積割合が最も大きいのはAl/P、Cu/P皮膜ともに濃度0.00~0.12%の範囲で、全体の97.5%を占め、平均濃度はAl/P皮膜で0.86%、Cu/P皮膜で0.93%であった。濃度の低下はフレーム中のフッ化ピッチの飛散や熱分解が原因と考えられる。

(2) ESCAによる分析

図3に、ESCA（島津製作所、ESCA-3200）によって分析したAl/P皮膜のワイドスペクトル(a)

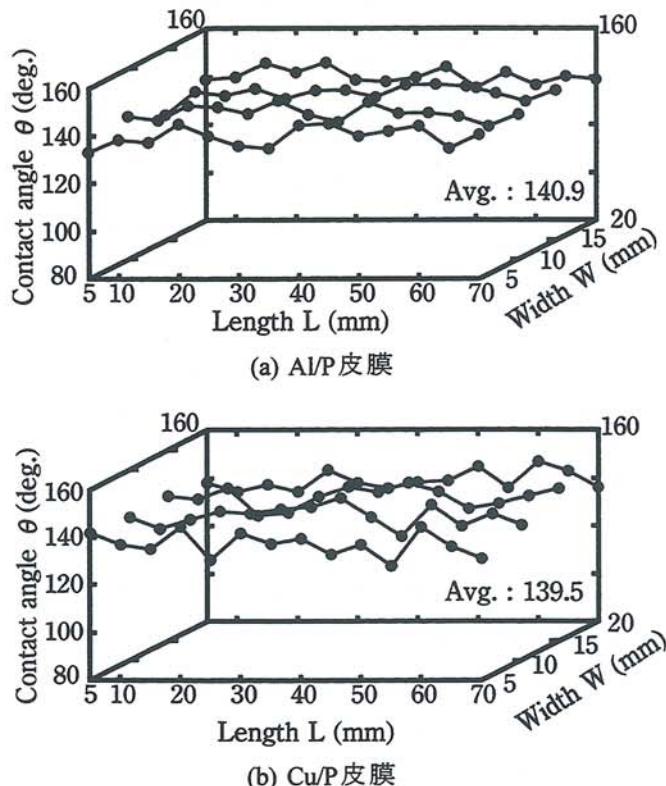


図1 Al/P、Cu/P皮膜の接触角

とナロースペクトル(b)を示す。686.5eVのピークはアルミニウムとフッ素が結合した $\text{AlF}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、689eVのピークは炭素とフッ素が結合したP-($\text{CF}_2=\text{CF}_2$)で、フッ素が1sの軌道でアルミニウム及び炭素と結合していることを示している。

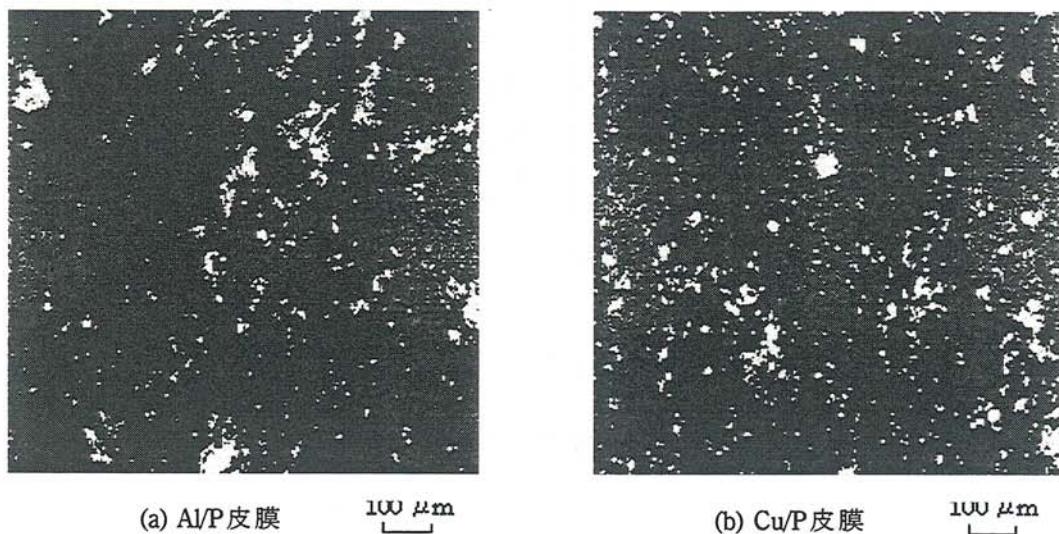


図2 EPMAによる分析結果

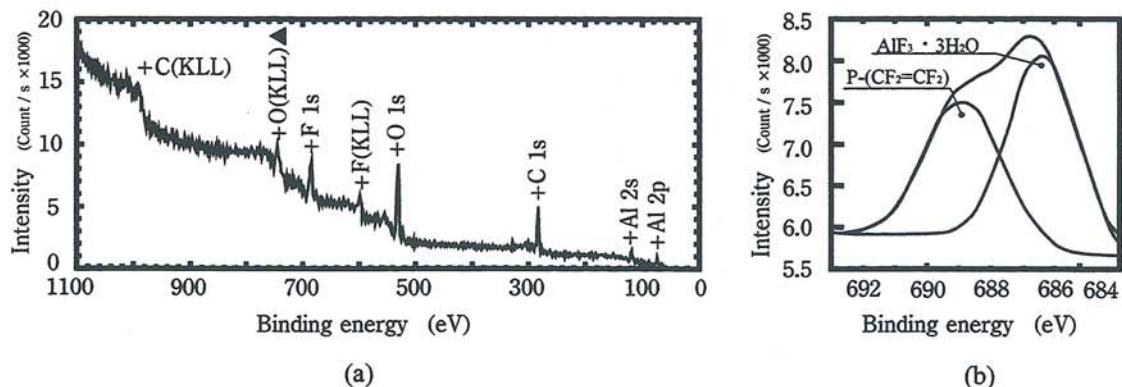


図3 ESCAによるAl/P皮膜のスペクトル

3.3 促進暴露試験

図4に、Al/P皮膜(a)、Cu/P皮膜(b)について紫外線蛍光灯式耐候性試験機（スガ試験機、DPWL-5R型）による暴露時間に伴う接触角の変化を示す。暴露試験は自動車部品の耐候性試験方法(JIS D0205)に準拠し、1サイクルを紫外線照射4時間、暗黒湿潤4時間の計8時間とし、21サイクルごとに接触角を測定し、126サイクル(1008時間)まで行った。Al/P皮膜の接触角は63サイクル(504時間)前後から、場所によるばらつきが大きくなり、それに伴い平均値が低下した。しかし、Cu/P皮膜の接触角はばらつきが比較的小さく、126サイクル経過後の平均は126.1°であった。また、Al/P、Cu/P皮膜ともに最大は常に140°前後の高い値を示した。

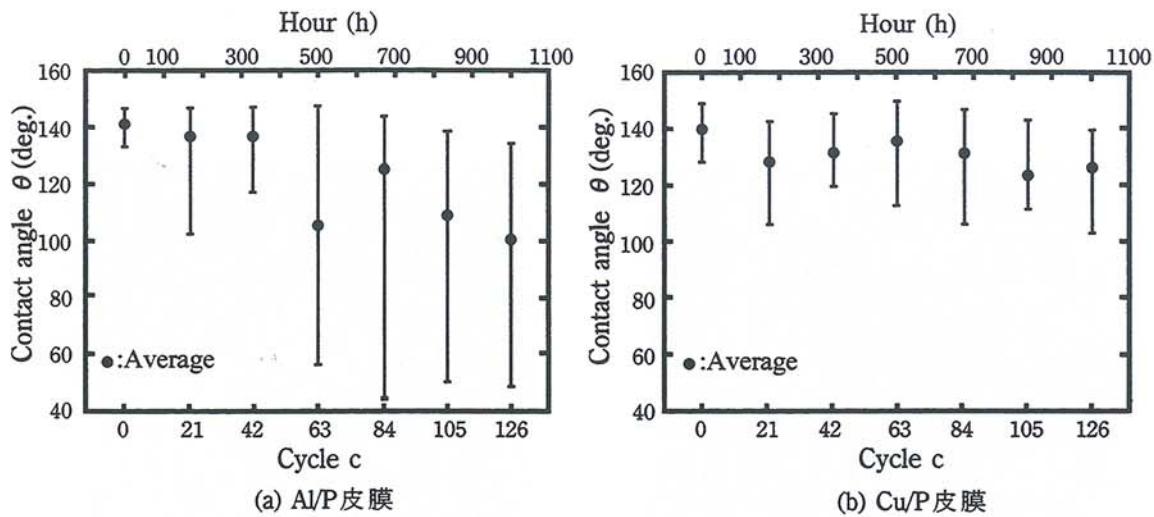


図4 接触角と暴露時間の関係

3.4 密着強度試験

図5に、ソリッドワイヤで作製した皮膜とAl/P皮膜、Cu/P皮膜の密着強度の測定結果を示す。試験はJIS H8666に準拠し、直径25mm、長さ40mmのアルミニウム丸棒端面に皮膜厚さ約300 μ m被覆したものを試験片とし、n数は15とした。アルミニウム及び銅溶射皮膜の平均密着強度は、それぞれ8.68、9.26MPaであるのに対し、Al/P皮膜、Cu/P皮膜での平均は2.77、4.01MPaといずれも低下している。これは溶射皮膜内に存在するフッ化ピッチ部分で、強度が落ちるためと考えられる。

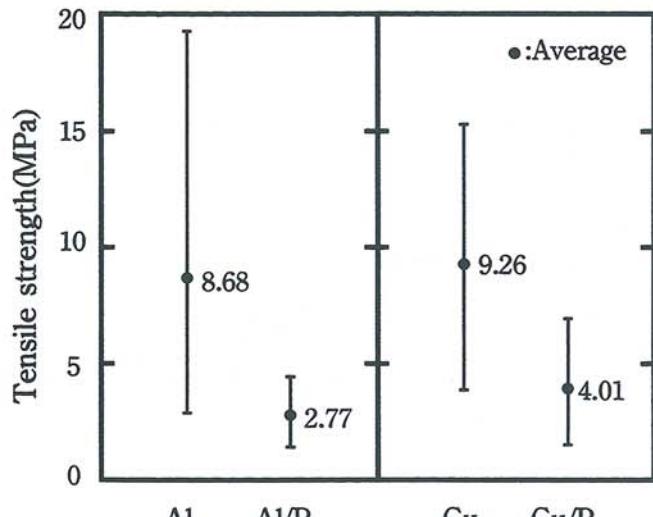


図5 溶射皮膜の密着強度

4. 結言

雪氷の付着防止を目的とした機能性複合材料の開発の一環として、超撥水性を有するフッ素化カーボンと溶射皮膜との複合化を複合ワイヤ法の場合について検討した。暴露試験前後の接触角、ピッチの分散状態、フッ素濃度、密着強度などの評価結果から、本方法の実用化が期待できることが明らかになった。

参考文献

- 1) 前田、斎藤、藤本、平田：化学工学論文集、22-4 (1996), pp. 728-734.

ホローカソード型プラズマジェット装置の開発

Development and Application of Hollow Cathode Type Plasma Jet System

二俣 正美（北見工業大学機械システム工学科）

倉本 宏（株式会社倉本鉄工所）

Masami FUTAMATA (Kitami Institute of Technology)

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

Key words: new plasma-jet torch, hollow cathode, solution materials, thermal spraying, atmospheric chamber

1. 緒言

溶射に用いる従来型のプラズマジェットトーチでは、陽極に相当するノズル端近傍から粉末を供給するのが一般的である。この方法では最も高温なプラズマジェット中心部への粉末の供給が困難であり、未溶融粒子の低減と付着効率の向上を図るために大電流を供給し、プラズマの温度を上げる必要があった。その結果、陽極と陰極の寿命が短くなり、消費電力も大きくなつた。これまでの共同研究では、プラズマ中心部に粉末や溶液の供給が可能で、電極間距離を任意に可変できるホローカソード（中空陰極）型トーチを試作し、液相溶射法と称する新しい薄膜作製法への適用を検討した^{1,2)}。本研究では、ホローカソード型トーチと新規に設計製作した雰囲気制御チャンバーとで構成した液相溶射装置を開発し、大気中とアルゴン(Ar)ガス雰囲気中で薄膜の作製を試みた。

2. 液相溶射装置と薄膜作製条件

図1に、ホローカソード型トーチを搭載した液相溶射装置の概略を示す。ホローカソード型トーチではプラズマ中心部に溶液の供給ができるので、従来型トーチに比べて低電流で溶媒を完全に蒸発することができる。雰囲気制御チャンバーは図2に示すように、内径300mm、長さ500mmの円筒形で、真空ポンプによって20Paまで減圧でき、さらに減圧後に任意のガスを注入し、一定内圧の雰囲気でプラズマを発生することもできる。チャンバーは水冷構

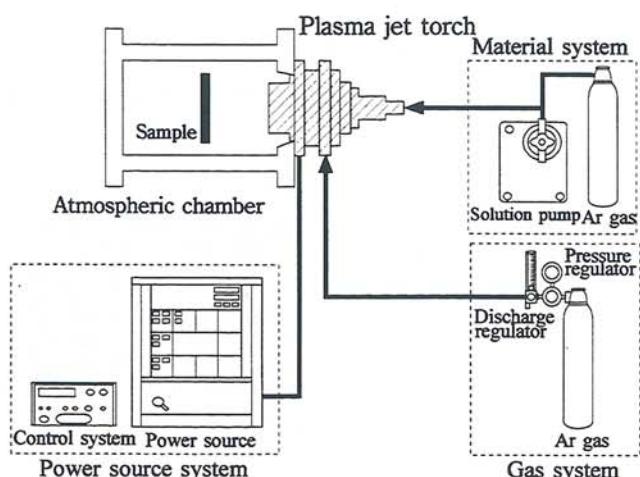


図1 液相溶射装置の概略

造とし、内部には外部操作によって溶射速度を可変できるトラバース装置を備えている。

ここでは、大気中と約 100MPa の Ar ガス中で、電流 100A、溶射距離 100mm 一定とし、溶液供給量をパラメータとしてガラス基板上に薄膜を作製した。溶射材料に相当する液相材料には、金属塩化合物として硝酸鉄(III)9 水和物を飽和状態まで蒸留水に溶解した硝酸鉄溶液、及び有機金属化合物として常温で液体のチタンテトライソプロポキシド（以下、TTIP と言う）を用いた。

3. 実験結果と考察

3. 1 硝酸鉄溶液の場合

硝酸鉄溶液を用いた場合の薄膜について、X線回折分析の結果を図3に、表面SEM写真を図4に示す。(a)、(b)はそれぞれ大気中とArガス中である。薄膜の主成分は溶液の組成及びX

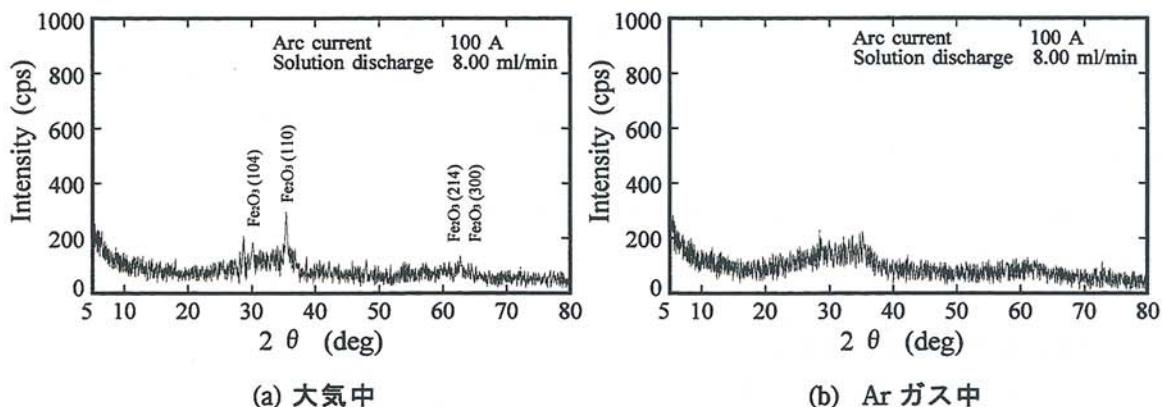


図3 硝酸鉄溶液で作製された薄膜のX線回折分析結果

線回折結果から Fe_2O_3 と見なされるが、結晶構造を示す明瞭な回折線のピークが特に(b)では認められず、アモルファス構造になっているものと推測される。鉄系アモルフアスの臨界冷却速度が $10^4 \sim 10^6 \text{ K/s}$ 程度であることを考えると、液相溶射

での冷却速度はかなり大きいと推定される。薄膜は大気中、Arガス中とともに黒褐色で、亀甲

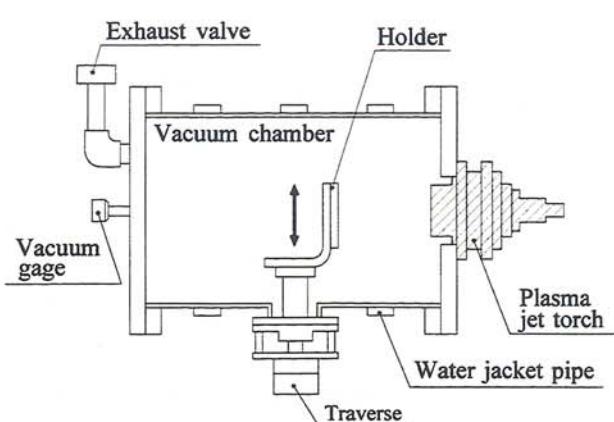


図2 雾囲気制御チャンバーの概略

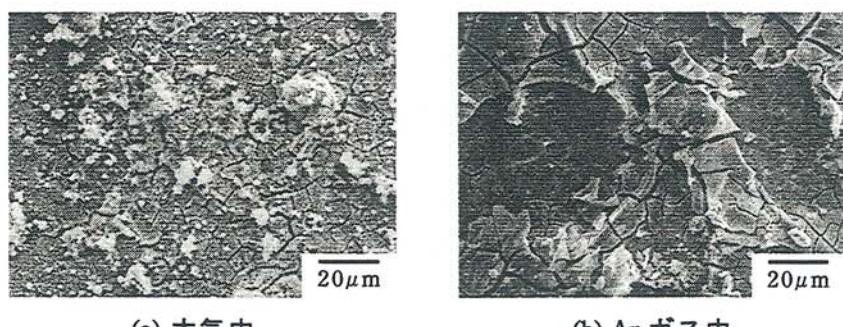


図4 硝酸鉄溶液で作製された薄膜表面の SEM 写真

状の亀裂が見られるが、これは薄膜と基板との熱膨張率の違いによって発生したものと判断される。

4. 1 TTIP 溶液の場合

TTIP 溶液では溶媒の分離・除去は容易であるが、薄膜が水や湿った空気に触ると急激に加水分解し巨大分子に成長するので、液相材料に適しているとは言い難い²⁾。そこで、TTIP と蒸留水を混合し加水分解したコロイド状溶液（以下、TTIP(A)と言う）、及び TTIP と酢酸を混合し加水分解したゾル状溶液 TTIP(B)を用い、薄膜の作製を試みた。

(1) TTIP(A)の薄膜

図 5 に、TTIP(A)を用いて作製した薄膜の X 線回折分析結果を示す。

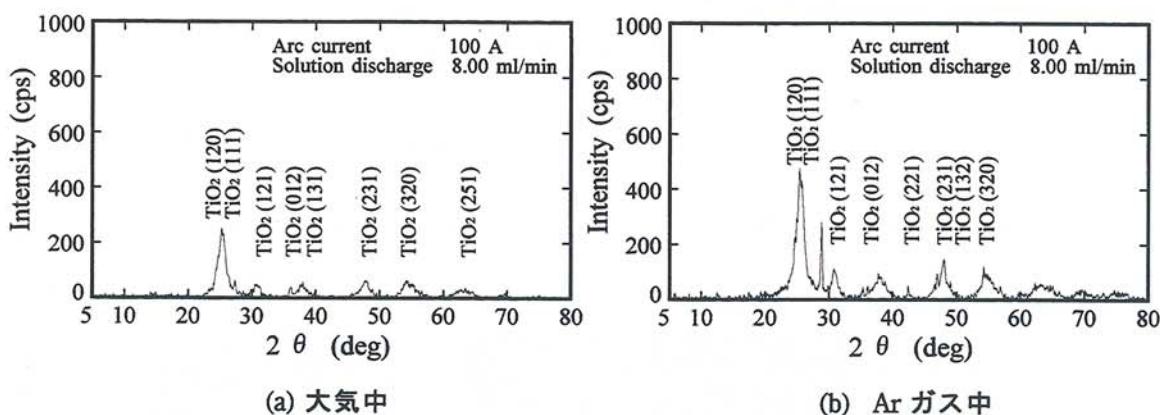


図 5 TTIP(A)薄膜の X 線回折分析結果

(a)は大気中、(b)は Ar ガス中であり、両者の場合ともに酸化チタン TiO_2 の薄膜が形成されている。酸化チタンにはアナタース(Anatase)型、ルチル(Rutile)型、ブルーカイト(Brookite)型の三つの結晶形態があり、図 5 の薄膜の主成分はX線回折結果からブルーカイト型と判断される。ブルーカイト型は三つの結晶形態の中で最も低い温度で生成される。TTIP(A)は調整上、水分を多く含むためプラズマ中での温度が低くなった結果、ブルーカイト型になったものと推測される。また、Ar ガス中では大気中に比べて回折線のピークがさらに明瞭になっている。

図 6 は薄膜の表面 SEM 写真で、(a)は大気中、(b)は Ar ガス中である。白色の表面には大小の粒子が分散しているが、これは TTIP(A)溶液中のゲル状粒子の一部がそのまま付着したものと考えらる。

Ar ガス中ではこの粒子の数が減少し、薄膜全体が平滑になっている。

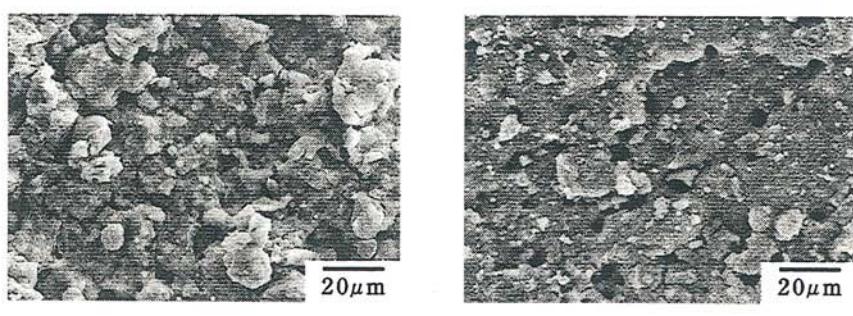


図 6 TTIP(A)薄膜表面の SEM 写真

(2) TTIP(B)の薄膜

TTIP(B)の場合について、X線回折分析結果を図7、表面SEM写真を図8に示す。

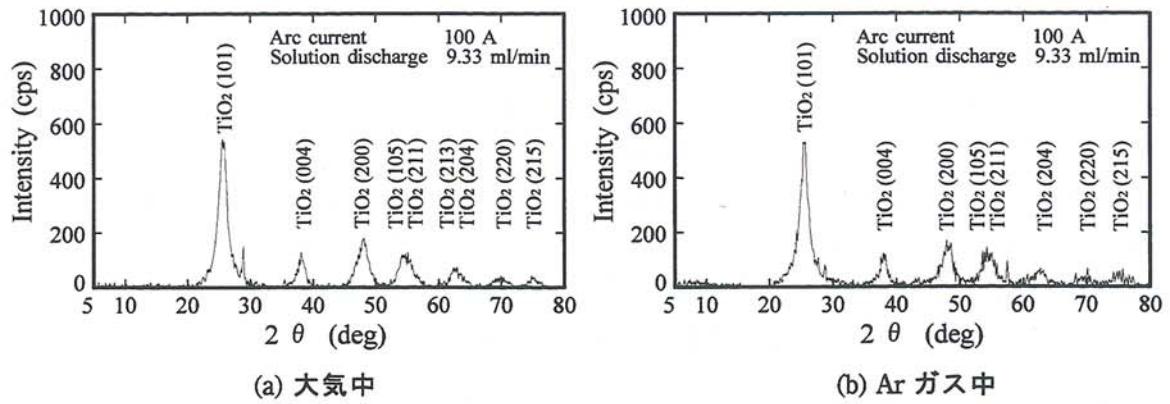


図7 TTIP(B)薄膜のX線回折分析結果

(a)は大気中、(b)はArガス中である。(a)、(b)ともに主成分はアナタース型の酸化チタンである。アナタース型はブルーカイト型よりも高い温度で生成されることから、ゾル状のTTIP(B)ではプラズマ中での加熱効率がTTIP(A)に比べて高いと考えられるが、雰囲気の違いによる顕著な相違は見られない。また薄膜の色は大気中で淡い灰色、Arガス中では濃い灰色で、表面は両者ともに滑らかである。

TTIP(A)の場合と同様、亀裂が発生している。なお、アナタース型酸化チタンは光触媒として最も注目されている物質であるが、液相溶射法では比較的簡単にその薄膜化が可能である。

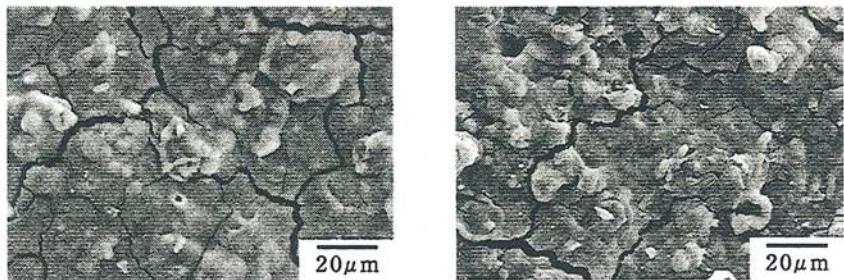


図8 TTIP(B)薄膜表面のSEM写真

5. 結言

ホローカソード型プラズマジェットトーチを搭載した雰囲気制御が可能な液相溶射装置を開発し、硝酸鉄水溶液、TTIP(A)、TTIP(B)溶液を溶射材料として大気中とArガス中で薄膜を作製した。その結果、硝酸鉄水溶液では酸化鉄のアモルファス化が確認され、TTIP(A)では、主成分がブルーカイト型の酸化チタンである白色の薄膜が得られた。またTTIP(B)では、主成分がアナタース型の酸化チタンである灰色の薄膜が得られた。いずれの薄膜の場合にも大気中とArガス中での顕著な相違は認められなかった。

参考文献

- 1)二俣、倉本：多目的型プラズマジェットトーチの開発、北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書、第4号, pp.76–79, 1997.
- 2)二俣、倉本：ホローカソード型プラズマジェットの応用、同上、第5号, pp.55–58, 1998.

バルーン化白土を利用した電磁波シールド材料の開発

Development of Electromagnetic Shielding Board for Building Material using
Vesicated White Sand

二俣 正美（北見工業大学機械システム工学科）

中西喜美雄（北見工業大学機械システム工学科）

林 幸成（北見工業大学電気電子工学科）

佐藤 久隆（美瑛白土工業株式会社）

戸梶 孝（美瑛白土工業株式会社）

Masami Futamata (Kitami Insutitute of Technology)

Kimio Nakanishi (Kitami Insutitute of Technology)

Yukinari Hayashi (Kitami Insutitute of Technology)

Hisataka Sato (Biei Hakudo Industrial Co.,Ltd.)

Takashi Tokaji (Biei Hakudo Industrial Co.,Ltd.)

Key words: white sand, electromagnetic shielding, building material

1. はじめに

電子機器類が広く普及した今日、不要電磁波に起因する各種波障害が21世紀最大の公害になると懸念されてる。電磁波障害（Electromagnetic Interference、EMI）を根本的に防ぐには、建物全体及び各階・各部屋を電磁波シールド材で構成することが現実的対策となるが、大面積を安価に生産可能な実用建材はほとんど見当たらない。本研究は、地域資源の利活用によって電磁波シールド機能の他、抗菌性、撥水性、耐火性、遮音性などの機能を具備した軽量セメント系プレキャストボード（PCボード）の開発を目的にしたものである。ここでは、火山ガラス質白土を焼成して中空発泡球体化したバルーン化白土を主原料に、各種形態の炭素繊維を添加挿入することによって、電磁波減衰量30～40dB以上の実装可能なPCボードを開発することを中心目標とした。

表1 各材料の配合比

2. PCボードの作製と実験方法

2.1 試験片

PC ボードは、セメントとバルーン化白土を主原料とし、電磁波シールド機能の付与に炭素繊維のチョップ・紙・布を添加挿入し、加圧力15kgf/cm²で厚さ約12mmに

材 料	重量混合比 (%)	特 性
セ メ ント	Balance	普通ポルトランドセメント
バルーン化白土	7～40	67.9～70.5 % SiO ₂ 14.9～16.2 % Al ₂ O ₃
塩基性塩化銅	0～10	CuCl ₂ ·3Cu(OH) ₂
炭素繊維	チョップ	0～10 平均繊維長 3mm
	紙	無、有 厚さ 0.5mm
	布	無、有 厚さ 0.6mm

成形したものが主である。試験片には、電磁波シールド評価器の試料保持部の関係から、直径74mmにボードを切り出して使用した。この他、廃乾電池から回収の燃焼灰、故銅から生成の銅化合物粉末、木質系建築解体材のチップなどを添加したボードについても検討した。表1に主な添加材料の配合割合を示し、バルーン化白土、炭素繊維、塩基性塩化銅の概要を以下に記す。

(1) バルーン化白土

ボードに用いたバルーン化白土は、埋蔵量2億トンと推定される上川郡美瑛地区から産出する新第3紀中新世(700~2400万年前)の火山噴出性白土を美瑛白土工業(株)が急速高温加熱処理によって中空発泡球体化したものである。同社では月産約60トンを製造し、商品名「タイセツバルーン」として販売している。主成分は67%Si、13%Al₂O₃で化学的に安定で、かさ密度は0.24と軽量である。さらに耐薬品性、耐火性、断熱性、遮音性にも優れおり、建材の原材料としての基本特性を有している。バルーン化白土の物性値を表1に、SEM写真を図1に示す。

(2) 炭素繊維

電磁波シールド機能の付与には、炭素繊維のチップ(繊維長3~10mm)・紙(厚さ:0.5mm)・布(厚さ:0.6mm)を用いた。これら形態の炭素繊維はセメントの強アルカリに耐え、またボードに混入または挿入した場合の剥離強さは0.3MPa以上で、実用建材に要求される値をいずれも上回ることから、本研究の目的に合致する材料と言える。

(3) 塩基性塩化銅

塩基性塩化銅は、故銅を主原料に生成した無機銅化合物の粉末である。農業用殺菌剤として古くから使用され、その効果と安全性から世界的に需要が伸びていると言われる。用いた塩基性塩化銅は美瑛白土工業(株)が製造したもので、同社は農薬用無機銅化合物の世界の90%以上を製造している(月産約200トン)。塩基性塩化銅、塩基性硫酸銅には病原細菌の増殖を抑制し、腸管出血性大腸菌O-157やメチシリン耐性黄色ブドウ球菌(MRSA)に対しては殺菌的に作用することが確認され、石膏ボードに添加した場合には優れた抗菌効果を発揮することが明らかになっている¹⁾。

2.2 電磁波減衰量測定装置

電磁波シールド材料の評価方法としては、自由空間法、シールドボックス法、同軸伝送線路法などがある²⁾。本研究では同軸伝送線路法に自由空間法の要素を取り入れた同軸キャビティ管法を採用した。図2(a)に試作した同軸キャビティ管を用いた電磁波シールド評価システムの概略、(b)に評価システムの電界強度特性を示す。本装置では、試験片を送信側と受信側の中間にボルト結合し、最大15mmまでの板厚について周波数50~800MHz帯域での減衰量の測定可

表2 バルーン化白土の物性値

項目	
平均粒度(μm)	120
嵩密度	静かさ
	タッピング
水分(%)	0.25
吸水率	140
pH	7.0
水中浮揚率(%)	75



図1 バルーン化白土の電子顕微鏡写真

能である。

3. 実験結果と考察

3.1 バルーン化白土、塩基性塩化銅の電磁波シールド効果

図3にセメントとバルーン化白土（全重量に占める混入割合が20%以下、重量比と言う）のみで作製したボードについて測定した減衰量を示す。周波数帯域によって異なるものの減衰量は最大5dB程度で、シールド効果はほとんど認められない。

図4は、重量比2%の塩基性塩化銅を添加したボードで、この場合にもシールド効果は見られない。電磁波シールド機能の発現には、比導電率／比透磁率、比導電率×比透磁率の大きいことが必要であるが³⁾、図3、4から分かるようにバルーン化白土と塩基性塩化銅自体にはこれら電磁波シールド機能を発現する性質はほとんどないと言える。

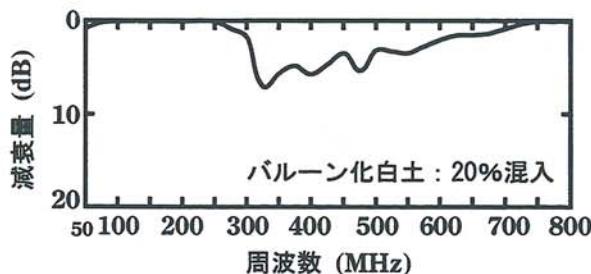


図3 バルーン化白土のシールド効果

3.2 炭素繊維のシールド効果

図5は、炭素繊維チョップを1～10%混入したボードについての減衰量の測定結果である。減衰量は混入割合の増加に伴って大きくなる傾向があり、10%添加のものでは最大35dB程度の減衰量が得られている。ただし、減衰量は周波数帯域によって大きく変動しており、これはチョップが均一に万遍なく混入していないことが原因と推測される。

図6(a)に、炭素繊維紙単体及びそれを挿入したボードの減衰量、(b)に炭素繊維布単体及びそれを挿入したボードの減衰量を示す。炭素繊維紙・布の場合ともに単体での減衰量がそれらを挿入したボードでの減衰量を上回ってい

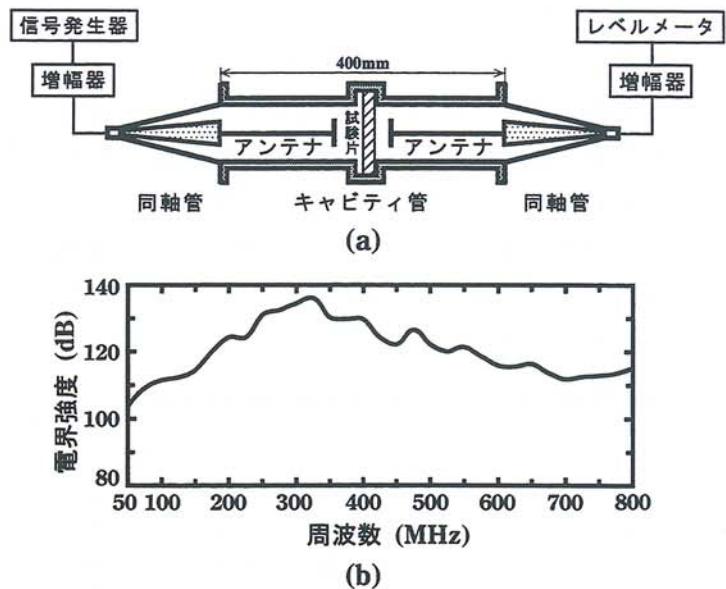


図2 (a)電磁波シールド評価システム
(b)電界強度特性

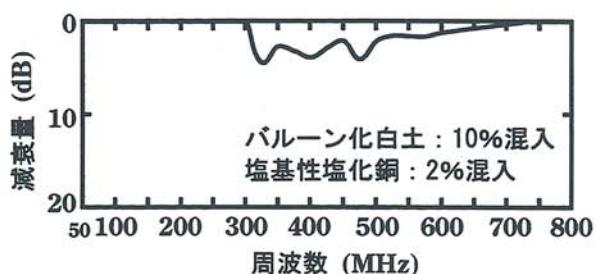


図4 塩基性塩化銅のシールド効果

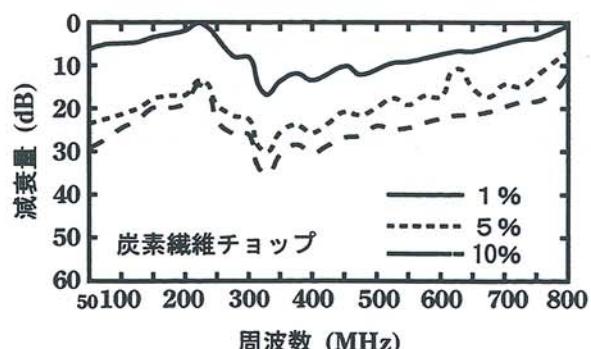


図5 炭素繊維チョップのシールド効果

るが、これは試験片の作製上の問題である。すなわち、試験片にはボードを円盤状に切り抜いてそのまま用いたために、板厚12mmのボード中心部に挿入した炭素繊維紙・布が同軸キャビティ管の試料保持部に接触せず、電磁気的に約6mmの空間が生じた結果、電磁波が通り抜けたものと推定される⁵⁻⁷⁾。したがって本質的には炭素繊維紙・布を挿入したボードでは、それら単体での減衰量と同等の値になることが期待できる。図6の結果は、建材として使用する際にボード間の継手構造に十分な配慮が必要なことを示唆している。なお、JIS A1321「建築物の内装材料及び工法の難燃性試験方法」に準じた試験では、いずれのボードも難燃2級（準不燃材料）の基準に合格した。

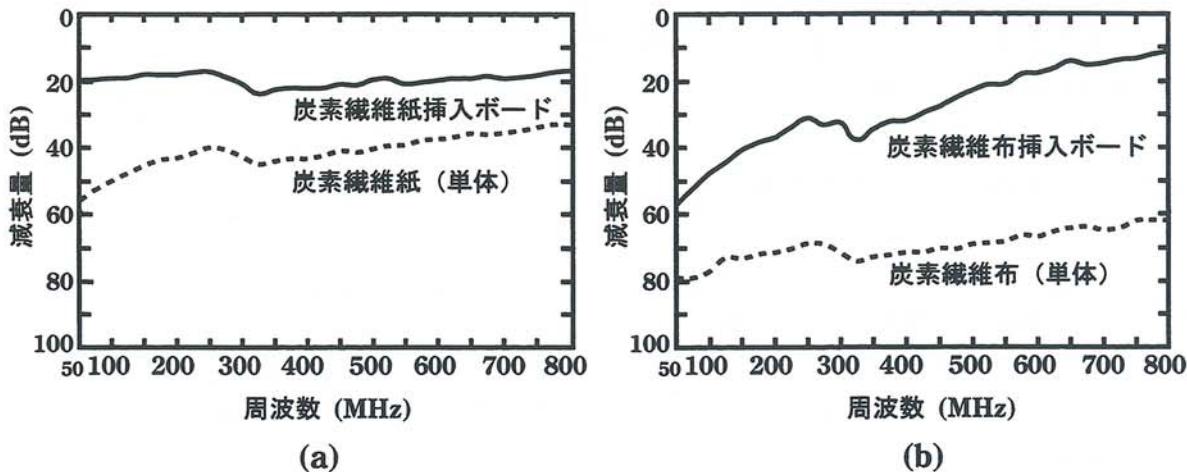


図6 炭素繊維紙(a)、炭素繊維布(b)の電磁波シールド効果

4. 結言

本研究では、電磁波シールド機能を有する軽量で安価な建材の開発を目的に、バルーン化白土を主原料としたセメントボードに炭素繊維のチップ・紙・布を添加挿入した場合の電磁波減衰量について検討した。試作したボードでは、実装可能電磁波シールド機能が得られ、また剥離強度は0.3MPa/cm²以上、耐火性能は難燃2級の基準に合格することが明らかになった。

参考文献

- 1) 美瑛白土工業（株）：無機銅化合物とその用途について、1998.
- 2) 小林、大森：東京都立工業技術センター研究報告、Vol. 14, pp. 97-100, 1985.
- 3) 日債銀総合研究所編：電磁波障害と対策、pp. 80-81, 1997.
- 4) 日刊工業新聞社：Trigger、Vol. 11, pp. 24-25, 1997.
- 5) 電子情報通信学会編：電磁妨害波の基本と対策、pp. 205-206, 1995.
- 6) 大阪ガス（株）、大阪ガスケミカル（株）：炭素繊維を応用した新規シールド材料、1996.
- 7) 二俣、中西、鴨下、林：電磁波シールド機能を有する建築用ボードの開発－金属溶射皮膜・箔と建築用ボードの複合化－、高温学会誌、Vol. 24, No. 5, pp. 179-184, 1998.

新型蓄電池機能付き住宅用太陽光発電システムの 実証試験研究

Experimental Studies on Residential Use Photovoltaic Systems with a Newly
Developed Power Storage of Lead-acid Battery

山城 迪 (北見工業大学電気電子工学科)

仲村宏一 (北見工業大学電気電子工学科)

松田高明 (京セラ株式会社)

柿添重光 (京セラ株式会社)

Susumu YAMASHIRO(Kitami Institute of Technology)

Koichi NAKAMURA(Kitami Institute of Technology)

Takaaki MATSUDA(Kyosera Corporation)

Shigemitsu KAKIZOE(Kyosera Corporation)

Key Words: Photovoltaics, Storage Battery, Power Storage,

1. はじめに

太陽エネルギーを電気に変換する発電装置、太陽電池、の生産規模は、この10年間で約3.8倍の伸び（日本）を示し、1998年には年間約50MWに達している。地球規模の環境保全や資源の確保などから、太陽光発電（Photovoltaics: PV）への期待が年々高まって来ているものの、再生可能エネルギーの開発と共に通して見られる、エネルギー供給源の不確定性に対処する意味からも、“高効率、長寿命なエネルギー貯蔵装置”が今後の再生可能エネルギー開発のKeywordになることは間違いないものと考えられる。

これまで電力レベル（例えばkW級以上）の電気エネルギー貯蔵では鉛電池が主役であったが、近年、NaS電池を始めとして各種の二次電池開発が試みられ実用に供されている。他の二次電池と比べた場合、鉛電池はサイクル寿命が短いことがその短所として挙げられ、通常DOD80%で約500サイクル以下と短い。ただし、この面の改善が進めば、その経済性から今後とも鉛電池への期待は大きいものと考えられる。

本研究では、次世代太陽光発電システムとしての長寿命電力貯蔵装置とPVとのハイブリッドシステム、PV-電力貯蔵システム、開発の一環として、新型電池である制御弁式鉛電池（VRLA）のサイクル寿命試験システムを構築し、長時間の実証試験により、PV-電力貯蔵システム実用化への基礎的検討を行うことを主眼としている。

2. 新型電池の概要

今回の試験に用いた新型電池（SEH35）は、微細ガラスマットをセパレータに用了いた35Ahのペースト式の制御弁式鉛蓄電池で、長寿命化を図るため、

①過充電を極小にした充電による、正極格子体の腐食防止、

②導電性カーボン繊維の添加による負極活性物質の酸化防止、

③極板の水平配置による電界液濃度の不均一化防止、

により従来品の改良を行っている。表1にSEH35の放電率特性を示す。

表1 新型電池 SEH35 のエネルギー対放電率特性

Cycle	Rate, Current	Run Time	Capacity (Ah)	Avg. Voltage (V)	Power density (W/kg)	Energy density (Wh/kg)	Final Voltage (V)
1	5HR 7.0A	5° 25' 58"	37.5	11.865	5.72	31.07	10.2
2	3HR 10.5A	3° 22' 35"	35.1	11.863	8.58	29.07	9.9
3	1C 35.0A	47' 24"	27.5	11.614	27.99	22.31	9.0
4	3C 105.0A	11' 21"	19.8	10.959	79.23	15.20	8.4
5	6C 210.0A	4' 13"	14.7	10.161	146.93	10.43	7.8

3. 実験装置およびリレー切替制御

図1に今回導入した実験装置の構成概要を示すが、12個の35Ah鉛電池と負荷を用いて、充電時にはRy1、31、4がON、Ry3、5がOFF、また、放電時にはRy1、31がOFF、Ry3、4、5がONとなるリレー制御を行う。また、図2に充電器の回路図の詳細を示す。

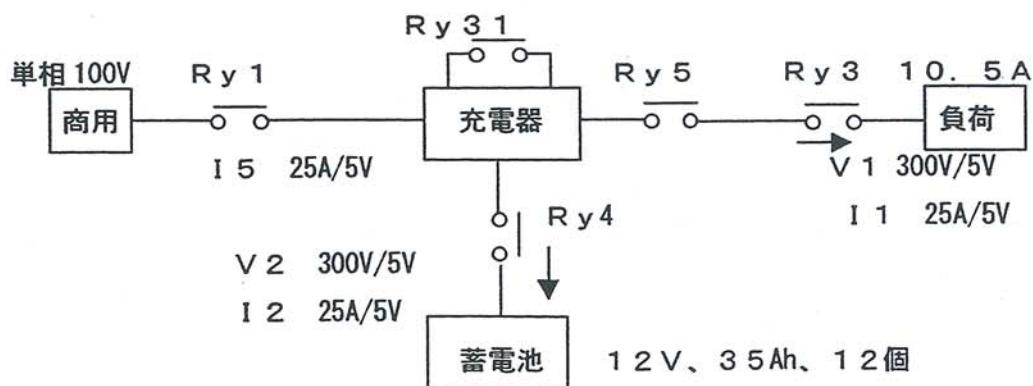


図1 実験装置の構成

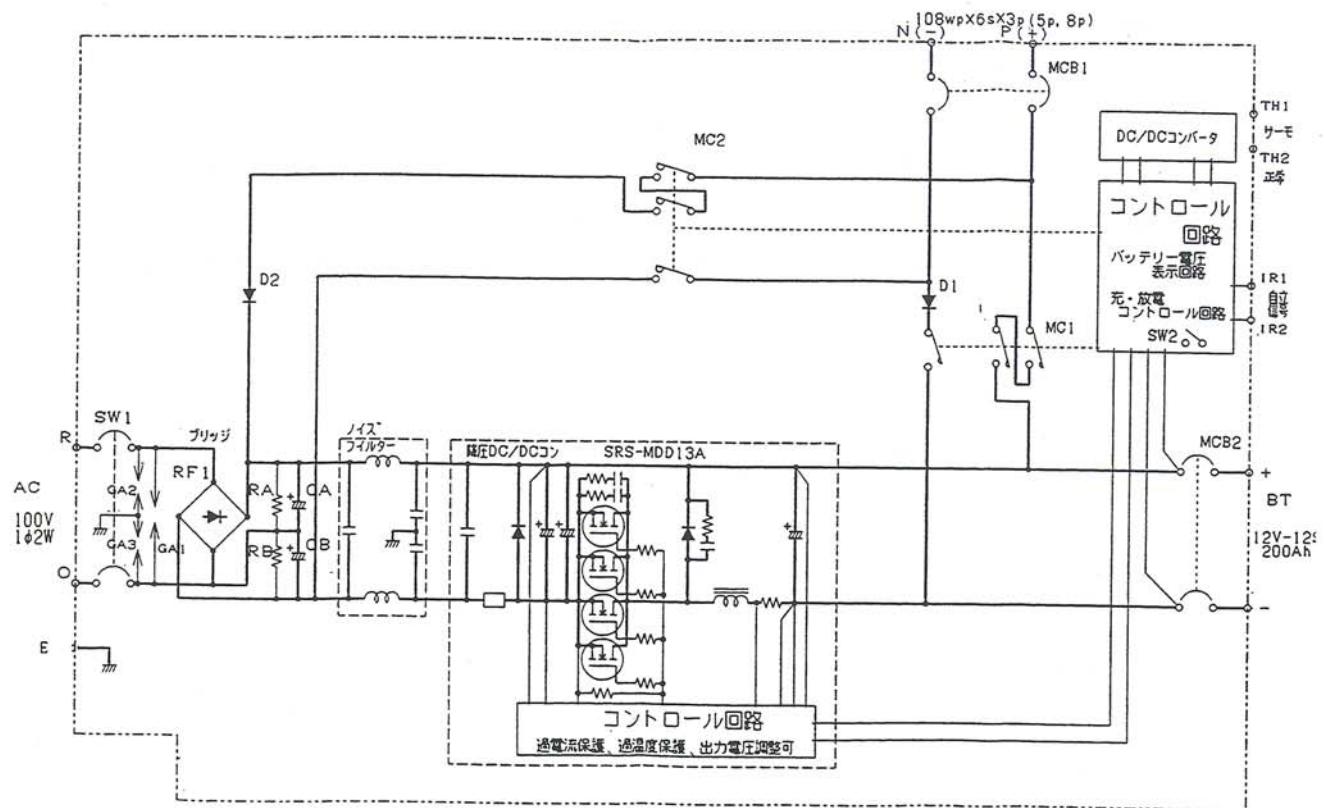


図2 充電器回路図

4. 試験方法

寿命試験にあたっては、サイクル数を加速するため、以下の充放電を繰り返すものとする。

- (1) 放電時： 10.5 A で 1.8 h 放電、過放電電圧 125 ± 1 V に設定。
- (2) 充電時： 充電容量は放電容量の 1.04 倍とし、2段階充電を行う。

1段目：入力 AC 100 ± 1 V, 17.5A。
出力 DC 8.75 A (定電流)
で充電、 150 ± 1 V に達した時点で2段目へ。

2段目：入力 AC 100 ± 1 V, 4.72A。
出力 DC 1.75 A (定電流)
で過充電電圧 175 ± 1 V まで充電する。

図3に充放電試験のフローチャートを示す。

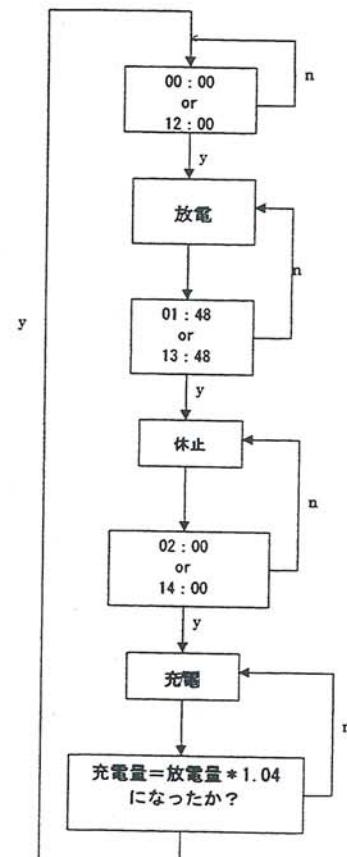


図3 充放電試験フローチャート

5. 試験結果

平成10年度後半に実験を開始しており、今後データの統計処理を行う予定であるが、図4に充放電電圧特性の一例を示す。新型電池SHE35は充電時の過充電電気量を少なくして正極の腐食を抑え、また、サイクル試験中、電解液（希硫酸）の硫酸濃度が不均一となる成層化が生じ、局部電池による自己放電が原因で寿命を縮めるため、極板配置を水平化している。本試験では、これらの改善機能を検証すべく容量の推移特性を把握する予定である。

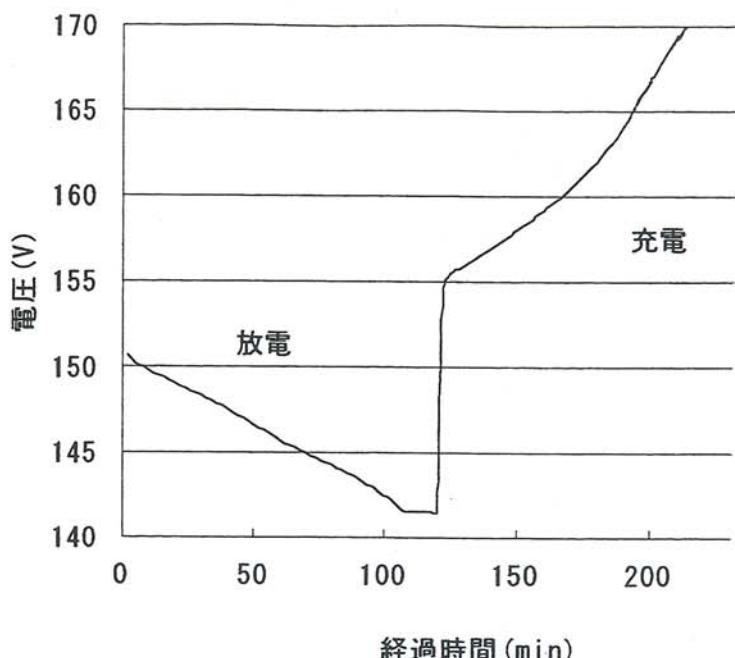


図4 充放電電圧特性の一例

6. おわりに

ペースト式の制御弁式鉛電池は、比較的深いDODでの充放電でもサイクル寿命は2000回程度の性能が得られるものと期待され、現在、DOD60%で3000回のサイクル寿命試験を目標に、平成11年度も引き続き実証試験を継続中であり、その詳細を次回に報告する。

氷掘削装置開発に関する基礎研究(第4報)

—カムチャツカ半島ウシュコフスキ氷冠における雪氷コア掘削—

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

—Ice Coring Operation at Ushkovsky Ice Cap, Kamchatka, Russia—

高橋 修平（北見工業大学工学部土木開発工学科）

庄子 仁（北見工業大学工学部土木開発工学科）

榎本 浩之（北見工業大学工学部土木開発工学科）

亀田 貴雄（北見工業大学工学部土木開発工学科）

百武 欣二（北見工業大学工学部土木開発工学科）

高橋 昭好（株地球工学研究所）

白岩 孝行（北海道大学低温科学研究所）

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)

Akiyoshi TAKAHASHI (Geo Tech. Co.Ltd.)

Takayuki SHIRAIWA (Hokkaido University)

Key words: ice coring system, shallow ice coring, ice core, glacier, Kamchatka, Russia

1. はじめに

1998年6月20日から6月30日にかけて、ロシア共和国カムチャツカのウシュコフスキ氷冠のゴルシュコフクレーターの中央部 ($56^{\circ} 4.468'N$, $160^{\circ} 28.058'E$; 3901m a.s.l.、図1) にて雪氷掘削を実施し、ほぼ基盤まで到達する212m長の雪氷コアサンプルを採取した。この調査は、環オホーツク海における過去数百年間の古気候を氷床コアから復元することを目的として実施された (Kobayashi et al., 1997; 白岩他、1999)。日本からは、白岩孝行（北海道大学低温科学研究所）、西尾文彦・戸山陽子（北海道教育大学釧路校）、亀田貴雄（北見工業大学）、高橋昭好（株地球工学研究所）の5名が参加し、ロシアからはY. D. Muravyev・A. A. Ovsyannikov・G. Korkina（ロシア科学アカデミー火山研究所、ペトロパブロフスク・カムチャツキー）、V. Shevtsov（アルネイクラブ、ペトロパブルフスク・カムチャツキー）の4名が参加した。調査では、北見工業大学地域共同研究センター所有の株地球工学研究所製、浅層型掘削機（D-2型）および浅層型ワインチを使用した。今

回は、これらの掘削機およびワインチの現地での性能および現在の問題点を報告し、今後の開発試験の指針とする。

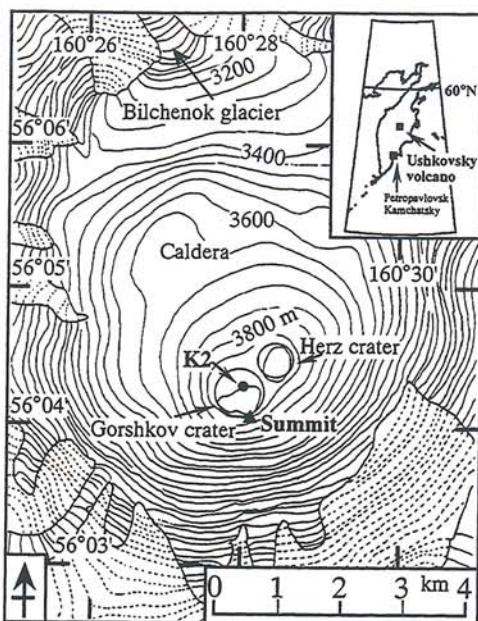


図1 ウシュコフスキー氷冠の地形図 実線および破線はそれぞれ氷河と地形の等高線を示す。

2. 現地での掘削状況

新潟からハバロフスクを経由して、我々は6月8日にカムチャツカ半島のペトロパブロフスク・カムチャツキーに到着した。そこから半島中央部のエッソを経由し、さらに内陸のコズィレフスクまで掘削用物資（約2トン）とともにトラックで移動した。ここからは、ヘリコプターでウシュコフスキー氷冠の中央部に位置するゴルシュコフクレーターへと向かった。ただし、実際には日本から別送品で送った掘削機材の通関作業に手間取り、ウシュコフスキー氷冠へ到着できたのは、6月18日であった。

氷河上到着直後からキャンプ設営作業に入り、6月20日から掘削を開始した。図2に氷河上での我々の居住テント（ドーム型、一つのテントを2名で使用）および図3に掘削用および解析用テントを示す。掘削用テントは、L4.8m × W2.5m × H2.4mのカマボコ型テントであり、この中に浅層型ワインチを設置し、テント内で掘削を行なった。また、電源は高所用に改良したガソリン発電器（3.5KVA）を1台使用した。図4にゴルシュコフクレーターの全景を示す。ほぼ円形の火山カルデラに氷が充填されたような景観である。中央部に我々のテントが小さく見える。

図5に掘削期間（1998年6月20日～30日）における日々の掘削深と積算掘削深度を示す。掘削が最も順調に進んだ日（6月22日）は、31.4 m/dayであった。掘削作業時間は、前後の準備時間含めて10時間だったので、平均掘削スピードは3.1m/hrであった。また、12日間の延べ掘削時間は103時間だったので、平均掘削スピードは2.1m/hrであった。図6に一回の掘削で採取したコアサンプルの長さを示す。全掘削（307回）での平均コア長は、

68.1cmであった。図中、0cmはコアが採取できなかったことを意味する。表面から50m深までのフィルン（雪）コアでは、平均84cm長であった。これは、表層では雪の密度が小さいために掘削時のチップ量が少なくなることに起因している。また、コア長が80cmよりも短い場合は、火山灰層に当たった場合が多い。これは火山灰層当たると、掘削が進まず、その度にドリルを地上に出したためである。目視観測で検出した火山灰層は、212m深までで約328層にも及んだ。灰の密度にもよるが、五層ほど掘ると刃が傷んで交換しなければならない。一層を突破するのに2組の刃を必要とする時もあった。8組準備した刃はすぐに使い切ってしまったので、その後は砥石で研ぎつつ掘削を続けなければならなかつた。このように氷河内部の火山灰層のために、掘削はたびたび中断しなければならなかつたが、天候に恵まれたために掘削は非常に順調であった。これまで開発を進めてきた浅層型掘削機の完成度の高さを確認することができた。

また、氷河内部で観察された火山灰の多くは、ウシュコフスキー氷冠近くの火山（クリチャフスカヤ山、トルバチック山、ベズミアニ山など）から供給されたものと考えられ、これらは噴火年が特定できているものも多い。火山灰の同定により、採取した雪氷コアの年代も精密に決めることができることが期待されている。図7に調査地点から見たカムチャッカ半島の最高峰クリチャフスカヤ山を示す。我々が滞在した期間中も優雅に煙をたなびかせていた。

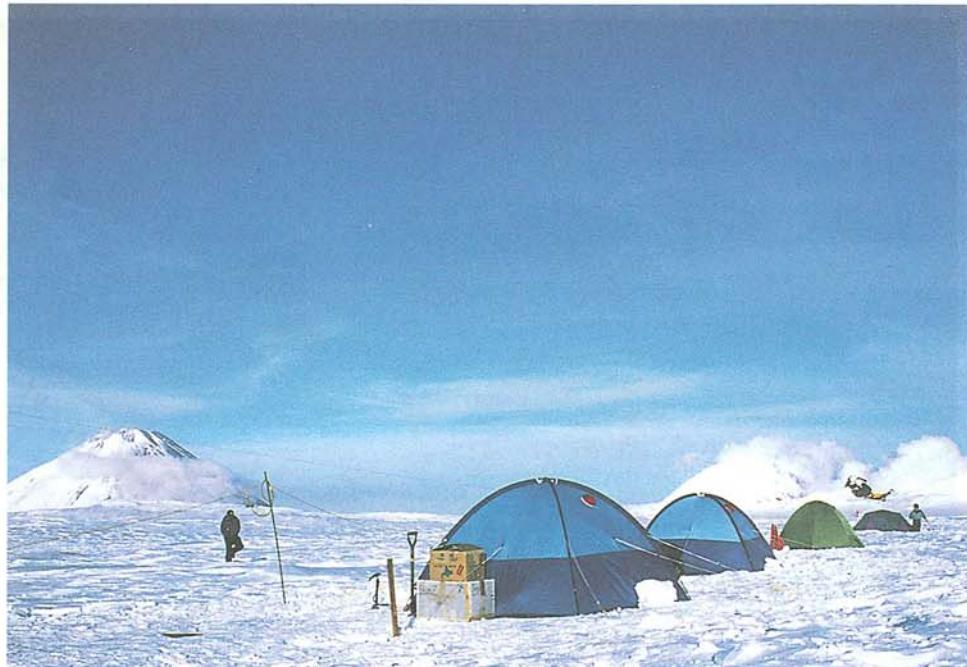


図2 氷河上に設営した居住テント



図3 氷河上に設営した掘削テント（手前）と解析テント（奥）



図4 ゴルシュコフクレーター全景

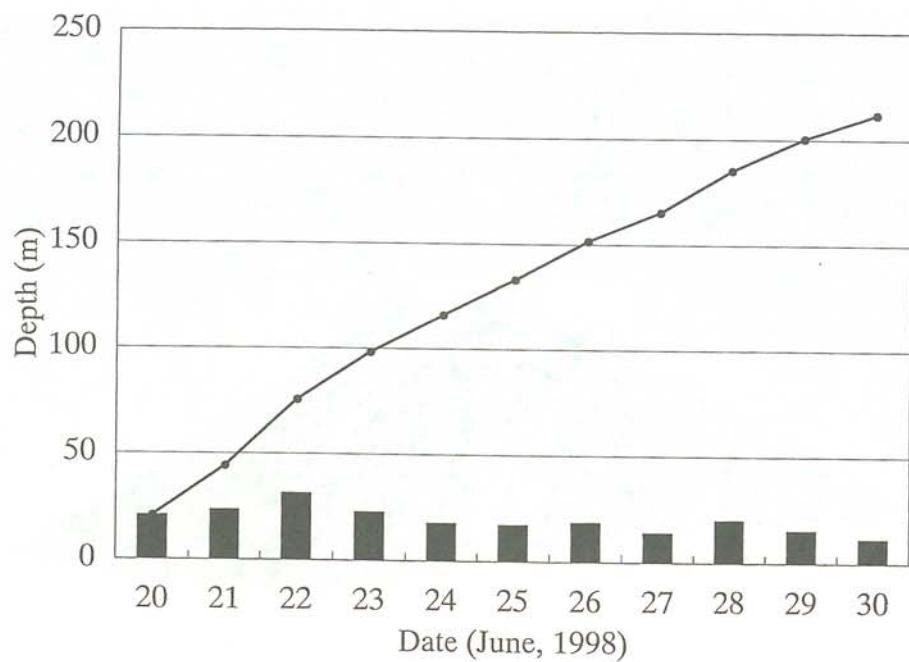


図5 掘削期間（1998年6月20～30日）における日々の掘削深と積算掘削深度

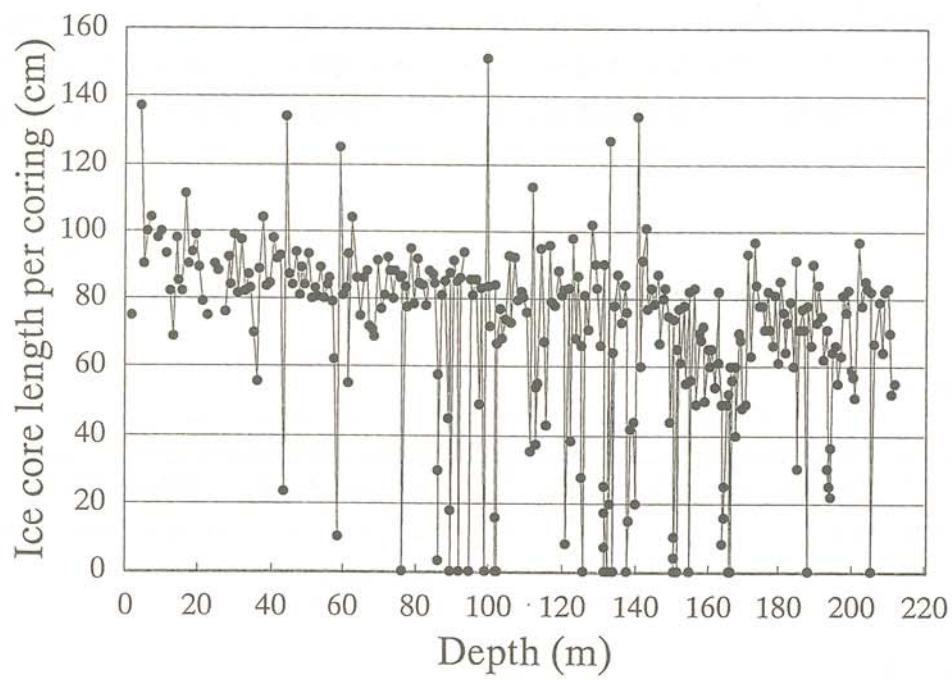


図6 全307回に及ぶ掘削毎の雪氷コアの長さ。0cmはコアが採取できなかった事を示す。



図7 調査地点からの望むクリチャフスカヤ山（標高4688m：カムチャッカ半島の最高峰）

3. 浅層掘削機の今後の改良点

今回の掘削では、212mのコアを11日間で採取でき、ほぼ予定通りのスケジュールで現地での作業を終えることができた。しかしながら、現地で採取したコアの質（140m以深で細かなクラックが入る）やワインチスピードなど、今後改良をしなければならない点も明らかになった。以下の表1に浅層掘削機およびワインチの改良点をまとめ、今後の開発実験計画の指針とする。

表1 浅層掘削機および浅層ワインチの今後の改良課題

浅層掘削ドリル

問題点	改良方法
1. 140m以深でコアに細かなクラックが多数入る。	1. 不明。今後、実験室にて問題点を探る必要あり
2. ドリル自身の回転	2. アンチトルクブレードの適切な調整方法を確立する必要あり。

浅層型ワインチ

問題点	改良方法
1. ウインチのスピードアップ	1. モーターを現行の0.75kWから1.5kWに変更する
2. 掘削深度計がない。	2. 深度計をつける。

参考文献

- (1) Kobayashi, D., Muravyev, Y.D. Kodama, Y. and Shiraiwa, T.: An outline of Russo-Japanese joint glacier research project in Kamchtka, 1996. *Bulletin of Glacier Research*, 15, 19-26. (1997)
- (2) 白岩孝行、西尾文彦、亀田貴雄、高橋昭好、戸山陽子、Yaroslav D. MURAVYEV, Alexander A. OVSYANNIKOV: カムチャツカ半島ウシュコフスキ一氷冠における雪氷コア掘削、雪氷、61巻1号、25-40、(1999) .

付録：平成10年度共同研究課題一覧

区分	研究課題	研究代表者	民間機関等
A	住宅用太陽熱光・灯油ボイラ式簡易融雪給湯システムの開発	金山公夫 教授 機械システム工学科	サンポット(株)
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	北見市企業局
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	紋別市
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	留辺蘿町
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	美幌町
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	津別町
B	下水汚泥及び放流水中の微量成分の定量に関する研究	増田 弦 教授 機能材料工学科	斜里町
B	知的教育支援システムの研究	藤原祥隆 教授 情報システム工学科	リコーシステム開発(株)
B	寒冷地における水道水の高効率処理に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	北見市企業局
B	寒冷地における下水汚泥の有効利用に関する研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	北見市企業局
B	廃棄物埋立跡地利用に関する調査研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	(財)北見振興公社
B	免震装置の低温環境における性能向上の研究	大島俊之 教授 土木開発工学科	島田建設(株)
B	橋梁の健全度診断と総合評価に関する研究	大島俊之 教授 土木開発工学科	(株)中神土木設計事務所

B	北見市環境調査研究	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	北見市
B	極域の海氷及び氷河氷床の変動に関する研究	榎本浩之 教授 土木開発工学科	宇宙開発事業団
B	木質活性炭の製造に関する基礎研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	訓子府石灰工業(株)
B	常呂川水系水質調査研究	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	常呂川水系環境保全対策協議会
B	融雪剤性能評価に関する研究	山田貴延 助教授 機械システム工学科	エスケー産業(株)
B	氷海域海洋コンクリート構造物の耐久性に関する研究	鮎田耕一 教授 土木開発工学科	島田建設(株)
C	ポリエチレン製肥料袋の耐寒性評価	宇都正幸 助教授 地域共同研究センター	ホクレン包材(株)
B	北見名水公園の水質調査及び対応策の研究	海老江邦雄 教授 土木開発工学科	北見市
B	耐熱性に優れた焼却炉用部材の開発	二俣正美 教授 機械システム工学科	(社)北見工業技術センター運営協会
B	雪氷・汚泥等の付着防止機能複合材料の開発とその応用	二俣正美 教授 機械システム工学科	北辰土建(株)
B	がいし絶縁特性監視システムのデータ解析	菅原宣義 助教授 電気電子工学科	北海道電力(株)
B	I S O の建設業への適用システム構築に関する研究	櫻井 宏 助教授 土木開発工学科	(株)つうけん
B	I S O の寒冷地での建設業適用システムの実用化と品質向上のための評価に関する研究	櫻井 宏 助教授 土木開発工学科	ドーピー建設工業(株)
B	北見市一般廃棄物処理におけるごみ組成分析研究	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	北見市

B	路面管理基準に関する研究	川村 彰 助教授 土木開発工学科	日本道路公団
C	凍結防止剤を用いた冬期土工法の開発	鈴木輝之 教授 土木開発工学科	北海道日本油脂(株)
C	氷掘削装置開発に関する基礎的研究	高橋修平 教授 土木開発工学科	(株) 地球工学研究所
B	ホローカソード型プラズマジェットトーチの改良	二俣正美 教授 機械システム工学科	(株) 倉本鉄工所
B	寒冷地における土木構造物の冬期施工並びに維持管理に関する研究	鈴木輝之 教授 土木開発工学科	北見建設業協会
B	新型蓄電池機能付き住宅用太陽光発電システムの実証試験研究	山城 迪 教授 電気電子工学科	京セラ(株)
B	寒冷地の海洋コンクリート構造物の高品質施工とその技術移転の研究	櫻井 宏 助教授 土木開発工学科	(株) 西村組
C	橋梁の耐震性能の診断評価の研究	大島俊之 教授 土木開発工学科	(株) ナオツク
B	住宅躯体の小屋裏掃気に関する研究	坂本弘志 教授 機械システム工学科	宇部気密ハウジング(株)
B	一般廃棄物広域処理におけるごみ組成分析研究	伊藤純一 助教授 化学システム工学科	北見市
B	コンクリートポールの凍害に関する研究	鮎田耕一 教授 土木開発工学科	日本電信電話(株)
B	バルーン化白土を利用した電磁波シールド材料の開発	二俣正美 教授 機械システム工学科	美瑛白土工業(株)
B	寒冷地における冬季路面の安全確保に関する研究	森 訓保 教授 土木開発工学科	北海道電気暖房(株)
B	コンクリート用耐寒剤に関する研究	鮎田耕一 教授 土木開発工学科	北海道日本油脂(株)

(総研究課題数: 41件)

**北見工業大学 地域共同研究センター
研究成果報告書 第6号**

発行日 平成11年7月1日

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

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

印 刷 (株) 北 海 印 刷
