

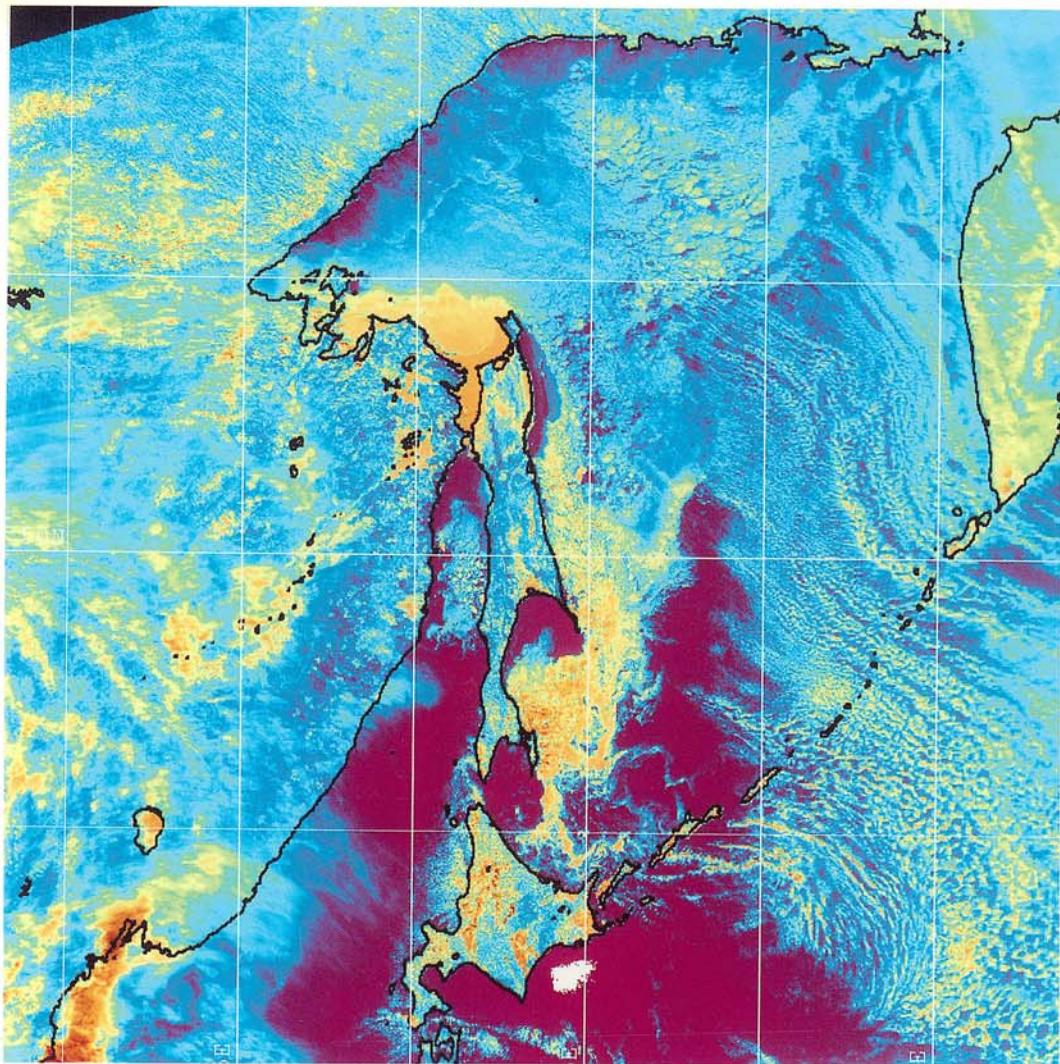
ISSN 1340-9646

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

MEMOIRS OF THE COOPERATIVE RESEARCH CENTER
KITAMI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

NO.3
1996



北見工業大学地域共同研究センター

表紙写真の説明：衛星画像受信解析装置（平成7年度導入）により、1996年3月24日12時49分に観測した極軌道気象衛星 NOAA14号バンド1からの可視光の画像です。サハリンの東方には流氷が見え、さらにその東方には筋状雲が発達しています。研究機関としては最北に位置する本学のレーダーサイトは、オホーツク海全域を観測することが可能です。

人工衛星を利用したリモートセンシングシステムは、土地利用、資源探査、水資源、防災、水産、環境保全等の広範な分野に貴重な資料を提供できます。

本システムは、

- (1)北海道におけるNOAA、GMSのデータベースの構築
- (2)NOAA、GMS、Sea Star、LANDSAT、MOS、JERSのデータ探索用メディアの作成
- (3)これらの衛星データを有効に利用するためのソフトウェア・マニュアルの開発を目的としています。

NOAA、GMSのデータベースと衛星データ検索メディアは、準備ができしだい公開します。

目 次

客員教授論文

純 Ti摩擦圧接継手境界部の超音波伝播特性と応力・ひずみの関係に関する研究 岩館忠雄 ((株)日本製鋼所 研究開発本部 技術研究所長)	1
たまねぎ食酢類の薬理学的研究 中井義昭(第一製薬(株) ヘルスケア業務企画室 調査役)	5
電気事業の規制緩和における電力システムの課題 林敏之(電力中央研究所 狛江研究所 上席研究主幹)	11

共同研究

区分A

真空二重ガラス管を素材とする新ソーラーシステムの開発 ーシステム化のための温度選択蓄熱槽の基礎実験一 金山公夫・馬場弘・三木康臣・遠藤登・梅津将広	17
がいし絶縁特性監視システムの開発 菅原宣義・保苅和雄・土方正範・齊藤昭弘	23

区分B

コンクリート製品の高品質化に関する研究(第3報) 鮎田耕一・桜井宏・藤村満・大沼康弘	29
コンクリートの合理化施工に関する研究(第3報) 鮎田耕一・桜井宏・佐々木元・七海隆之	33
積雪寒冷地における通年施工に関する研究(第3報) 鮎田耕一・桜井宏・水元尚也・久保裕一	39
氷海域海洋コンクリート構造物の耐久設計と 耐凍害性向上に関する研究(第3報) 鮎田耕一・桜井宏・木村伸之・齊藤爾	45
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・太田和夫	49
たまねぎを素材とする発酵機能食品の開発 小林正義・菅野亨・富田弘毅・齊藤貴則・米山朋・本郷良典・堤平	55
霧水量測定器の性能試験 菅原宣義・保苅和雄・土方正範・廣田充伸	59
寒冷気候利用に関する基礎的研究 高橋修平・庄子仁・榎本浩之・百武欣二・石橋勉・佐久間幹夫	61
氷掘削装置開発に関する基礎的研究 高橋修平・庄子仁・榎本浩之・百武欣二・宮原盛厚・高橋昭好	67
プログラミング演習支援システムの性能評価 藤原祥隆・松西年春・後藤寛幸・黒丸鉄男	73
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	79
溶射皮膜の摩擦特性の解明と高カボルト摩擦接合部への応用 二俣正美・有田敏彦	85
住宅用光発電ー新型蓄電池機能付系統連系システムの研究開発(Ⅱ) 山城迪・仲村宏一・中島公一・手塚博文・柿添重光	91

※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。

純Ti摩擦圧接継手境界部の超音波伝播特性と 応力・ひずみの関係に関する研究

Study of Relationship between Acoustic Wave Propagation

Characteristics and Residual Stress and strain

of Pure Titanium Friction Weld

客員教授 工博 岩館 忠雄 (株式会社日本製鋼所)

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

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

1. 本研究の背景及び目的

金属材料継手接合部微小領域近傍における応力・ひずみの分布は、継手の機械的特性を左右する大きな因子となっている。とくに、異種材料接合部においては材料物性の差異に起因して大きな応力・ひずみが生じ、実用継手において重要な問題となっている。

応力・ひずみは、一般にX線応力測定法、あるいはひずみゲージ法を用いて測定されることが多いものの、微小領域の応力・ひずみを、これらの方法で測定することは事実上不可能に近く、計算によって求めることが行われている。^{1,2)}

本研究では、異種金属材料との溶融溶接が事実上不可能であるチタン(以下、Tiという)系材料を取り上げ、摩擦圧接法を用いて継手境界部の応力・ひずみを、近年脚光を浴びている超音波顕微鏡(SAM)³⁻⁵⁾を用いて測定し、これらと超音波音速との関係を定量評価することを目的として進めている。

昨年度の研究においては、その第一歩として、SAMの原理、構造並びに適用の可能性を述べた。⁶⁾ さらに、Ti系材料の異材継手を用いた検討に先立ち、工業用純Ti同士を固相接合法の一つである摩擦圧接法を用いて接合し、主として接合したままの状態における境界部の硬さ分布、並びに方向性を含まない超音波の音速分布の測定を行い、両者の基礎的な関係を明らかにした。本報告では、引き続き工業用純Ti摩擦圧接継手境界部の異方性を考慮した超音波の音速分布を、圧接面をはさみさらに狭い領域について測定し、応力・ひずみとの関係を明らかにした。

2. 実験方法

本研究で使用した材料は、外径16mmの市販のJIS-TB35Hの工業用純Tiの丸棒である。表1に化学組成及び引張特性を示す。

受け入れたままの材料中に製造時の残留応力・ひずみの存在が考えられたため、接合に先立ち真空中で873K 1.8ks (600°C 0.5H) の熱処理を材料に施した。その後、旋盤を用いて材料の接合部を外形12mmに加工し、接合端面は加工後#240のエメリーペーパーで研磨を行った。接合には北見工業大学における現在までの研究で得られた圧接条件を用いた。

表1 供試Tiの化学組成及び引張特性

化学組成, mass %					引張特性	
H	O	N	Fe	Ti	T. S., MPa	EI., %
.005	.13	.007	.049	bal.	510	29

圧接したままの継手において音速の異方性を明らかにするためにセンサーにスリットを取り付け、主として軸方向の音速分布を測定した。音速測定位は、図1に示すように半径方向の位置において、軸心、軸心と外表面との中央（以下、 $(1/2)R$ 部という）並びに外表面から 0.5 mm の位置（外周部）の3カ所とした。音速測定には、日立建機株式会社製超音波顕微鏡HSAM-2000を使用した。用いた周波数は 200 MHz である。

3. 実験結果及び考察

3.1 実験結果

軸心、 $(1/2)R$ 部並びに外周部において境界を横切る軸方向の超音波音速分布をそれぞれ図2～4に示す。軸心においては、音速は約 $2850\sim3000\text{ m/s}$ で推移しているが、圧接面を挟み約 $\pm 0.2\text{ mm}$ の範囲で音速は低下し、とくに圧接面では約 2810 m/s まで低下している（図2）。一方、 $(1/2)R$ 部においても同じく音速は約 $2850\sim3010\text{ m/s}$ で推移おり、圧接面を挟む約 $\pm 0.3\text{ mm}$ の範囲で音速は低下し、とくに圧接面では約 2750 m/s まで低下している（図3）。また、外周部では、ばらつきはあるものの音速は約 $28000\sim3000\text{ m/s}$ で変化しているが、圧接面近傍での低下は見られず、圧接面ではむしろ音速は上昇している（図4）。

圧接面から 0.005 mm から離れた半

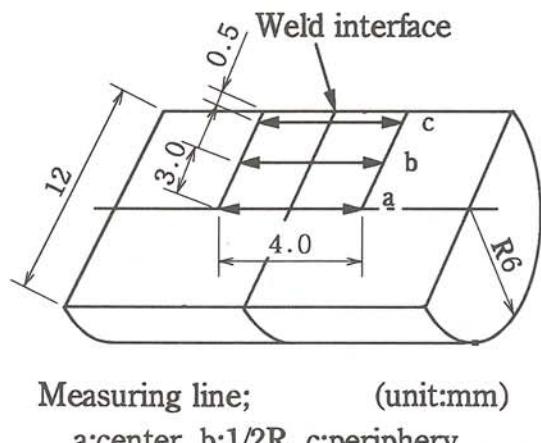


図2 音速測定位

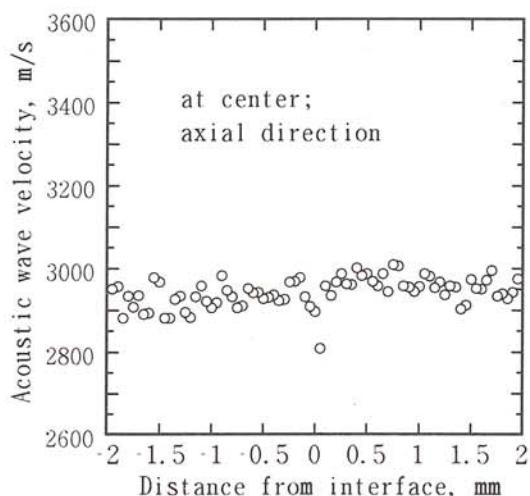


図2 軸心部における軸方向の音速分布

径方向の各位置における軸方向の残留応力分布を有限要素法を用いた熱弾塑性解析によって求めた結果を図5に示す。⁷⁾ 軸方向の残留応力は軸心から外周部に向かって減少し、軸心部で約45 MPa、外周部で約60 MPaの圧縮応力になっており、これらの値はTi基材の降伏応力よりも小さい。

3.2 考察

3.1で述べたように、方向性を考慮した軸方向の音速は軸心部で減少し、一方外周部で増加し、位置によって大きな差異が生じていることが明らかとなった。これについて以下のように考えられる。前報において、Ti/Ti摩擦圧接継手境界部においては、純Tiと異種金属材料の継手に比較して、^{1,2)}接合時に生じる塑性ひずみの割合は少なく、ほとんどが弾性ひずみ内の残留応力に相当していることを明らかにした。この結果は今回の結果とも一致している。

図5において軸心部で引張、外周部で圧縮の応力が生じた理由として、次のように考えられる。残留応力は、圧接時に高温に上昇した後の冷却中に生じる収縮に起因して発生する。この際、軸心部は周囲に拘束されて引張応力が生成し、一方外周部は変形が自由であることに起因して圧縮応力が生じたものと考えられる。

また図5から分かるように、圧接面における残留応力はほぼ弾性ひずみの範囲の値であり、純Ti/純Al継手圧接面に生じるような塑性ひずみはほとんどないものと考えられる。昨年の結果で明らかにしたように、材料中に引張のひずみが存在する場合には音速は低下する。一方、圧縮の応力が存在する時には音速は一般に低下すると言われ

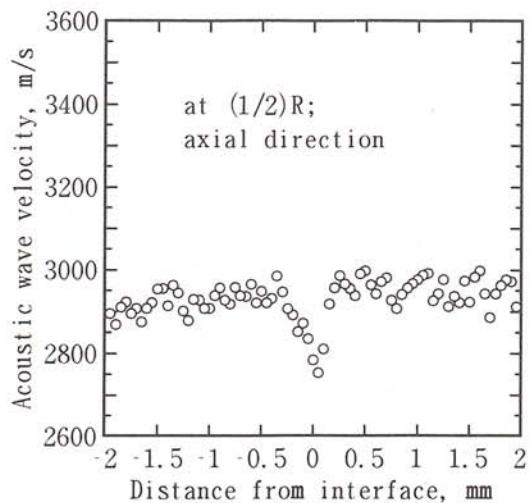


図3 (1/2) R部における軸方向の音速分布

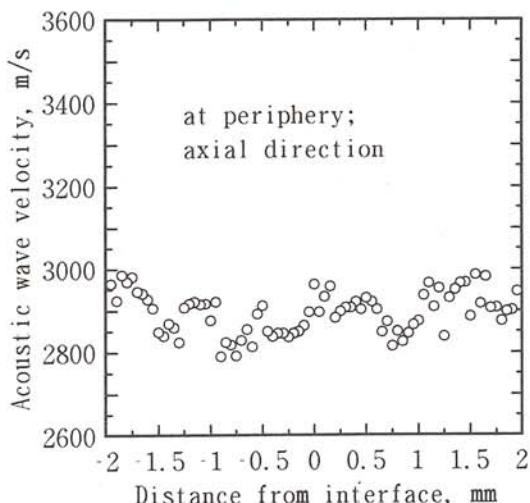


図4 外周部における軸方向の音速分布

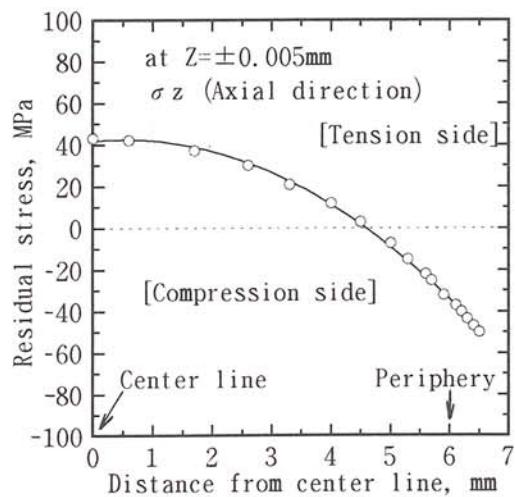


図5 圧接面から0.005mmの位置における軸方向の残留応力分布

ている。本研究結果においては、引張応力の存在する軸心部で音速は低下し、圧縮応力である外周部においては音速は上昇していることから、軸方向の応力と音速とは非常に良い対応をしているものと考えられる。

ところで、圧接面をはさむごく狭い領域ではとくに音速の変化が著しく、これは、残留応力のみでは説明することは困難である。図6は、圧接面における光学顕微鏡組織を示したものであるが、圧接面をはさむ約0.1mmの範囲に明瞭に組織変化が見られ、また0.数mmの範囲で熱影響部が観察された。純Tiは1155K(882°C)に同素変態を有し、それ以上の温度では体心立方格子(bcc)，以下では稠密六方格子(hcp)を有する。つまり、接合時には圧接面近傍は半溶融状態に加熱され、接合後の冷却中に変態を生じる。そのため、結晶構造は基材と同様hcp構造であるものの、微細な組織になったものと考えられる。この変態に起因する基材と異なるミクロ組織、並びに微小な応力・ひずみの変化に起因して音速が大きく変化したものと思われる。

4.まとめ

本報告では、純Ti摩擦圧接継手境界部の軸方向の音速分布を測定し、計算で求めた応力分布と比較検討を行った。その結果、音速分布が計算結果と良く一致し、さらに圧接面では接合時に生じた組織変化に起因して大きく音速が変化することを明らかにした。

参考文献

- (1) 金裕哲、富士明良、T.H.North:チタン/AISI304Lステンレス鋼の摩擦圧接で生じる残留応力・ひずみ分布の特徴とそれらの生成機構、溶接学会論文集、Vol.12, No.2, pp.243-248, (1994).
- (2) Y.C.Kim, A.Fuji and T.H.North : CHARACTERISATION OF RESIDUAL STRESS IN TITANIUM/ALUMINIUM FRICTION WELDS, First international Conference on Processing Materials for Properties (organized by TMS), Nov., Hawaii, USA pp.325-328, (1993).
- (3) 山中一司:超音波顕微鏡とその材料評価への応用、材料、Vol.35, No.399, pp.1341-135, (1986).
- (4) 石川潔:超音波顕微鏡による加工変質層の厚さ計測、精密工学会誌、Vol.55, No.8, pp.1346-1349, (1989).
- (5) 成田敏夫:超音波顕微鏡による接合界面近傍の残留応力測定の可能性、日本金属学会会報、Vol.29, No.11, pp.918-923, (1990).
- (6) 岩館忠雄:工業用純Ti摩擦圧接継手境界部の硬さ特性と超音波伝搬特性、北見工業大学、地域共同研究センター研究成果報告書、Vol.2, No.2, pp.1-6, (1995).
- (7) 林 貴之:大阪大学溶接工学研究所修士論文、1996年3月。

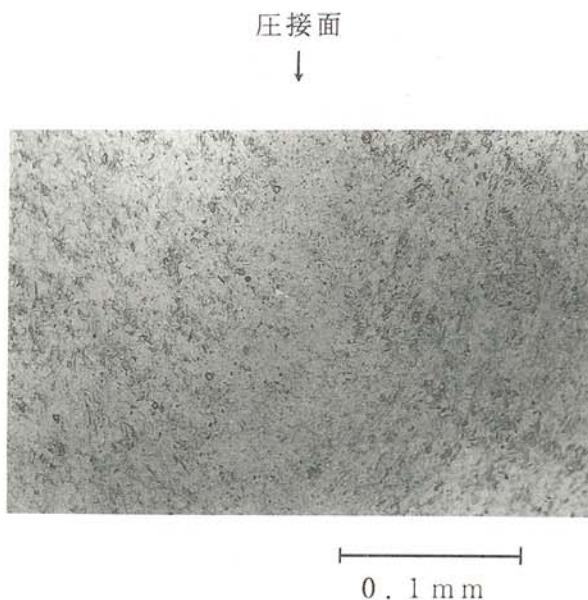


図6 (1/2) R部の光学顕微鏡組織

たまねぎ食酢類の薬理学的研究

Pharmaceutical Activities of Onion Vinegar and Onion Juice.

小林 正義 (北見工業大学化学システム工学科)
中井 義昭 (第一製薬ヘルスケア事業部)

Masayoshi KOBAYASHI (Kitami Institute of Technology)
Yoshiaki NAKAI (Daiichi Pharmaceutical Co. LTD, Healthcare Division)

Key words : Pharmaceutical Activities, Onion Vinegar, Onion Juice, Blood Analysis
Anti-Coagulant, Testosterone-reinforce, γ · GTP

1. 緒言

近年わが国は、世界に誇る長寿国となり、そのために中高年期における健康、美、幸福の追求 (Quality of Life)が社会的課題として重視されるようになってきた。 その結果、生体リズムの調整、疾病の予防、内面美容などの効果を期待する商品（機能性食品）が注目され、今や一大市場を形成するに至った。

北海道の特産品の一つであるたまねぎは、食用として古くから重宝されているが、機能性の面でも注目され世界的に広く研究が行われており、血栓症の予防、抗炎症、抗がん、抗糖尿、コレステロール代謝促進作用などが報告されている。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾

今回、著者らはこのたまねぎの機能性食品への応用開発を企図し、たまねぎ食酢、たまねぎジュースの人血液に及ぼす効果について種々検討を行ったところ、男性ホルモン（テストステロン）を増強させる作用のほか、肝機能指標の一つである γ · GTP の低下作用のあることを見出したので報告する。

2. 実験方法

2・1 たまねぎジュースの製造

たまねぎの外皮を取り除いた後、細断し、ジューサーにかけ粥状にした。これを金属容器にとり攪拌しつつ加熱して1～2分煮沸し、粘性の弱まったところで放冷する。これをガーゼで絞りつつ濾過し、濾液を1～2分間加熱滅菌して、たまねぎジュースを得た。収率は、はじめに使用したたまねぎ重量の約60%であった。

2・2 たまねぎ食酢の製造

*Saccharomyces cerevisiae*及び*Acetobacter aceti*を多孔質セラミックビーズにそれぞれ固定化し、これを二段連続発酵装置のアルコール発酵槽と酢酸発酵槽のそれに充填した。アルコール発酵は、たまねぎジュースをアルコール発酵槽の下部から供給し、発酵槽上部から下部に循環させて、30℃で48時間炭酸ガス雰囲気下で発酵させた。酢酸発酵、前行程で生成したアルコール発酵液を酢酸発酵槽の下部から供給し、底部から空気を吹き込んで好気条件下で循環させて、30℃で60時間発酵させ、発酵槽上部から生成酢酸液を取り出した。この酢酸液を滅菌し、たまねぎ食酢を製造した。このたまねぎ食酢は、酢酸含量は約4%であるが上市されている他の食酢に比べて各種アミノ酸、有機酸の含有が多いため、こく味、うま味の高い食酢であった。(8)

2・3 たまねぎ食酢、たまねぎジュースの人血液凝固に与える影響(*in vitro*)

人血液に対する内服(*in vivo*)効果を調べる前に、先ず直接作用の有無を確かめておく必要から試験管内(*in vitro*)テストを行った。

実験-1 血漿の凝固に対する抑制作用

- ・活性トロンボプラスチンによる血漿凝固 (APTT)
- ・プロトロンビンによる " (PT)
- ・カルシウム再加による " (PCT)

実験-2 血漿フィブリン塊の溶解に対する促進効果 (Plasma-fibriolysis)

実験-3 ADP (Adenosine diphosphate)添加による血小板凝集の抑制効果

〈 結果 〉

実験-1 APTT, PT, PCT ……いずれのサンプルも作用を認めなかった。

ヒト血漿450μlにTBS・bufferで10倍希釈したサンプル50μlを加えて凝集時間を測定した。（3%酢酸は、たまねぎ酢の対象品と考えた）

サンプル	APTT (秒)	PT (秒)	PCT (秒)
精製水	39.5	21.3	105.9
0.1% 酢酸	42.1	22.9	102.9
3% 酢酸	40.5	22.5	100.2
たまねぎ食酢	41.3	23.1	98.7
たまねぎジュース	41.4	22.5	96.8

実験-2 データ略 …… いずれのサンプルも作用を認めなかった

実験-3 データ略 …… " "

2・4 たまねぎ食酢、たまねぎジュースの服用(in vivo)による人血液に及ぼす影響

〈服用方法〉

33才～60才までの男性ボランティア5名に1日2回（朝・夕）、25ml（計50ml）を10日間連続して飲用させ、飲用前日、4日後、10日後の朝9時に朝食抜きの状態で採血し、血液分析を行った。

注)

〈測定項目〉

血小板凝集能（ADP凝集およびコラーゲン凝集）、テストステロン、HDL、LDL、プラスミノーゲン、アンチプラスミン、グルコース、トリグリセリド、コレステロール、尿素窒素、クレアチニン、尿酸、GOT、GPT、LDH、ALP、γ-GTP、カルシウム再加時間（PCT）、プロトロンビン時間（PT）、活性トロンボプラスチン時間（APTT）、白血球数、赤血球数、血色素量、ヘマトクリット値、血小板数

注）血液分析の実施については、凝固関連項目を第一製薬研究所が担当し、その他の項目はSRL（スタンフォード リサーチ ラボラトリ）に依頼した。

〈 結果 〉

前記測定項目のうち、飲用前、飲用後に有意の差が認められた項目のみを以下に示した。

2・4-1 血漿中テストステロン値（基準値 250～1,100 ng/dl）

	たまねぎ食酢			たまねぎジュース		
	飲用前	4日後	10日後	飲用前	4日後	10日後
33才男	551	676	643	508	575	511
42才男	539	612	677	419	570	704
52才男	493	741	707	198	842	750
60才男	316	423	361	462	394	537
60才男	494	561	526	420	361	516
平均値	479	603	583	401	458	604
有意差検定 (Sign-Wilcoxon)	飲用前 v s 4日後 (P<0.05) 飲用前 v s 10日後 (P<0.05)	飲用前 v s 4日後 なし 飲用前 v s 10日後 (P<0.05)				

2・4-2 C a 再加時間（基準値 90～180 sec）

	たまねぎ食酢			たまねぎジュース		
	飲用前	4日後	10日後	飲用前	4日後	10日後
33才男	68.9	82.6	83.1	83.6	100	113.6
42才男	141.8	103.5	82.5	96.5	111.8	122.4
52才男	84.2	103.8	80.1	114.3	300	124
60才男	77.3	86.2	78.5	97.1	102.8	137.4
60才男	57.4	101.1	78.2	86.5	81.6	151
平均値	85.9	95.4	80.5	97.6	139.2	130
有意差検定 (Sign-Wilcoxon)	有意差 なし			飲用前 v s 10日後 (P<0.05)		

2・4-3 γ -G T P (基準値 50 IU/I 以下)

	たまねぎ食酢			たまねぎジュース		
	飲用前	4日後	10日後	飲用前	4日後	10日後
33才男	50	43	47	59	65	64
42才男	36	36	36	37	36	34
52才男	59	58	52	78	78	63
60才男	172	171	159	220	184	183
60才男	68	65	63	71	70	63
平均値	77	75	71	93	86.6	81.4
有意差検定 (Fredman test)	飲用前 v s 10日後 (P<0.05)			飲用前 v s 10日後 (P<0.05)		

3. 考察

わが国では高齢化の波と相まって、動脈硬化・糖尿病・がん・心臓病などの成人病予防、不眠・便秘のような生体リズムの改善や、ボケ防止など人体機能の若返りや老化予防に役立つ食品（機能性食品）が注目され、数多くの新製品が登場している。

これらの商品のほとんどは天然の植物・動物・鉱物を素材として抽出、濃縮、分解、配合などの加工によって生まれている。又、それらの効果の共通点は、微量栄養成分の補給、代謝改善、免疫（抵抗）力や抗酸化力の強化などが中心となっており、その素材は意外に身近なところにも存在する。

著者らは、この様な観点から北海道特産のたまねぎに着目に、北見工業大学で開発されたたまねぎ食酢を中心とした機能性食品の開発を企図し種々検討を行ってきた。

その一環として、人体血液に及ぼす影響について検討したところ、男性ホルモンの一種であるテストステロンの増強効果と肝機能指標の一つで、飲酒との相関性の高い γ -G T Pの上昇を抑える可能性のあることを見出した。

このほか、C a 再加時間即ち血液凝固を抑制する傾向のあることも分かった。

これらの効果を示す成分が何なのかについては、未だ解明されていない。少なくとも今言えることは、たまねぎ食酢に糖類が含まれていないこと、たまねぎジュースに酢酸が含まれていないことから、糖類や酢酸ではないということである。

今後どの成分が作用の本体なのか、又これらの作用メカニズムはどうか、更にこれらが人体の機能にどういう効果を現すのかなどについての研究が待たれる。又たまねぎ食酢の新しい機能性の探索についても興味あるところである。

4. 結言

たまねぎ食酢類の摂取による人の血液成分に及ぼす影響について検討した結果、次の3点が認められた。

1) テストステロン値が明らかに増加した。

2) γ -GTP値が低下した。

その低下度合いは、 γ -GTP値の高いものほど大きい傾向が見られた。

3) Ca再加時間を延長する傾向が見られた。

【参考文献】

- | | |
|----------------|---|
| 1) STAMLER F W | AM. J. PATHOL 86(3) 1977 603-622 |
| 2) YAMAGUCHI R | J. MED. SOC. TOHO. UNIV 35(2) 1988 139-145 |
| 3) KENDLER B S | DEP. BIOL., MANHATTAN COLL. PREV MED 16(5) 1987 670-685 |
| 4) VATSALA T M | CURR SCI 54 1985 18~21 |
| 5) 谷沢 久之 | 基礎と臨床 17(6) 1983 1887-1893 |
| 6) ASHWAH E T | J DRUG RES(CAIRO) 13 1981 61-68 |
| 7) YOU W-C | CHIN J PREV MED 22(6) 1988 321-323 |
| 8) 小林 正義 | 北見工大、
地域共同研究センター 研究成果報告書第2号17-22 (1995) |

電気事業の規制緩和における電力システムの課題

A Study on Power System under the Reregulation of Electric Power Utility

客員教授 林 敏之（電力中央研究所 狛江研究所）

Toshiyuki HAYASHI(Central Research Institute of Electric Power Industry)

key words : 電気事業、電力システム計画、規制緩和

1. まえがき

戦後50年の日本経済は、戦後の復興期から高度成長期の後、オイルショックを経て安定成長期に入っている。この間電気事業は、電力再編成後の電力供給システムが、経済の高度成長を支えてきた。また、オイルショックに対しても、電源の多様化を図り、わが国の経済成長に大きく貢献してきた。最近では、地球規模の環境問題が国際的な話題となり、わが国のCO₂排出量の約1/4を電気事業に起因していることから、発送変電設備の高効率化や電力利用での省エネルギー化、太陽光発電など自然エネルギーの活用が推進されてきた。

しかしながら、近年、電気料金の内外価格差が着目され（これには為替レートが大きく寄与しており、購買力平価では格差はほとんどない）、31年ぶりの電気事業法の改正と電気料金制度の改訂が行われることとなった。この狙いは、電気事業への競争原理の導入による電気料金の低減であり、これまで公益法人としての責任と義務に於いて、電力会社が払ってきた多大な努力に対し、ほぼ180度の方向転換が必要であり、今後の具体的な取り組みが重要となる。

本文では、これまでの電気事業を大幅に変革することとなる電気事業の改正（電気料金制度を含む）に対し、これまでのわが国の電気事業の変遷を振り返るとともに、既に規制緩和が進められている海外の実情を参照して、電力システムの計画・運用に於ける課題について検討した。

2. 電気事業の変遷

わが国の電気事業は、昭和26年の電力再編成により、9つの地域毎の電力会社が、発電から配電まで一貫して、電力を供給する責任と義務を負って来た。戦後の復興期には、電力確保が最優先で、佐久間発電所や275kV新北陸幹線に見られる様に、電源開発と電力システムの整備が進められ、電力融通のための中央電力協議会が昭和33年に設立された。

その後に続く高度成長期には、電力供給の効率化と信頼度向上が課題となり、大容量の石油火力が建設され、電力系統でも昭和48年に500kV房総幹線が運転した。この経済成長を支える反面、環境問題が顕在化し、その対策を余儀なくされてきた。

昭和48年、54年の2度のオイルショックは、わが国の経済成長にブレーキをかけ、電気事業でも、電源の多様化のみならず新省エネルギーの推進が図られることとなる。昭和55年に中央電力協議会に技術開発部が設けられ、電力大の技術開発にとり組むこととなる。

この2度の危機とその後の平成不景気に係わらず、電力需要は増加の一途を辿り、地球規模の環境や原子力立地、夏期の電力ピークなどの問題が注目される中で、円高が進行して、電気料金の内外価格差が問題視されるようになった。

わが国の電気事業の特徴を以下に示す。

- 1) 発電電力量（電力需要）の推移は、高度成長期の後に続く2度のオイルショックに係わらず、順調な増加傾向にある。また、生活様式の向上に伴う電力化、冷房の普及により、夏期ピークの最大電力が順調に伸びており、年負荷率は低下の一途にある。このため、夏の一時期を賄うためだけの電力設備の投資を削減するための方策、負荷平準化が重要な課題となっている。
- 2) 戦後復興期の水主火從から、高度成長期の火主水從への転換、2度のオイルショック並びに地球環境問題等による、原子力、LNGを加えた電源の多様化により、電気事業は環境変化に柔軟に対応して来た。しかしながら、国際情勢の安定化、円高、発電コストの低減などにより、最近は石油火力が着目されており、今後の電源の自由競争の進展に於いては、この電源多様化が重要になってくる。
- 3) 電力供給の効率化と信頼度の向上は、電気事業の根幹をなす方針であり、電気が空気や水のような存在となって、わが国経済の高度成長を支えて来た。また、供給支障となる事故は大幅に低減され、発電及び送配電の効率向上が図られる一方、電気料金は消費者物価と比較して上昇が少なく、ここ数年、原油価格と円高による差益還元として減額されている。これらに関しては、何れも飽和状態にあり、今回の電気事業の規制緩和、電気料金の改訂に於いては、効率化と供給信頼度のバランスが必要となる。

3. 電気事業法改正の概要

今回の電気事業の改正は、平成6年12月の電気事業審議会の中間報告「電力供給の効率化に向けての競争原理の導入」として纏められ、平成7年11月から施行された。その主な内容は、1) 電源の入札制度、2) 卸託送、並びに3) 特定地点供給からなる。

- 1) 開発期間が比較的短い火力（目安として計画から運転まで7年以内）で、数千kW以上、原則15年以上供給可能な電源を入札し、発電原価の低減を図る。
- 2) 上記の電源は、電力供給区域以外の電力会社に、託送料金、送電可能条件のもとに供給することができる。
- 3) 必要な供給設備を持つ事業者に、限定された地点内において、不特定多数の需要家に電力を供給することを許可し、電力供給の効率化を図る。この場合電力会社は、事故時、定検時のバックアップ、契約消滅後の供給義務を負う。

この他、電源や送変電設備の計画、建設に伴う許認可制度が大幅に改訂され、大部分が届出制となり、電気事業に係わる業務の簡素化が図られる。（図1参照）

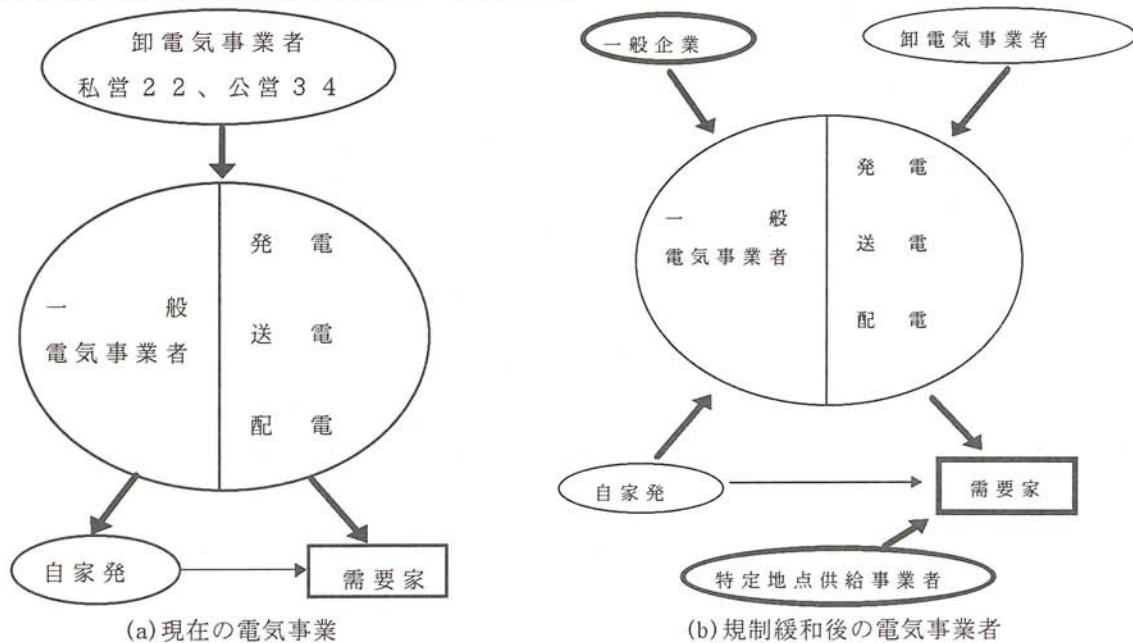


図1 規制緩和の概要

一方、電気料金については、電気事業審議会では当初、現行の総括原価方式を見直す方針で、検討が進められていたが、地域独占と供給義務を課している体制に於いては、安定な供給を前提にしつつも、低廉な電気料金を実現することを目指して、「電気事業者の経営効率化を促す料金制度改革と、需要対策としての料金の多様化・弾力化」のため、1) ヤードスティック方式の導入と、2) 需給調整契約制度の拡大が図られている。(図2参照)

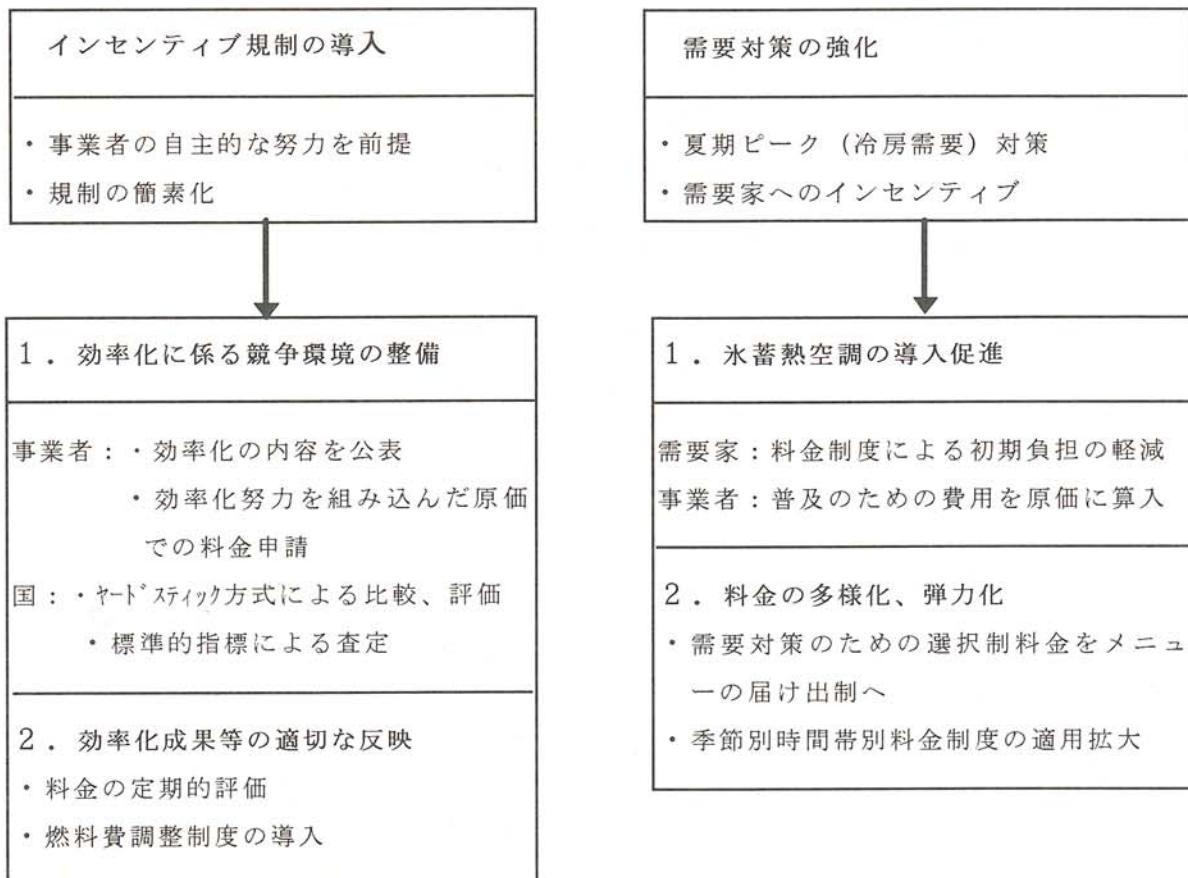


図2 新しい料金制度の概要

- ヤードスティック方式は、総括原価方式を維持しながら、電源、電源以外の設備、一般経費など電力会社の原価を定期的に評価し、査定するもので、公正さを期するため、地域補正や燃料価格の変動に対する調整などが考慮されている。
- また、負荷平準化を目的に、蓄熱調整契約制度の適用範囲の拡充と、この普及のために電力会社が支出した費用は料金原価に算定できるようにするとともに、大口需要家には、季節別時間帯別料金制度の適用拡大を図っている。

4. 電力システムの課題

既に米国では、PURPA（公益事業規制政策法、1978）、並びにエネルギー政策法（1992）により、非電気事業者による発電市場の自由化、卸託送が進められている。最近では、電力市場の一層の自由化を目指して、送電線の解法活用を図る規則案（megaNOPR）が検討されている。

欧州では、英国は1989年の民営化後、発電から配電が自由化され、他の国々でも自由化が進展している。また、EUでも市場統合の一貫として、電力市場の単一化と規制緩和を目指して議論が進められている。（表1参照）

表1 海外における電気事業の規制緩和の事例

(a) 米国に於ける電気事業の規制緩和

事 例	内 容	主 な 課 題
連邦公益事業規制政策法 (PURPA, '78)	大規模電源の建設難解消と省エネルギー推進のため、高効率発電の優先 ・認定施設 (QF) 購入義務 →コギエネ普及	
規則案 (NOPR, '88)	QFの適正化と発電市場の自由競争 ・独立系電気事業 (IPP) が増加	既契約 QF は回避可能原価より高い売電料金
エネルギー政策法 ('92)	発電市場の競争促進と卸託送の強化 ・FERCによる卸託送命令→卸託送増加 ・IPPの公益事業持株会社法 (PUHCA) 除外	卸託送に関する申請増加 送電線利用料金 回収不能投資費用
規則案 (megaNOPR, '95)	卸託送の統一ルール化と送電線開放 ・非差別的オープンアクセス→小売託送 ・リアルタイム情報ネットワーク ・回収不能投資費用の需要家からの回収	関係者にヒアリング中
カリフォルニア公益事業委員会電気事業再編案 ('95)	市場メカニズムの活用による料金低減 ・卸用プールの設立 (ISO が運用) ・リアルタイム料金と差額支払い ・パフォーマンス料金	移行費用が問題 ・発電資産 ・QFとの契約 ・規制上の義務

(b) 欧州に於ける電気事業の規制緩和

事 例	内 容	主 な 課 題
英国電気事業の民営化と電力自由化 (1989)	・CEGB を解体、3 発電会社 (NP, PG, NE) と 1 送電会社 (NGC) を創設 ・12 の地域配電局を地域配電会社へ ・プールによる入札制と小売供給の許可制、プライスキャップ料金	送電に関するコスト低減 ・供給信頼度基準見直し ・北部の安い電源へ依存し、系統安定度、電圧安定性の悪化
ノルウェー電気事業の再編 ('91)	・国営電力庁を発電公社と系統運用公社に ・基幹送電系統の開放 ・発電事業、供給事業への競争導入 (パワープール拡大と配電、供給の分離)	需給バランスの緩みによる発電事業の収支悪化、供給事業の過当競争
スウェーデン電気事業の再編 ('92)	・国営電力庁を発配電 (株) と送電局に ・SKNカンパニーで発電の共同管理・運用 ・地域独占の配電事業は地域供給特許	発電、供給の市場開放 ・送配電系統の開放 ・パワープールの創設 (スポット)
E C 委員会; 第三者アクセス指令修正案	域内単一市場化に向け ・発電部門; 各国の許可制 (入札制も可) ・送電系統; 送電系統運転者は各国が決定 ・TPA; 発電事業者との個別契約 各国の事情で TPA を拒否できる	単一購入者による買入れ

これらの規制緩和の動向は、電気事業の自由競争を徹底させ、市場原理により電気料金を低減させることにより、経済の活性化を図る点に狙いがある。しかしながら、米国では、高い買電料金に対する不服や託送問題に関する訴訟が増加し、英国では電気料金が下がらないなど、現状での制度に関する課題が見られる。また、電力システム技術面での課題も浮き上がっている。（表2参照）

表2 規制緩和に於ける電力システムに課題

分野	主な課題	具体的な内容
電源の計画・運用	短期、長期的な電源計画 電源の最適運用	<ul style="list-style-type: none"> ・総合的エネルギー利用計画（IRP） ・不確定性を考慮した電源計画 ・IPP、NUG を含む予備力の最適化 ・電源の最適運用計画（補修計画、DSS、WSS、ELD）
衛陶の計画・運用	供給信頼度の評価 系統の安定性確保 運用制御の協調	<ul style="list-style-type: none"> ・各種事故に対する供給信頼度基準 ・任意電源に対する供給信頼度評価と対策 ・系統運用目標 ・各種系統安定化方策の適用性 ・電源側、系統側の保護協調 ・電圧・無効電力対策の最適化 ・周波数制御の協調

1) 電源の計画・運用

発電市場が自由化されたとしても、電力需要は代われないため、これを賄う電源を短期、長期的に確保する必要がある。この役割をこれまで送電を行う電力会社が担ってきたが、発電市場の競争が激しい米国では、新規電源開発の半分以上を非電気事業が占めており、短期、長期の電源計画が困難な状況にある。

電源の運用に於いては、需要変動等に対する予備力の確保と、運用費用の最小化のための経済負荷運転が重要な課題であるが、英国では、プールでの運転マージンとして予備力を買い入れ、待機状態の期間の費用を支払う方式が採られており、如何に経済的に需給調整を行うかが課題となっている。また、非電気事業の電源は自身の経済性を優先とするため、全体で見た経済負荷運用が損なわれることや、原子力等大規模電源の補修等のための余分な電源確保などに対し、総合的な電源運用が必要となる。

- ・総合的エネルギー利用計画
- ・運転（DSS、WSS、ELD）の最適優先順位

2) 電力系統の計画、運用

電気事業、非電気事業に係わらず、発電した電力は電力系統を通じて需要家に供給される。英国のプールでは、この電力輸送に係わる無効電力供給や周波数調整、送電制約に於ける振替供給、停電復旧のための電源確保などの費用をその提供者に支払う方式となっており、これに送電距離や供給信頼度に応じた送電線の利用料金を加えると、発電に於ける競争で発電価格が低減出来たとしても、需要家の電気料金が安くなると言う保証がない。

また米国系統は、異なる電圧階級の長距離送電線によるループ構成となっているため、所期の潮流が送電線に乗らない、所謂ループフローが生じる。このため、直列コンデンサや移相変圧器などによる調整を行われている。このことは、託送による電力が無制御に系統内を流れ、系統事故等による系統構成の変化が生じた場合、部分的な送電線の過負荷が事故波及となる危険性をはらんでいる。

このような状況を想定して場合、電力系統の計画、運用面で以下の課題が想定される。

3) 供給信頼度の評価

電源の停止や負荷の変動に対し、十分な予備力を持つことに加え、系統事故等に対し、潮流の過負荷、系統の安定度、電圧安定性が問題とならない系統構成が必要であり、このための設備投資をどれだけ減らし得るかが課題である。規制緩和により安価な電源を求めるることは、電源立地の問題を解決する反面、任

意の地点の電源からの供給となるため、各電源の連係に対する最適な設備形成（送電線、変電所、系統安定化装置など）と供給信頼度の評価が必要となる。また、この供給信頼度を維持するための対策費用の負担が課題となる。

- ・各種系統事故に対する供給信頼度の基準
- ・任意の電源に対する供給信頼度の評価と対策

カ) 系統安定性の確保

任意の電源配置は系統の安定運転に大きな影響を及ぼす。英国では、老朽火力の廃止が進む一方、需要家近傍の電源の開発が進まず、遠方の水力が活用されている。このため、需要側の電圧安定性とともに、電源の安定度が問題となっている。また、米国では、託送の増加がループフローを助長させることから、所謂 FACTS による潮流制御、系統安定化が注目されている。このような系統安定性に対する対策は、従来、電源と系統を一体にして進められて来たが、規制緩和で電源と系統が分離した場合、その対策の主体を明確にして、費用負担を考える必要がある。

- ・系統運用目標の明確化（系統の安定度、電圧安定性、事故波及防止）
- ・各種系統安定化策の適用性
- ・電源側、系統側の保護協調

キ) 運用制御の協調

電力系統の周波数、電圧の維持も、発電と系統が一体となって行うことにより、効率的な運用が可能である。英国では、プールにこれらの提供者を入れさせて運用しているが、例えば無効電力については、最適な地点で必要な容量が確保出来るかが課題であり、周波数についても、最適な機能が發揮出来るように電源が揃えられるかが問題となる。

- ・電源・無効電力対策の最適化
- ・周波数制御の協調（最適な AFC のあり方）

5. あとがき

今回の電気事業の規制緩和と料金改訂に関して、主に電力システムの技術について内外の情報を調査し、これまでの電気事業のデータをもとに検討した。ここで述べた内容は、既に規制緩和が進んでいる米国、欧州の状況からの展開であるため、わが国の実情と掛け離れた部分も無くはない。規制緩和が話題となって以来、ずっと気に掛かっていた「今後自由競争が進んだ場合、本当に効率化が進み、電気料金が安くなるのか？」「これまでの電気事業の信頼性、効率化の努力との関係は？」等の疑問に対する答えを得んと試みたが、十分とは言えない結果となっている。しかしながら、ここで述べた技術課題は、規制緩和に乗り出したわが国でも早晚直面せざるを得ないものと考えられる。今後は、機会あるごとにこれらの実情を調査して、一層確かな結論を得たい。

[参考文献]

- (1) 電気事業連合会統計委員会編「電気事業便覧」
- (2) 日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター編「エネルギー経済統計要覧」
- (3) 資源エネルギー庁官房企画調査部編「統合エネルギー統計」
- (4) 牛丸謙二「米国電気事業における規制緩和の現状」エネルギー・フォーラム 1992. 2 号
- (5) 浅野浩志「欧米電気事業における規制と競争」電学誌 111巻 9号（平成3年）
- (6) 海外電力調査会「海外電力」

真空二重ガラス管を素材とする 新ソーラーシステムの開発 —システム化のための温度選択蓄熱槽の基礎実験—

Development of a New-type Solar System Using Vacuumed Double Glass Tube
as Elemental Part

—Fundamental Experiment of Temperature Selective Storage Tank for its Systemization—

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）

三木康臣（北見工業大学機械システム工学科）

遠藤 登（北見工業大学機械システム工学科）

梅津将広（シロキ工業株式会社）

Kimio KANAYAMA (Kitami Institute of Technology)

Hiromu BABA (Kitami Institute of Technology)

Yasutomi MIKI (Kitami Institute of Technology)

Noboru ENDOH (Kitami Institute of Technology)

Masahiro UMETU (Siroki Engineering Corporation)

Key Words: vacuumed double tube, temperature selective storage tank, solar system

1. まえがき

平成7年度の共同研究で開発された真空二重ガラス管を横置きにした「半強制循環式」コレクターまたは従来からの真空二重ガラス管コレクターを蓄熱槽と組み合わせ、システムとしての性能向上を図ることが課題となる。蓄熱槽には槽内に形成される温度分布から大別して混合型と成層型があり、エネルギーの有効利用の観点から成層型が有利とされる。

本共同研究では、まず成層型蓄熱槽として供給された温水がその温度に従って所定の層に自然に流入する「温度選択蓄熱槽」⁽¹⁾を設計、製作し、真空二重ガラス管コレクターとの組み合わせを目標に、その基本的性能を明らかにするための基礎実験を行った。つぎに、シミュレーション計算の結果⁽²⁾をもとに、実際に真空二重ガラス管コレクターと温度選択蓄熱槽からなる実験システムについて、ソーラーシミュレーターのもとで実験を行い、同様な作動特性を示すことを確認した。

2. 実験装置および方法

図1に温度選択蓄熱槽の基礎実験のための装置および系統図を示す。実験装置は温度選択蓄

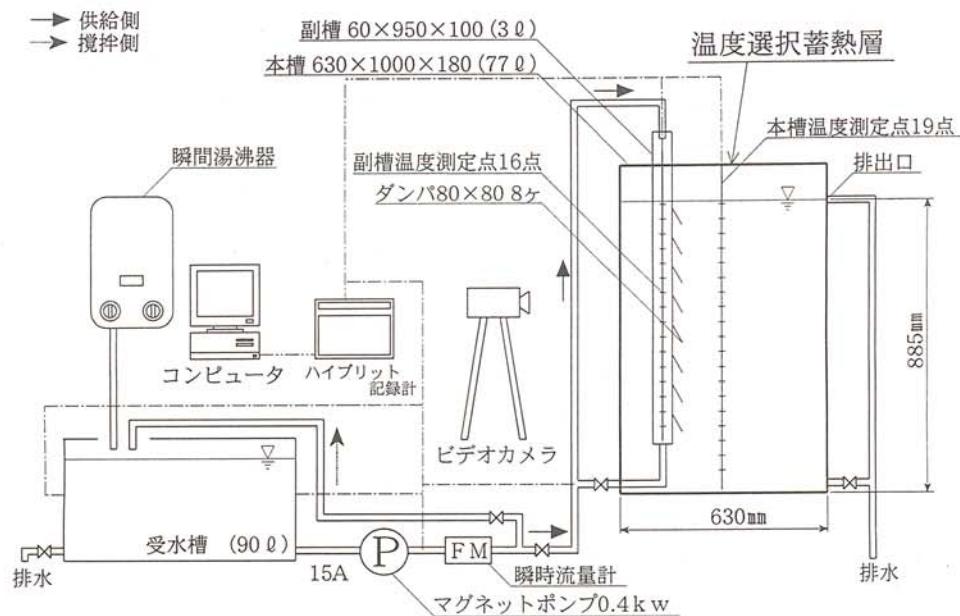


図1 実験装置の構成およびシステムフロー

熱槽、瞬間湯沸器、受水槽、送水ポンプ、流量計、温度測定機器、可視化撮影のビデオカメラ等から構成される。温度選択蓄熱槽は本槽と副槽からなり、熱媒の流れの可視化のため内部が見透せるように透明アクリル板で製作されている。本槽は寸法が $630\text{mmW} \times 180\text{mmD} \times 1000\text{mmH}$ 、体積 77l で、副槽は $100\text{mmW} \times 100\text{mmD} \times 950\text{mmH}$ 、体積 3l である。副槽には $60\text{mm} \times 60\text{mm}$ の正方形の開口部を 90mm 間隔で縦に 8 個空けてある。開口部には $80\text{mm} \times 80\text{mm}$ の正方形で厚さ 1mm のアクリル製の薄板を 2 本の半円形ピアノ線をヒンジにして開口を塞ぐようにぶら下げて自由に開閉できるフリーダンパダンパを設けてある。

ここで温度選択蓄熱槽の作動原理を説明する：

主槽があらかじめ上ほど温度が高い温水の温度成層ができた状態で、フリーダンパ付きの副槽に適宜な温度の温水が供給されると、図2に示すように水温の差に起因した密度差により、それと等しい主槽温度のレベルにおいて副槽側が若干正の差圧が生じ、その位置のダンパが自然に開いて副槽

から主槽へ温水が流入する。しかしそれ以外のレベルでは差圧が逆に負圧となり、ダンパが閉じて温水は流入できない。すなわち、副槽に供給された温水はその温度に等しい主槽温度の層に流入し、温度成層が形成された状態で蓄熱される。

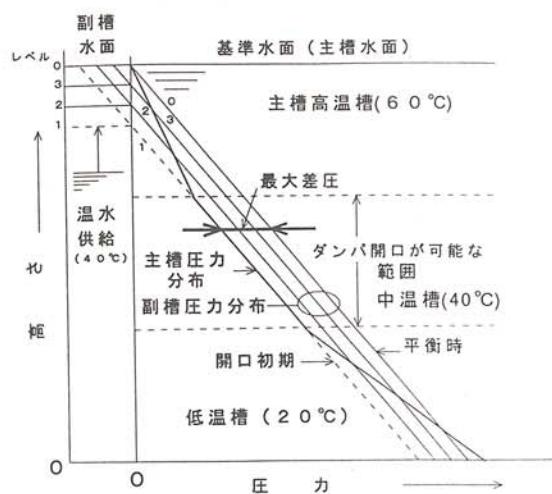


図2 ダンパ開口の原理

温度測定は本槽内に19点、副槽内に16点の熱電対感温部を縦方向に配置し、さらに受水槽内に3点および供給温水の測定に1点の合計39点で行った。熱電対からの出力はハイブリット記録計およびパソコンにより処理した。

本実験では熱媒に水を用い主槽内水深は885mmを基準とした。実験は蓄熱槽主槽の温度成層に2層(20, 60°C)、3層(20, 40, 60°C)および5層(20, 30, 40, 50, 60°C)の3種類の階段状温度勾配を与えた場合について、副槽からの供給水温度を30、40および50°Cに設定し、流量を5L/minに一定にして行った。温度勾配層3層で供給温度40°Cの場合に限り1L/minから8L/minまで流量を変化させた。

実験の手順は予め蓄熱槽内に所定の階段状の温度勾配層を形成させる。つぎに瞬時流量計を見ながら流量を調節後、瞬間湯沸器でつくられた受水層内の所定温度の温水を送水ポンプ(0.4kW)で副槽の上部から供給する。蓄熱槽内では本槽および副槽の水の密度差によって供給温度に近い本槽温度レベルのダンパが開き、供給水が副槽から本槽へ層状に流入する。本槽の増水分は上部排出口からオーバーフローにより排水される。その際、供給水をメチレンブルで着色し、可視化された蓄熱過程の流れをビデオカメラで撮影し、同時に各部の温度を10秒間隔で5分間測定、記録させる。

3. 実験結果および考察

図3から図6までは温度勾配層3層、供給温度40°C、流量5L/minで行った実験結果を示す。

図3は副槽に40°Cの温水を供給した場合の本槽および副槽の開きダンパ付近の温度の時間変化である。温水の供給開始後、本槽の約40°Cの温度勾配層のダンパが開いて本槽内に流入し、上部の排出口から高温水が排水される。その結果、開きダンパより上部の本槽の温水は時間の経過とともに徐々に温度が低下して供給温度に近づく。このことはまた、本槽の全体の温度勾配の変化を示した図4からも理解できる。

図5は副槽全体の温度勾配の変化を示す。副槽は実験開始30秒後に開きダンパの上部でほぼ40°Cに一定となり、

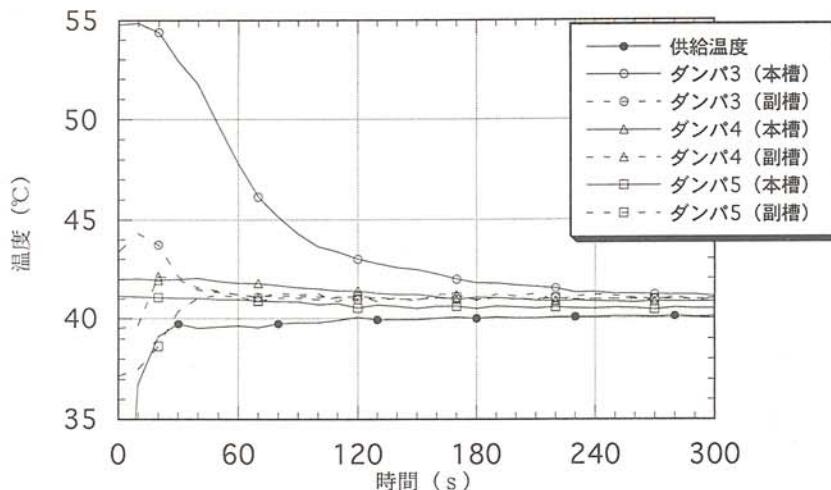


図3 温度勾配層3層、供給温度40°Cの温度変化

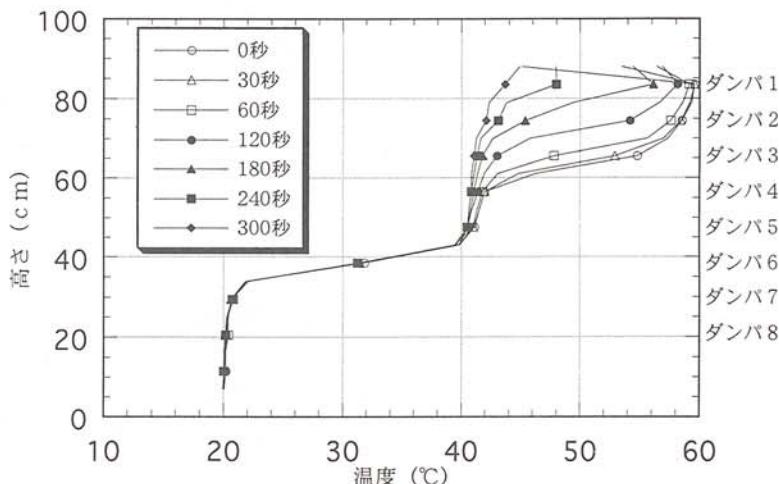


図4 温度勾配層3層、供給温度40°Cでの本槽の温度分布

その上部では本槽と同様に初期の温度勾配が維持される。

ダンパが開く位置は本槽と副槽の圧力差が最大のところである。ここで、温水供給の際の動圧は静水圧に比べて微小なので無視すると、全圧は静水圧によって表される。したがって、両者の圧力差を比較することによって開きダンパの位置を求めることができる。

図6にその圧力差を拡大して示す。すなわち実験開始直後、差圧はピークで約16Paあり、その後ダンパ1を除いて時間の経過にともない全体に減少し300秒後にはほぼ0となる。ダンパ1は一番上部の水面に近い位置にあり、差圧は約3Paで時間に対する変化も少ない。

図7に供給温度40°Cの温度勾配の層数の違いによる差圧の高さ方向の分布を示す。

2層の場合は差圧のピークが明らかにダンパ4の高さにあり、開きダンパは4であることがわかる。

写真1は温度勾配層2層のとき40°Cの温水を供給し、60秒後の成層の状況を示す。

これに対して3層および5層の場合は、圧力差の山は平坦でピークが明確でないことから、開きダンパは複数個あることが予測される。この場合、開きダンパの数が多いため温度成層性が低下することになる。この状況は可視化に

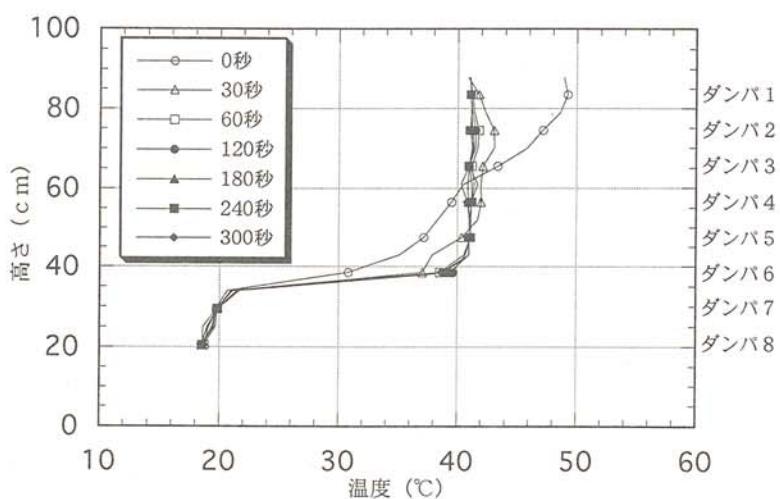


図5 温度勾配層3層、供給温度40°Cでの副槽の温度分布

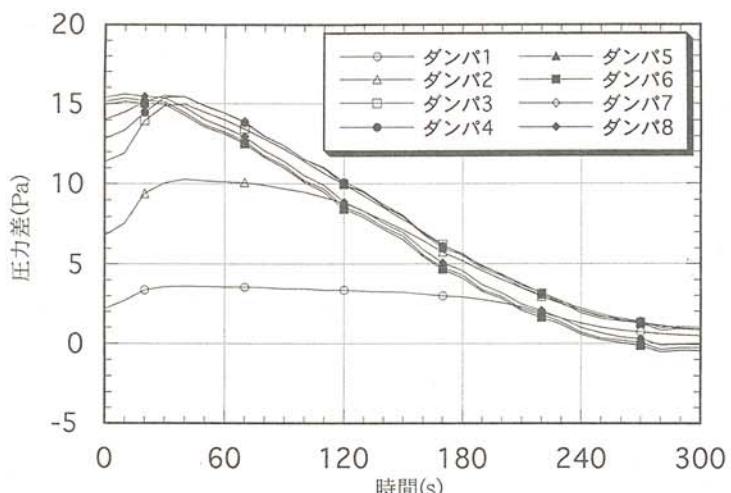


図6 温度勾配層3層、供給温度40°Cでの圧力差の時間変化

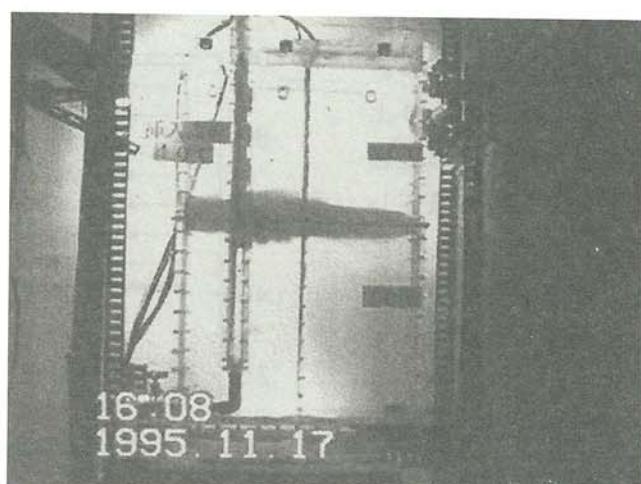


写真1 温度勾配層2層、供給温度40°Cの成層蓄熱の状況

よって確認されビデオに収められた。このことから階段状の温度勾配層の層数が少ない方が温度選択性が優れていることがわかる。

図8は温度勾配層3層(20、40、60°C)、供給温度40°Cで、流量3L/minの場合の差圧分布の時間変化である。図9は同じく温度勾配層3層、供給温度40°Cで、流量8L/minの場合である。このように供給流量が少なければ差圧は狭い高さ範囲に集中し温度成層になり易く、逆に流量が大きければ差圧は広く分布して温度成層になり難いことを示している。3L/minでは1~2個のダンパしか開かないのに対して、8L/minでは4個のダンパが開く可能性があり、この場合供給温水の流量は3L/min以下が適切なことがわかる。

以上の温度選択蓄熱槽の基礎実験の結果をもとに、温度選択蓄熱槽に真空二重ガラス管コレクターを組み合わせて、大型ソーラーシミュレーターの下での実際の集熱によって得られた温水の蓄熱実験を行った。蓄熱槽本槽の温度がほぼ室温と等しい均一温度にあるとき、成り行きで集熱し、温水の蓄熱を継続させると温度勾配が自然にできること、および予め温度勾配を与えておきこれに集熱温水を供給すると温度成層をなして蓄熱で

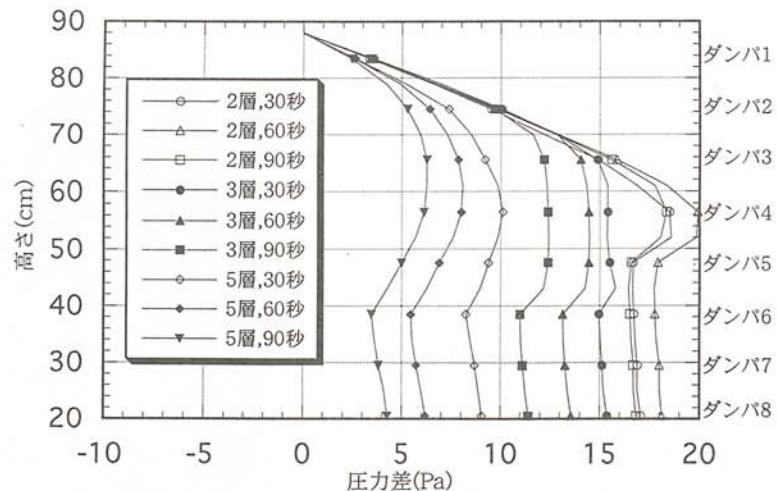


図7 供給温度40°Cでの勾配層の層数と圧力差の比較

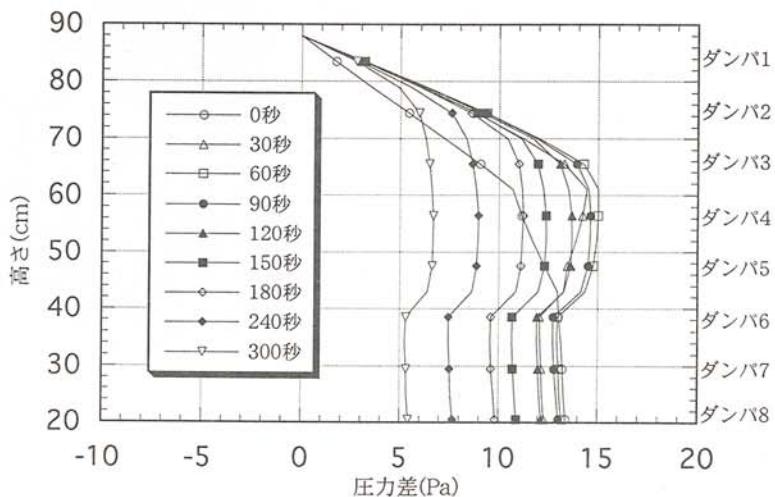


図8 3層、40°C、流量3L/minでの圧力差分布の時間変化

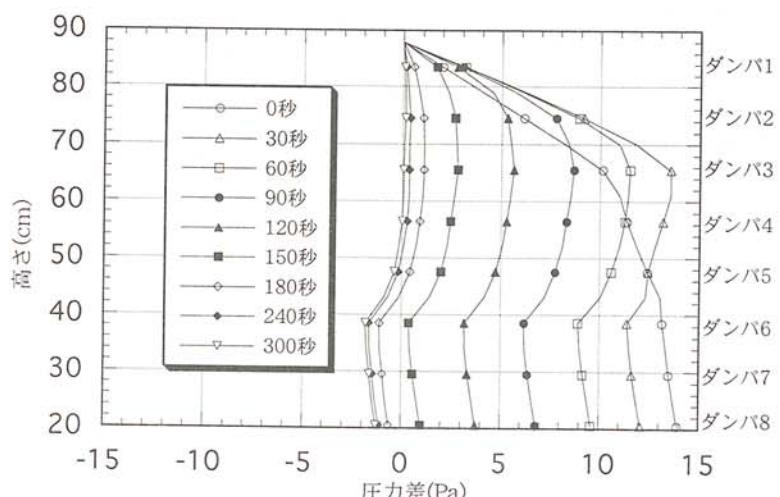


図9 3層、40°C、8L/minでの圧力差分布の時間変化

きることが明らかになった。
ソーラーシミュレーターのも
とでの組み合わせシステムの
集熱・蓄熱実験の状況を写真
2に示す。

4. むすび

本槽内にフリーダンパ付き
の副槽を有する温度選択蓄熱
槽の蓄熱時の温度成層の形成
および維持に関する基礎実験
を行って、その能力が顕著な
ことが明らかになった。温度
選択蓄熱槽に真空二重ガラス
重管コレクターを組み合わせ
て、ソーラーシミュレーター
の下で集熱・蓄熱の実験を行
ったところ、同様な効果が得
られることがわかった。この
ように温度成層を与えて蓄熱
することによって、同一熱量
でもエクセルギー的に高い状
態で維持され、そのことはエ
ネルギーの有効利用の観点か
ら望ましい方法である。

つぎはこの方法の実用化に
向けて、システムの簡素化と
用途および製品の開発を行う
段階にあると思われる。

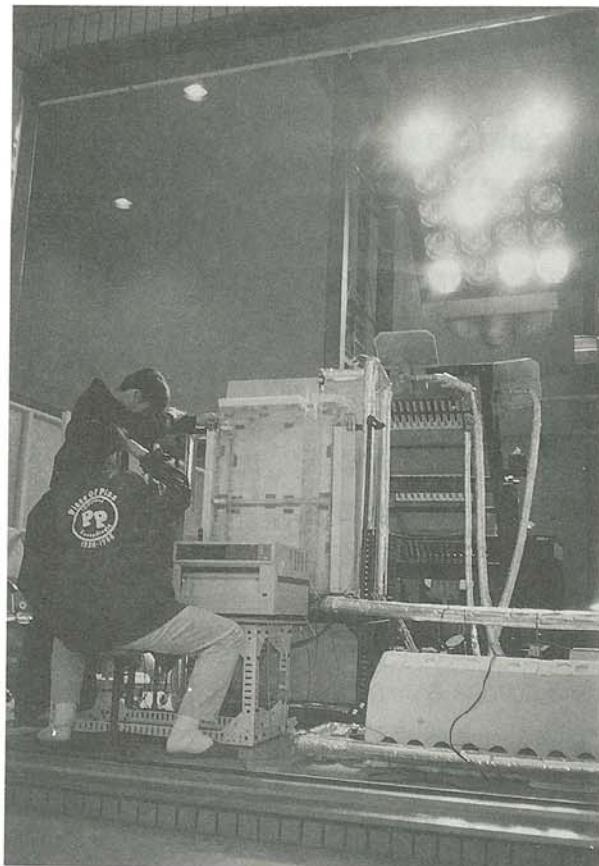


写真2 蓄熱槽とコレクターの組合せシステムの実験状況

参考文献

- (1) 神谷是行、栗原茂、空気調和・衛生工学論文集、No.5,(1994),pp.35-42.
- (2) 神谷是行、金山公夫、太陽／風力エネルギー合同研究発表会講演論文集、(1995), pp.15
7-160.

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)

保苅和雄 (北見工業大学工学部電気電子工学科)

土方正範 (北見工業大学工学部電気電子工学科)

齊藤昭弘 (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 SAITOU (The Hokkaido Electric Power Co., Inc.)

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

1. まえがき

送電線用がいしは、低気圧や台風の強い風により海から飛来する塩分による汚損や冬季間の日本海沿岸で多く発生する海塩を含んだ雪の付着と冠雪およびつららや着氷によりその絶縁性能が低下して、送電に支障を来す可能性がある。筆者らは平成3年から留萌電力所構内に設置したパイロットがいしの汚損状況を直流漏れ抵抗として観測すると共にがいしを拭き洗いしたデータとの相関を調べてきた。これらの調査結果から、がいしの直流漏れ抵抗は塩分汚損の状況や湿度、風向、降雪や降雨等の気象条件に大きく影響される事を報告してきた^(1~5)。

また、がいしが同じ程度に塩分汚損されていても、湿度により漏れ抵抗が変化する事から、実験室において種々の汚損量に関して湿度を種々に変えて漏れ抵抗を測定し、漏れ抵抗の汚損量と湿度との関係を調べている^(6, 7)。

これら実験室において測定した漏れ抵抗の湿度と汚損量との関係と、フィールドで測定したパイロットがいしの漏れ抵抗と湿度との関係から、がいしの汚損状態を推定する事は可能であると考えている。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がいし絶縁特性監視システムを構築できるものと考えられる。

今回、観測地点を苫前線沿線に更に2カ所増やすとともに、それぞれのデータをパソコンで自動的に収集し、評価できるがいし絶縁特性監視システムを開発中であるのでその内容について報告する。

2. 絶縁特性監視システムの概要

2-1 観測地点

絶縁特性監視システムの観測地点は苦前線沿いの留萌電力所、鬼鹿変電所、苦前変電所の3地点である。各地点の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。苦前、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、苦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計画である。平成8年2月よりデータ収集を開始したが、現在のところデータ収集プログラムの通信部分が未完成であり、点線の様に市販の通信ソフトを用い手動で各地点のデータを北見へ転送し、留萌、旭川の電力所へ配信している。将来的には実線で示すように、苦前、鬼鹿から留萌へデータを自動的に転送し、旭川、北見から隨時留萌にアクセスして観測データを評価できるようにする予定である。

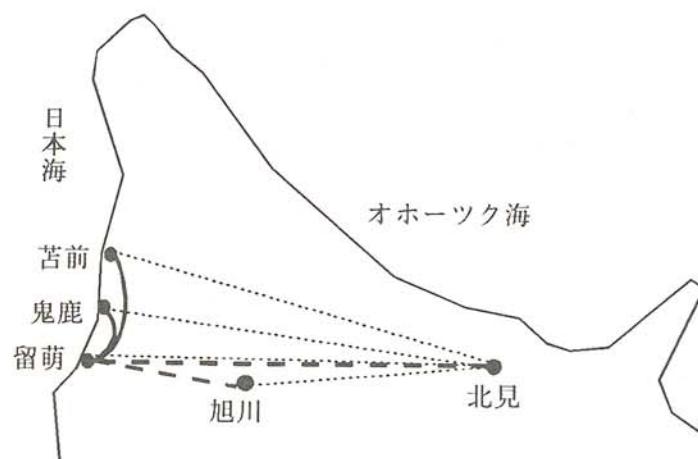


図1 観測地点

2-2 絶縁特性監視システムのシステム構成

図2に各地点に設置されたがいしの絶縁特性測定システムの構成を、また図3にパイロットがいしと測定機器の設置状況の写真を示す。図4には監視システムのフローを示す。図2に示す様にパイロ

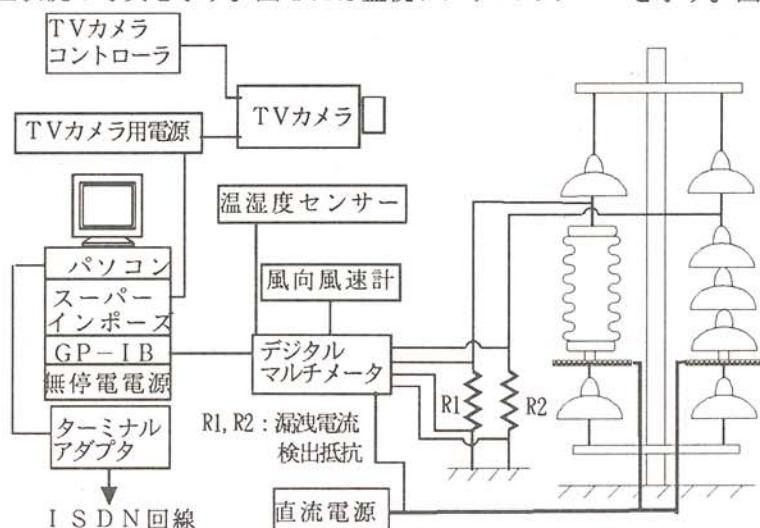


図2 監視システムのシステム構成

ットがいしは標準懸垂がいし3個連および長幹がいしを使用してパンザマスト上に設置し、これらのパイロットがいしの上下にそれぞれ1個づつ絶縁用に標準懸垂がいしを挿入した。またマスト上に風向風速計、温湿度センサーも設置した。デジタルマルチメータを介して1分毎に風向、風速、温度、湿度、長幹および標準懸垂がいしの漏れ抵抗を測定しG P - I Bを介してパソコンに取り込んでいる。がいしの漏れ抵抗は、パイロットがいし下部に取り付けた模擬導体にDC 100Vを印加して検出抵抗により漏れ電流を計測し、がいしの漏れ抵抗を算出している。また漏れ抵抗が低下した時の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。

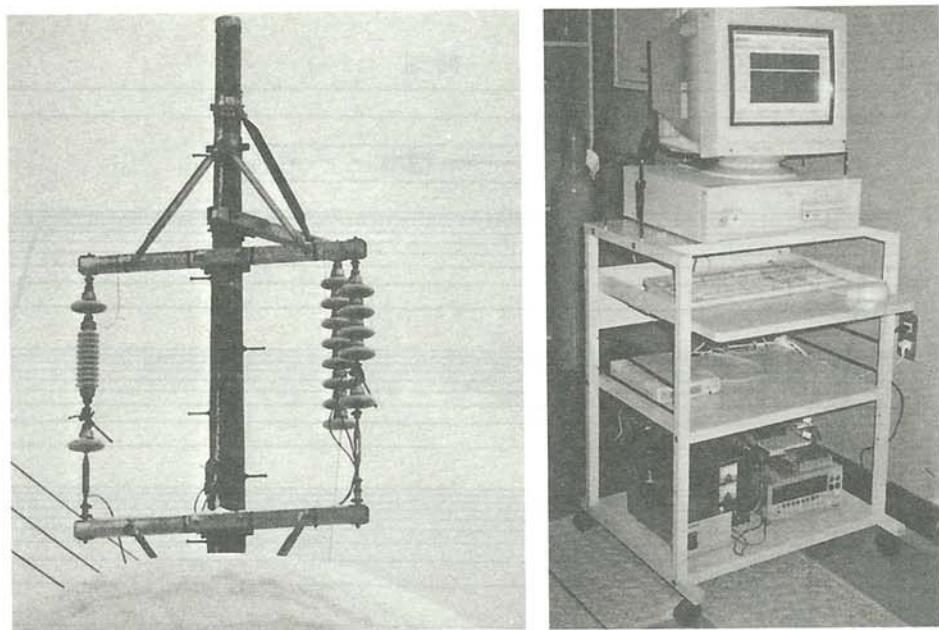


図3 パイロットがいしと測定機器の設置状況

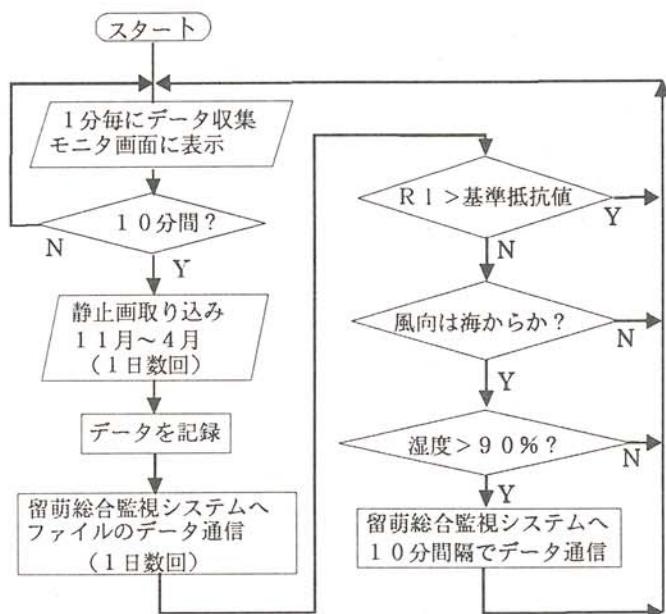


図4 監視システムのフロー

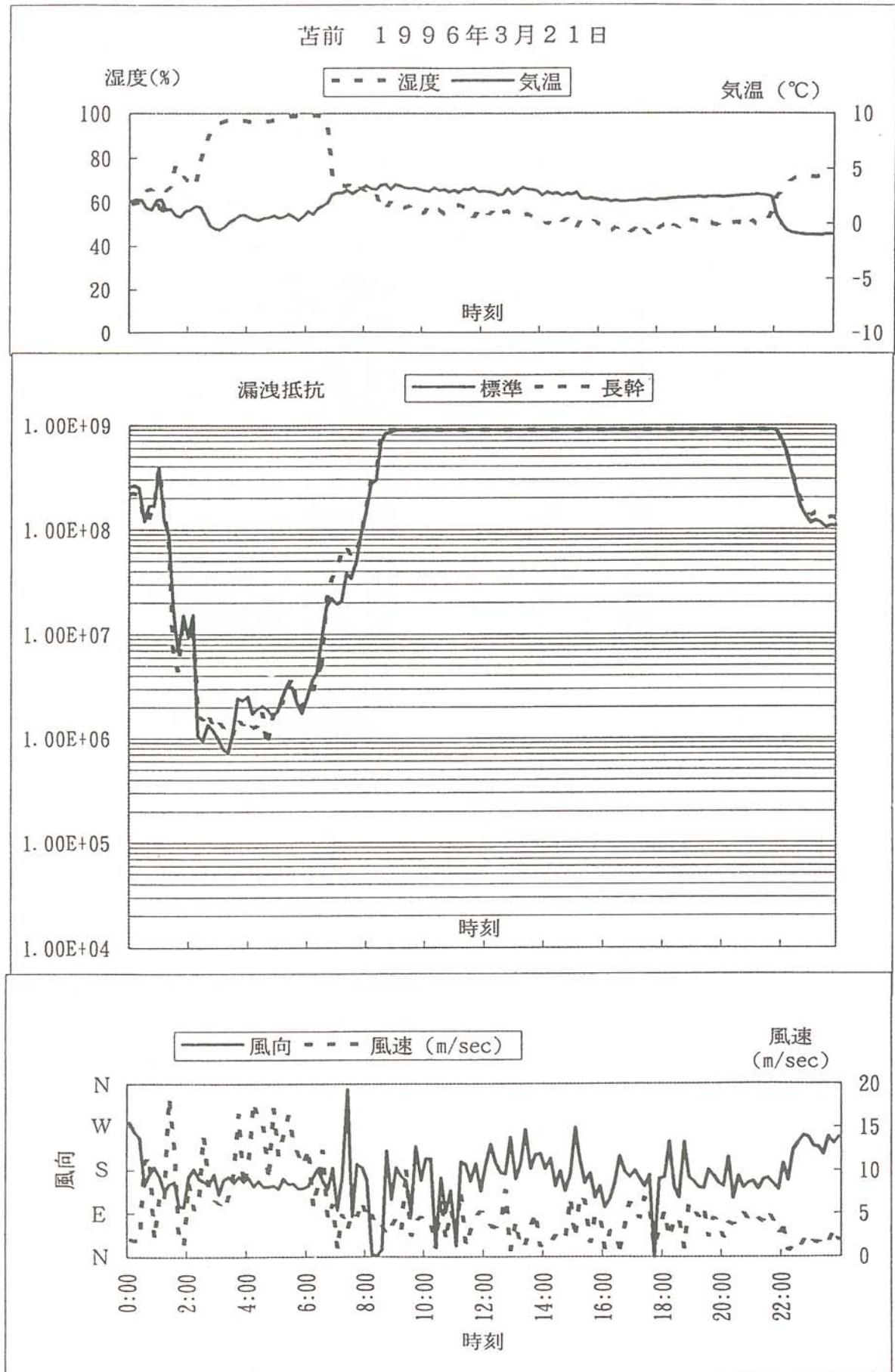


図5 苦前変電所での観測データ例

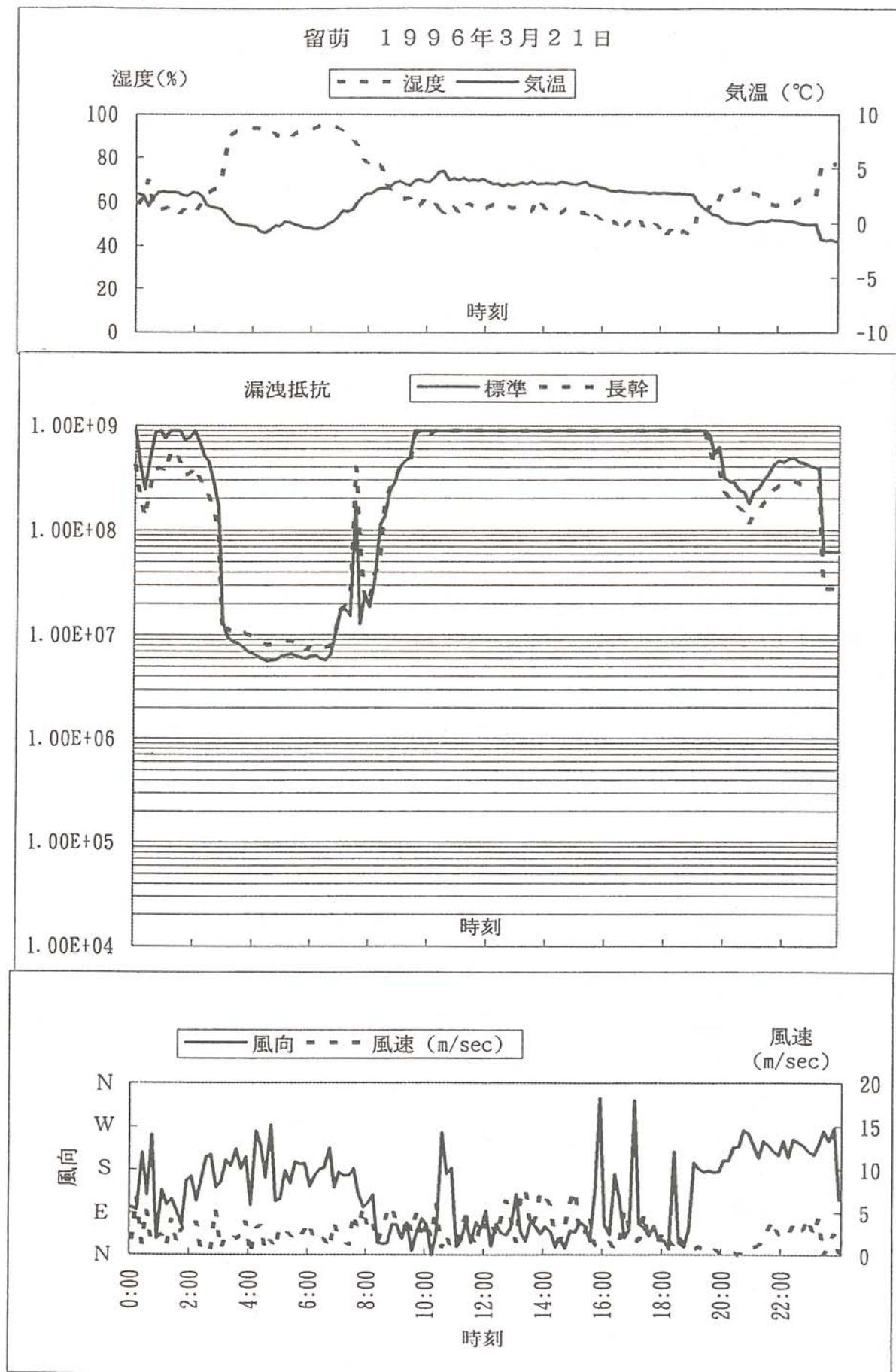


図6 留萌電力所での観測データ例

図3に見られるように、監視システムでは1分毎に各データを計測してモニタ画面に表示し、その後10分毎にデータをハードディスクに記録している。海塩の影響が観測された苦前変電所と海岸から若干内陸に入った留萌電力所の現在までに観測されたデータの一例を図5と図6に示す。湿度の上昇に伴い、これ以前に海岸からの強風などで運ばれてきた海塩粒子に依る汚損の蓄積状態のがいしが湿潤して漏れ抵抗が大きく低下した。この高湿度の時に降雨か湿雪によりがいし上面が洗浄されて、漏れ抵抗が急に大きく成って、絶縁が回復している。

現在のところ監視システムの通信部分が未完成であるため、各地点で単独にデータを収集している。秋までには、1日に数回自動的に苦前、鬼鹿から留萌の総合監視システムへ計測データ及び画像データを転送する予定である。また、その時点で実験室で得られた、がいしの漏れ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れ抵抗の基準値を設け、実際に計測した漏れ抵抗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。

3.まとめ

日本海沿岸で塩分汚損や着氷雪により送電線の絶縁が低下する可能性のある苦前線沿いの留萌電力所、鬼鹿変電所、苦前変電所の3カ所に観測地点を設け、鬼鹿、苦前の監視システムから留萌の総合監視システムにISDN回線を通じて計測データおよび画像データを転送し、各地の状況を監視できるがいし絶縁特性監視システムを開発中である。現在未完成部分があるが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、種々の改良を行う予定である。

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（I）－湿度・海風・降雨の影響－」、平成3年度電気関係学会北海道支部連合大会、No.76
- (2) 高山、渡辺、菅原、保苅、土方：「気象変化と碍子連の絶縁特性（II）」、平成4年電気学会全国大会、No.1186
- (3) 高山、渡辺、菅原、保苅、土方：「気象変化と碍子連の絶縁特性（III）－降雪の影響－」、平成4年度電気関係学会北海道支部連合大会、No.246
- (4) 保苅、菅原、高山、桑島、「気象変化と碍子連の絶縁特性（IV）－湿度変化と漏洩抵抗－」、平成5年電気学会全国大会、No.1324
- (5) 菅原、富所、保苅：「がいしの漏洩抵抗特性」、1994年電気学会高電圧研究会資料 HV-94-4
- (6) バユ、菅原、保苅、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
- (7) 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3報)

A Study on Improving the Quality of Concrete Products (Third 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)
大沼 康弘 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

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

Key words: high workable concrete, steam-curing, freeze-thaw resistance,
compressive strength

1. 序論

コンクリート製品工場では、型枠振動機やテーブル振動機を使用してコンクリートを締固める方が一般的である。しかし、この振動時間や振動の強さを適切に行うのは難しい。

高い流動性と材料分離抵抗性を兼ね備えた高流動コンクリートを製品に使用すれば、この種の問題は大きく改善されると思われる。高流動コンクリートを工場で採用するにあたり、ある程度のコストアップは考えられるが、製造設備・型枠の損傷の低減、製造工程の省力化、電力消費量の低減、脱型時の製品の不良率の低減等の利点¹⁾があり、結果として大きなコストアップとはならないと考えられる。

そこで、本研究ではセルロース系増粘剤を用いた高流動コンクリートを製品へ応用するにあたり、蒸気養生条件（特に前養生時間）と配合（水セメント比）が耐凍害性と圧縮強度に及ぼす影響について検討した。なお、W/C=50%のコンクリートのデータについては、既往の報告書²⁾を参考にしている。

2. 実験方法

2.1 配合

表1に配合を示す。スランプフロー、空気量の目標値は、スランプコーン引上げ15分経過後で各々60±5cm、4.5±0.5%とした。

表1 配合

配合名	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			
SC-40	40	41	175	438	698	1007	0.300	1.7	0.052
SC-50	50	45	175	350	789	979	0.300	2.5	0.030

2.2 供試体の作成

1 蒸気養生条件につき、圧縮強度試験用として、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の供試体を3個×5材齢=15個、急速凍結融解試験及び硬化コンクリートの気泡組織測定用として $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の供試体を合計4個作成した。二層に分け各々突き棒で10回突いた後、木づちで軽く叩き締め固めた。

2.3 養生

1) 蒸気養生

供試体を打込み後、型枠のまま蒸気養生槽に入れ、常圧で養生を行った。蒸気養生条件を表2及び図1に示す。積算温度の基準温度は0°Cである。温度上昇を行う前の養生を前養生(温度20°C、40°C)とし蒸気養生槽内で行った。等温養生終了後は、供試体をそのまま蒸気養生槽内に静置し徐冷を行った。

2) 脱型後の養生

供試体は養生開始から約24時間で脱型し、急速凍結融解試験開始材齢、または、圧縮強度試験材齢まで室温約20°Cの部屋で麻袋を被せ、散水し養生を行った。

3) 標準養生

比較のために蒸気養生を行わず、型枠のまま恒温恒湿室(室温20±2°C、相対湿度90±5%)に1日静置した後、所定の試験材齢まで水中養生(温度：20±2°C)を行った供試体を作製した。

表2 蒸気養生条件

条件 条件番号	前養生		温度上昇	等温養生		積算温度(°C·h)	
	温度 (°C)	時間 (h)	昇温速度 (°C/h)	最高温度 (°C)	保持時間 (h)	前養生	等温養生
No. 0*	—	—	—	—	—	—	—
No. 1				45			180
No. 2				65	4		260
No. 3				85		40	340
No. 4	20				2		130
No. 5		2			6		390
No. 6		1				20	
No. 7		4				80	
No. 8		1				40	260
No. 9		2				80	
No. 10	40					160	
No. 11		4					130
No. 12		2				80	390
No. 13		2		85	4		340

* : 比較のための標準養生

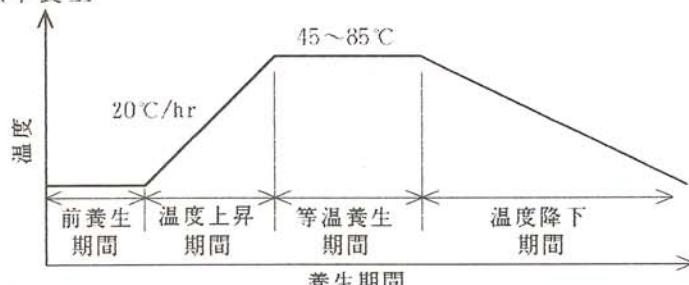


図1 蒸気養生条件

3. 試験項目

3.1 圧縮強度

JIS A 1108に準拠し、円柱供試体を用い材齢1、3、7、14、28日に試験した。

3.2 耐凍害性

角柱供試体を1条件に3個用い材齢14日まで養生した後、土木学会規準「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠し水中における急速凍結融解試験を行った。試験結果からASTM C 666に準拠して凍結融解300サイクルあるいは相対動弾性係数60%を基準とした耐久性指数を求めた。

3.3 ひび割れ面積

角柱供試体1個から $10 \times 10 \times 3\text{cm}$ の試料を切断し、測微鏡を用いて $10 \times 10\text{cm}$ の試験面に発生したひび割れの長さ及び幅を計測しその積を求め、積を合計した値をひび割れ面積(mm^2)とした。

4. 実験結果及び考察

表3にW/C=40%の供試体の圧縮強度及び表4にW/C=50%の供試体の圧縮強度、ひび割れ面積、耐久性指数を示す。

表3 実験結果 (W/C=40%)

供試体名 (W/C=40)	圧縮強度 (kg/cm^2)				
	材齢 (日)				
	1	3	7	14	28
SC40-0	163	251	321	367	400
SC40-1	201	276	310	352	374
SC40-2	249	301	328	355	385
SC40-3	277	294	304	341	354
SC40-4	214	252	301	316	333
SC40-5	216	233	259	269	293
SC40-6	213	236	250	264	281
SC40-7	296	337	361	374	416
SC40-8	203	228	249	264	309
SC40-9	265	283	312	335	369
SC40-10	267	291	309	344	372
SC40-11	247	302	325	365	391
SC40-12	262	291	319	326	374
SC40-13	282	304	323	338	366

表4 実験結果 (W/C=50%)

供試体名 (W/C=50)	圧縮強度 (kg/cm^2)					ひび割れ 面積 (mm^2)	耐久性 指数		
	材齢 (日)								
	1	3	7	14	28				
SC50-0	72	129	222	271	305	0.0	92		
SC50-1	121	172	225	265	290	0.0	96		
SC50-2	117	130	145	164	167	14.0	98		
SC50-3	124	141	145	153	176	5.5	91		
SC50-4	122	137	196	196	208	2.6	94		
SC50-5	139	143	163	162	175	4.8	40		
SC50-6	128	144	173	192	179	12.1	39		
SC50-7	187	212	258	277	308	0.0	99		
SC50-8	132	130	145	150	162	3.0	96		
SC50-9	178	209	227	265	275	0.0	90		
SC50-10	189	211	227	262	277	0.0	92		
SC50-11	190	215	238	257	290	0.0	90		
SC50-12	204	232	234	255	274	0.0	98		
SC50-13	182	208	220	231	254	0.1	84		

4.1 前養生条件とひび割れ発生の関係

W/C=40%のコンクリートには、ひび割れは発生しなかった。一方、W/C=50%のコンクリートの約半数にひび割れが発生した。これは、増粘剤の使用に伴う凝結遅延が原因と思われる。ひび割れは打込み面に平行に面から約3cmの位置に発生しておりひび割れの幅は、0.1~0.3mm程度、長さは1~20mm程度で、骨材との界面に生じたひび割れと連続しているものも見られた。

図2にひび割れ発生の有無及び圧縮強度に及ぼす前養生期間の積算温度の影響を示す。前養生期間の積算温度を80°C·h以上にし水和を促進させると強度発現が良好となり、ひび割れが発生しない。

4.2 前養生条件の圧縮強度への影響

図3に前養生時間と材齢1日の圧縮強度の関係を示す。この結果によれば、前養生時間が長くなるにつれて、材齢1日の圧縮強度が高くなる傾向にある。しかし、前養生温度が40°Cの場合(図中破線)は、前養生時間を4時間にしても、前養生2時間に比べて圧縮強度は、高くなっていない、高温(40°C)で必要以上に前養生を行っても効果が少ない可能性を示している。前養生は

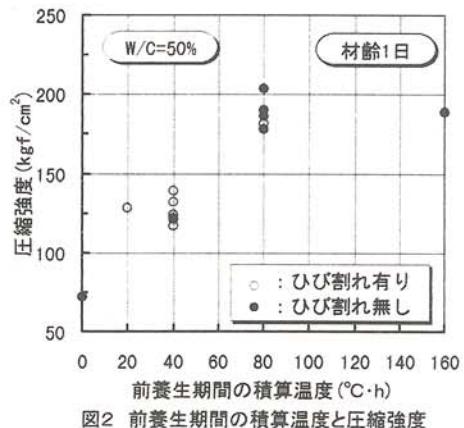


図2 前養生期間の積算温度と圧縮強度

20°Cの場合は4時間、40°Cの場合は2時間程度行うのが良いと思われる。また、材齢28日の場合においても同様に、ほぼ同じ傾向が見られた。

4.3 等温養生条件の圧縮強度への影響

図4にW/C=40%のコンクリートの等温養生期間の積算温度と材齢1日及び28日の圧縮強度の関係を示す。この図から明らかなように、等温養生期間の積算温度と材齢1日及び28日の圧縮強度の間には、相関が見られなかつた。大きな圧縮強度を得るために、等温養生期間より前養生期間の条件を適切にすることのほうが重要と言えよう。なおW/C=50%の場合も同じ傾向²⁾がみられた。

4.4 蒸気養生条件が耐凍害性に及ぼす影響

図5にW/C=50%のコンクリートの前養生期間の積算温度と耐久性指数の関係をそれぞれ示す。これらの結果から、前養生期間の積算温度と耐久性指数の間には相関は見られず、耐久性指数は一部の条件を除いて極めて高く80以上であった。また、等温養生期間の積算温度と耐久性指数の間にも相関は認められなかつた。

5. 結論

(1) W/C=50%のコンクリートの約半数に蒸気養生後、ひび割れが発生した。ひび割れの発生を防止するためには、前養生の積算温度を80°C・h以上とするか、水セメント比を小さくすることが有効である。

(2) 前養生時間が長くなると、材齢1日、28日のどちらの圧縮強度も高くなる傾向がある。しかし、高温で長時間の前養生は効果が少ないため、前養生の条件は20°C・4h、40°C・2h程度が良いと思われる。

(3) 等温養生期間の積算温度と圧縮強度の間には相関は見られなかつた。

(4) ほとんどの蒸気養生条件の場合で高い耐凍害性が得られた。

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、佐々木元：コンクリートの合理化施工に関する研究（第2報）、北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書、No.2, pp. 27-32(1995).

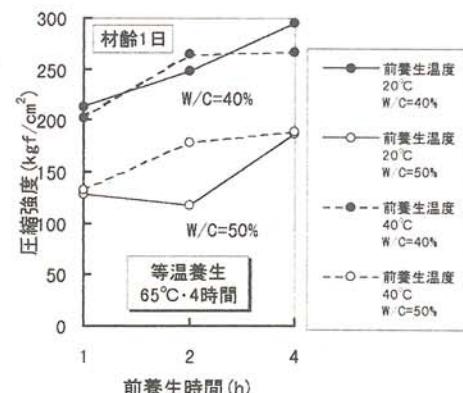


図3 前養生時間と圧縮強度

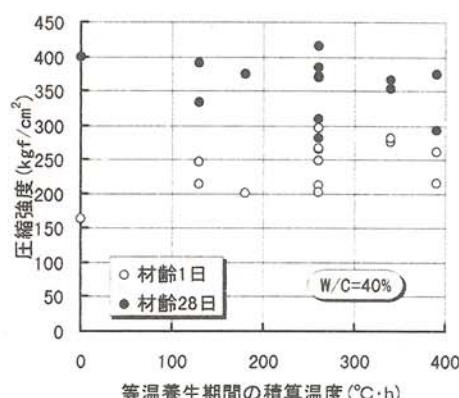


図4 等温養生期間の積算温度と圧縮強度

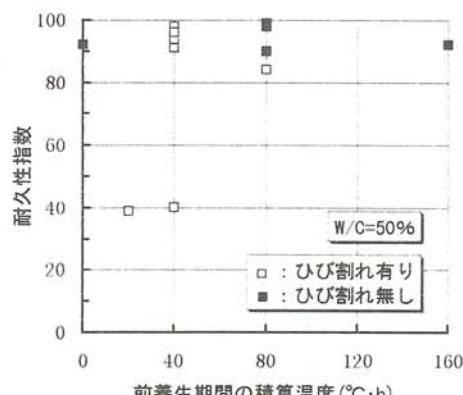


図5 前養生期間の積算温度と耐久性指数

コンクリートの合理化施工に関する研究(第3報)

A Study on Rationalization of Concrete Construction (Third 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)
佐々木 元 (五十嵐建設株式会社)
七海 隆之 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

Koichi AYUTA (Kitami Insutitute of Technlogy)
Hiroshi SAKURAI (Kitami Insutitute of Technlogy)
Hajime SASAKI (Igarashi Corporation)
Takayuki NANAUMI (Kitami Insutitute of Technlogy)

Key words : frost resistance, underwater concrete, expanded plastic micro-spheres, scaling, antiwashout admixture

1. はじめに

水中不分離性混和剤を用いた水中コンクリートは、近年、規模の大きな構造物をはじめとしてその施工実績が増加しており、コンクリートの合理化施工に資している。しかし、セルロース系の水中不分離性混和剤を用いたコンクリートは、消泡剤のため耐凍害性が損なわれる場合がある。そこで筆者らは、AE剤の代わりにプラスティック系の中空微小球(Hollow Micro-Spheres 以後、HMS)を用いて水中不分離性コンクリートの耐凍害性を向上させることを検討し、高い耐凍害性が得られることを明らかにした¹⁾。しかしながら、HMSの入手が必ずしも容易でないこと、また、HMSの添加に伴う圧縮強度の低下等解決すべき点も明らかになった。

そこで本研究では、HMSと同等の性質をもち、かつ入手しやすい中空微小球(Expanded Plastic Micro-Spheres 以後、EPM)を用いるとともに、AE剤を併用したコンクリートの耐凍害性と強度性状について検討した。

2. 実験の内容

2.1 使用材料及び配合

表-1に使用材料を示す。EPMの電子顕微鏡写真を写真-1に示す。EPMは、空気を内包したプラスティック球であり、写真で明らかなように、その径のほとんどが50μm程度以下である。また、105°Cで一定質量になるまで乾燥して求めたEPMの含水率は81.4%であった。

表-2に配合を示す。水中不分離性混和剤、流動化剤、AE減水剤の使用量は、スランプフ

ローが 50 ± 3 cmになるように定めた。EPMを添加していない配合のAE剤の使用量は空気量が $4.5 \pm 0.5\%$ になるように定めた。なお、EPMの含水量は単位水量に含めた。

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.16、比表面積：3320cm ² /g
細骨材	川砂 比重2.62、吸水率2.27%、粗粒率2.68
粗骨材	川砂利 最大寸法25mm 比重2.66、吸水率1.54%、粗粒率6.87
EPM	主成分：ポリ塩化ビニリデン
水中不分離性 混和剤	水溶性セルロースエーテル
流動化剤	高縮合トリアジン系化合物
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物 ポリオール複合体
AE剤	天然樹脂酸塩

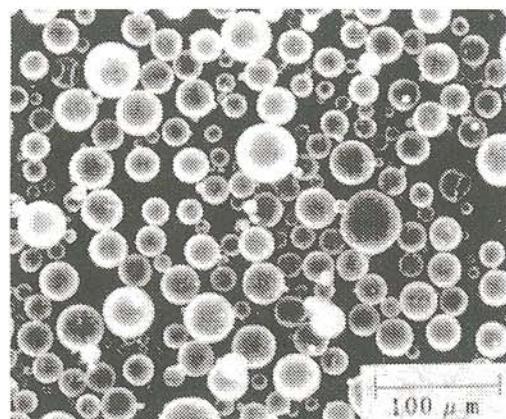


写真-1 EPM

表-2 配合

供試体名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				水中 不分離性 混和剤 (kg/m ³)	流動化 剤 (C × %)	AE 減水剤 (C × %)	AE剤 (C × %)	EPM (C × %)
			C	W	S	G					
AE	55	40	400	220	638	971	2.3	0.5	0.20	0.021	—
EPM-1.0										—	1.0
EPM-2.0										—	2.0
EPM-3.0										—	3.0
EPM-1.0-AE										0.021	1.0
EPM-2.0-AE										0.021	2.0

2.2 練混ぜ及び養生

コンクリートの練混ぜには、容量50リットルの強制練りミキサを用いた。練混ぜ方法は、セメント+細骨材+粗骨材→60秒間空練り→練混ぜ水+AE剤+AE減水剤+EPM→60秒間練混ぜ→流動化剤→120秒間練混ぜ、の手順で行った。供試体は、各試験材齢まで標準養生（20°C水中）を行った。

2.3 試験方法

(1) フレッシュコンクリート

①空気量

JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力法）」に準拠して、練上がり直後の空気量を測定した。AE剤を用いた配合の空気量の目標値は $4.5 \pm 0.5\%$ である。なお、EPMを添加した配合には空気量の目標値を設定していない。

②スランプフロー

土木学会規準「コンクリートのスランプフロー試験方法」に準拠して、スランプコーンを引

き上げてから約5分後のスランプフローを測定した。スランプフローの目標値は50±3cmである。

(2) 硬化コンクリート

①耐凍害性

10×10×40cmの角柱供試体を用い、材齢14日まで20°C水中養生した後、材齢14日から土木学会規準「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠し、水中における急速凍結融解試験を行い耐凍害性を評価した。また、ASTM C 666「Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing」に準じて凍結融解300サイクル後の耐久性指数を求めた。

②気泡組織

ASTM C 457「Standard Test Method for Micro-scopical Determination of Parameters of the Air Void System in Hardened Concrete」の修正ポイントカウント法に準拠して、画像解析システム²⁾を用い、空気量、気泡間隔係数、気泡の比表面積を測定した。

③圧縮強度

供試体の作製は、気中と水中で行った。気中の供試体作製方法は、土木学会規準「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に準拠して行った。また、水中の供試体作製方法は、土木学会規準「水中不分離性コンクリートの圧縮強度試験用水中作製供試体の作り方（案）」(JSCE-F 504-1990)に準拠して行った。

圧縮強度試験方法は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験法」に準拠し、Φ10×20cmの円柱供試体を用い、試験材齢まで20°C水中養生を行い、材齢14日、28日に試験した。

④電子顕微鏡による観察

走査型電子顕微鏡で、凍結融解試験前後の硬化コンクリート中のEPMを観察した。供試体をハンマーで砕き、2mmふるいを通過し、1mmふるいに残るペースト部分を試料とした。

3. 実験結果及び考察

フレッシュコンクリートの性状、凍結融解試験、気泡組織測定及び圧縮強度試験の結果を表-3に示す。

表-3 実験結果

供試体名	空気量 (%)	スランプ フロー (cm)	凍結融解試験 ^{*1}		硬化コンクリートの気泡組織			圧縮強度(kgf/cm ²)			
			質量 減少率 (%)	耐久性 指數 (%)	空気量 (%)	気泡間隔 係数 (μm)	比表面積 (cm ² /cm ³)	気中作製		水中作製	
			材齢 14日	材齢 28日	材齢 14日	材齢 28日	材齢 14日	材齢 28日	材齢 14日	材齢 28日	
AE	4.3	48.5	8.14	1	2.2	284	288	249	310	231	279
EPM-1.0	4.5	49.0	7.79	68	3.4	237	281	238	272	208	247
EPM-2.0	5.0	49.0	1.92	90	4.0	225	281	206	241	179	221
EPM-3.0	5.0	51.0	0.19	98	4.3	196	309	180	219	164	199
EPM-1.0-AE	5.2	49.0	11.01	79	3.5	202	327	246	270	219	251
EPM-2.0-AE	5.5	50.0	3.62	90	3.9	217	291	221	244	192	219

*1 : AEは凍結融解回数98回で破壊、質量減少率は凍結融解回数75回終了時の値

その他の配合は凍結融解回数300回で試験終了、質量減少率は凍結融解回数300回終了時の値

3.1 EPM添加量とスランプフロー

図-1にEPM添加量がスランプフローに及ぼす影響を示す。水中不分離性混和剤、流動化剤、AE減水剤の使用量は一定である。EPM添加量が増加するにつれてスランプフローが大きくなる傾向にある。既往の研究結果³⁾と同様に、EPMがエントレインドエアと同様にコンクリート中でボルバーリングの作用をしたためと思われる。

3.2 EPM添加量と耐凍害性

(1) 質量減少率

図-2にEPM添加量が凍結融解300サイクル終了時の質量減少率に及ぼす影響を示す。EPMを添加せずにAE剤だけを使用した場合の質量減少率は、凍結融解300サイクル以前で破壊したため、破壊サイクル時（表-3欄外参照）の値を示してある。EPMのみを添加した場合は、EPM添加量を増加させるにつれてスケーリング抵抗性が改善され、EPM添加量を3.0 (C×%) とすると凍結融解作用による質量の減少はほとんどなくなった。また、EPMとAE剤を併用した場合も、EPM添加量を増加させるにつれてスケーリング抵抗性が改善されるが、EPMのみ添加した場合と比較すると質量減少率は大きい値を示した。

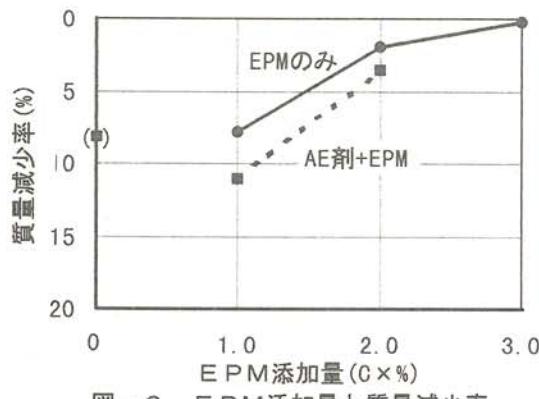


図-2 EPM添加量と質量減少率

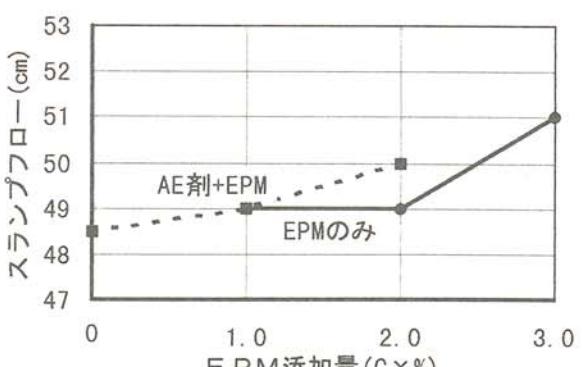


図-1 EPM添加量とスランプフロー

(2) 耐久性指数

図-3にEPM添加量が耐久性指数に及ぼす影響を示す。EPMを添加せずにAE剤だけを使用した場合には非常に低い耐久性指数を示しているのに対して、EPM添加量を増加させるにつれ耐久性指数が高くなり、EPM添加量を2.0 (C×%) 以上とすると耐久性指数が90以上を示した。また、EPMとAE剤を併用した場合、EPM添加量を1.0 (C×%) とすると、EPMのみ添加した場合より耐久性指数は高くなった。

(1)、(2)の結果から、EPMを添加することにより耐凍害性を向上させることができること、AE剤を併用すると質量減少率が大きいものの耐久性指数は同等以上になることが明らかになった。

3.3 EPM添加量と硬化コンクリートの気泡組織

(1) 空気量

図-4にEPM添加量がエアロスに及ぼす影響を示す。ここでのエアロスは、フレッシュコ

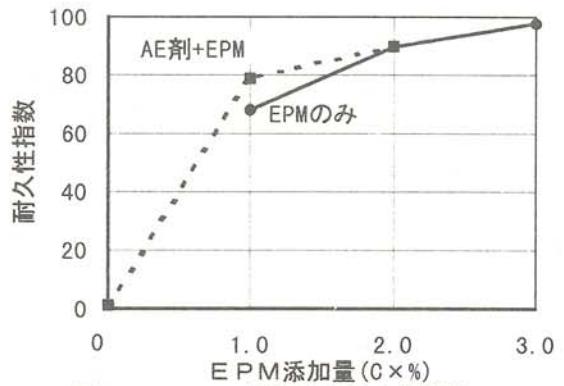


図-3 EPM添加量と耐久性指数

ンクリートの空気量から硬化コンクリートの空気量を差し引いたものである。EPM添加量が増加するにつれてエアロスが少なくなっている。AE剤を使用した場合にエアロスが比較的多いのは、水中不分離性混和剤の中に含まれている消泡剤がエントレインドエアも消したためと思われる。

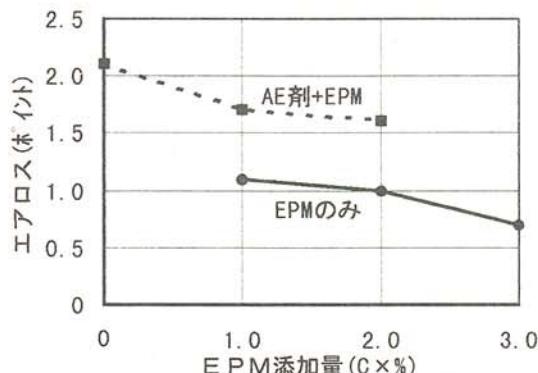


図-4 EPM添加量とエアロス

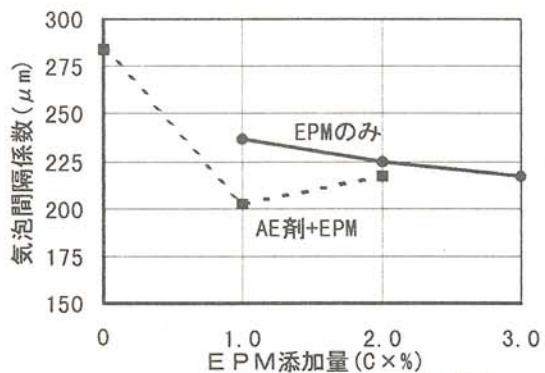


図-5 EPM添加量と気泡間隔係数

(2) 気泡間隔係数

図-5にEPM添加量が気泡間隔係数に及ぼす影響を示す。EPMを添加せずにAE剤だけを使用したものに比べて、EPMを添加した場合には、気泡間隔係数は小さくなっている。

以上の気泡組織の試験結果から、EPMを添加するとエアロスが少なく、気泡間隔係数が小さくなることが明らかになった。その結果、水中不分離性コンクリートの耐凍害性が向上したものと考えられる。

3.4 硬化コンクリート中のEPM

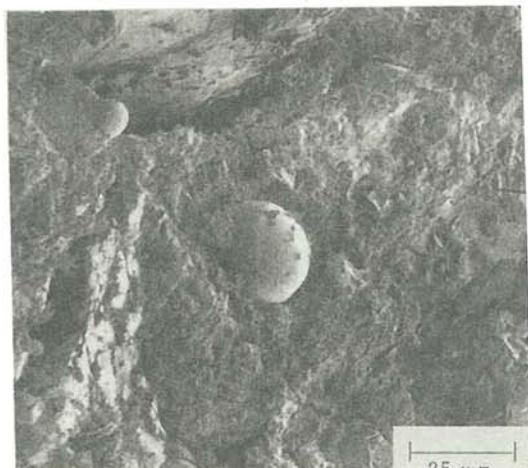


写真-2 硬化コンクリート(EPM-3.0)
中のEPM(凍結融解試験前)

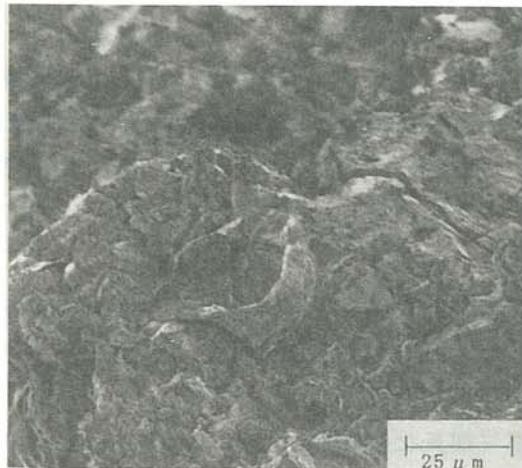


写真-3 硬化コンクリート(EPM-3.0)
中のEPM(凍結融解試験後)

写真-2に、凍結融解試験前のコンクリート(EPM-3.0)の電子顕微鏡写真を示す。写真で明らかなように、硬化コンクリート中でもEPMは、大部分が完全な球体を保っており、練混ぜ時につぶれずに安定して存在している。しかしながら、変形しているものもわずかに存在した。写真-3は、凍結融解試験300サイクル終了後の同じ配合のコンクリートの電子顕微鏡写真である。既往の研究結果³⁾と同様に、凍結融解試験前のEPMと比べると、完全な球体を保っているものは少なく、変形したり、破損したりしている。これは、凍結融解作用によって発生した

水圧がEPMに作用したためと考えられるが、EPMは中空なのでプラスティック膜が破れた後にはエントレインドエアと同じ効果を発揮しているものと思われる。

3.5 EPM添加量と圧縮強度

図-6にEPM添加量が圧縮強度に及ぼす影響を示す。EPM添加量を1.0(C×%)ごと増加させると、EPMのみ添加した場合、EPMとAE剤を併用した場合ともに、圧縮強度は約1割程度低下した。水中作製供試体の圧縮強度は、気中作製供試体のそれより約1割程度低い値を示している。EPMとAE剤を併用した場合とEPMのみ添加した場合を比較すると圧縮強度はほぼ同じであった。

以上の結果から、AE剤を使用し、EPMの添加量を少なくした配合でも、圧縮強度が低下することが認められた。

4.まとめ

本研究の結果をまとめると以下のようになる。

- (1) EPM添加量が増えるにつれ、スランプフローが大きくなる傾向にあった。
- (2) EPM添加量を2.0(C×%)以上とすると、耐凍害性は向上した。また、AE剤を併用すると質量減少率が大きくなるが、耐久性指数は大きくなつた。
- (3) EPMを添加した水中不分離性コンクリートは、エアロスが少なく、気泡間隔係数が小さい。
- (4) 硬化コンクリート中のEPMは、凍結融解の繰返しを受ける前は、大部分が球形を保っているが、急速凍結融解試験300サイクル後には変形、破損する。EPMは中空なためプラスティック膜が破れた後は、エントレインドエアと同様な効果を発揮していると考えられる。
- (5) EPMの添加の有無にかかわらず、水中作製供試体の材齢28日の圧縮強度は、気中作製供試体のそれより約1割程度低かった。また、EPM添加量が1.0(C×%)増加するにつれ材齢28日の圧縮強度は、AE剤使用の有無にかかわらず、約1割程度ずつ低下した。

本研究の遂行にあたりご協力いただいた五十嵐建設(株)五十嵐社長なら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) 渡辺宏・堺孝司・鮎田耕一：中空微小球による水中不分離性コンクリートの耐凍害性改善効果、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.567-572 (1994).
- (2) 鮎田耕一・桜井宏・田辺寛一郎：硬化コンクリート気泡組織の照度差による画像解析、土木学会論文集、第420号/V-13、pp.81-86 (1990).
- (3) 鮎田耕一・桜井宏・猪狩平三郎・七海隆之：中空微小球を用いた水中不分離性コンクリートの性状及び耐凍害性、寒地技術シンポジウム'95講演論文集、pp.69-73 (1995).

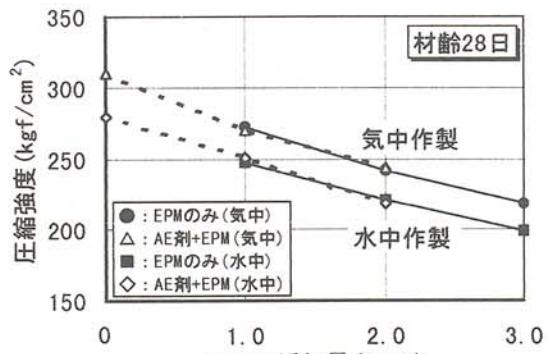


図-6 EPM添加量と圧縮強度

積雪寒冷地における 通年施工に関する研究(第3報)

A Study on Winter Construction 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）
桜井 宏（北見工業大学工学部土木開発工学科）
水元 尚也（水元建設株式会社）
久保 裕一（北見工業大学工学部土木開発工学科）

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)
Hirosaki SAKURAI (Kitami Institute of Technology)
Takaya MIZUMOTO (Mizumoto Corporation)
Yuichi KUBO (Kitami Institute of Technology)

Key words: nonfreezing agent, cold weather concreting, compressive strength, maturity, logistic curve, gompertz curve

1. はじめに

積雪寒冷地における通年施工の最大の障害は、気温が氷点下になるような温度条件である。これはコンクリートに初期凍害を起こさせるばかりでなく、その後の強度発現を停滞させ、最悪の場合、構造物自体に致命的な欠陥を生む原因ともなる。このため初期凍害防止策として、耐寒剤を用いたコンクリートの研究が行われている。著者らも耐寒剤使用コンクリートの温度と強度発現の関係などについて既に報告^{1) 2)}しているが、この結果圧縮強度は積算温度から推定可能であり、圧縮強度の発現は-16~-17°Cで停滞すること、などを明らかにした。

本報告では耐寒剤使用コンクリートの圧縮強度と積算温度との関係を2種類の強度増進曲線を用いて表し、その適合性について屋外で施工され切り取られたコア供試体の強度から検討した。

2. 実験方法

2.1 実験概要

耐寒剤使用コンクリート(NF)の養生温度を変えて材齢91日までの圧縮強度発現性状を調べた。比較のため耐寒剤を使用していないコンクリート(プレーンコンクリート:PL)も用いた。また、屋外に耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリートそれぞれのスラブを打ち込み、若材齢でコア供試体を切り取り圧縮強度を求めた。表1に養生温度を示す。

表1 養生温度

コンクリート種類	記号	養生温度 (°C)
耐寒剤使用 コンクリート	N F	20, 10, 0, -5, -10
プレーンコンクリート	P L	20, 10

2.2 使用材料

- (1) セメント：普通ポルトランドセメント（比重3.16）
- (2) 骨材：粗骨材は川砂利（最大寸法40mm、比重2.58、粗粒率7.20、吸水率1.83%）、細骨材は川砂（比重2.56、粗粒率2.70、吸水率1.98%）と陸砂（比重2.61、粗粒率2.70、吸水率1.71%）を容積比率1:1で混合。
- (3) 混和剤：耐寒剤N F（主成分：ポリグリコールエステル誘導体及び含窒素化合物）、及びAE減水剤（主成分：リグニンスルホン酸化合物及びポリオール複合体）

2.3 配合及び練上がり性状

コンクリートの配合を表2に示す。耐寒剤は単位セメント量100kg当たり5ℓ使用した。スランプの目標値は8±2.5cm、空気量の目標値は耐寒剤使用コンクリートでは5.5±1%、プレーンコンクリートでは4.5±1%とした。

表2 配合

コンクリート 種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				混和剤	
			W	C	S	G	耐寒剤 (ℓ/m³)	AE減水剤 (ℓ/m³)
N F	42.5	37.6	138	325	686	1136	16.25	—
P L							—	0.813

2.4 供試体及び養生方法

(1) 円柱供試体

供試体(Φ12.5×25cm)は、打込み後、型枠をつけたまま約10°Cの室内に3日間静置し、脱型した。脱型後、ラップフィルムとビニール袋により封かん状態にし、表1に示す所定の温度条件下に静置した。なお、このほか20°C水中養生も行った。また、供試体中心部に熱電対を埋設し、コンクリート温度を測定し積算温度の算出に用いた。

(2) コア供試体

供試体採取用スラブ(90×180×55cm)は、サロマ湖へ流入する小河川付近で作成した。打込み後、耐寒剤使用スラブは合成繊維製の不織布養生シート(厚さ3mm)で覆い、保温養生を材齡12日まで行った。一方、プレーンコンクリートスラブはブルーシートで囲い、ジエットヒータで給熱養生(設定養生温度15°C)を材齡13日まで行った。コア供試体(Φ10×20cm)は所定材齡でスラブから切り取った。また、スラブ中心部に熱電対を埋設し、コンクリート温度を測定し積算温度を算出した。

2.5 圧縮強度及び積算温度

圧縮強度試験は封かん供試体ではJIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い材

齡3~91日で実施し、コア供試体ではJIS A 1107「コンクリートからのコア及びはりの切取り方法及び強度試験方法」に従い材齡3、5、7日で実施した。コンクリートの圧縮強度 ($f'c$) は、温度 (T) によって強度発現が異なるため、寒中コンクリートのように温度が極めて低くなるような場合には、強度を温度と材齡の両者を加味した積算温度 (M) の関数式で表すのが合理的である³⁾。積算温度は一般に、(1)式により表される。

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

ここに

M : 積算温度 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$)
 T : コンクリート温度 ($^{\circ}\text{C}$)
 T_0 : 基準温度 ($^{\circ}\text{C}$) 一般に -10°C
 Δt : 時間 (日)

積算温度と圧縮強度の関係を、ロジスティック曲線及びゴンペルツ曲線を適用して解析した。これはコンクリートの水和速度が材齡によって変化するためであり、両曲線は水和速度が最大になる変曲点の位置が異なっている。ロジスティック曲線、ゴンペルツ曲線を図1、図2に、曲線式を(2)、(3)にそれぞれ示す。ここで最終到達強度 F は20°C封かん養生の材齡91日の圧縮強度を用い、 $X = \log M$ 、ロジスティック曲線では $Y = \ln\{F/(f'c - 1)\}$ 、ゴンペルツ曲線では $Y = \ln\{-\ln(f'c/F)\}$ と変数変換して最小二乗法から係数 α 、 β を求めた。

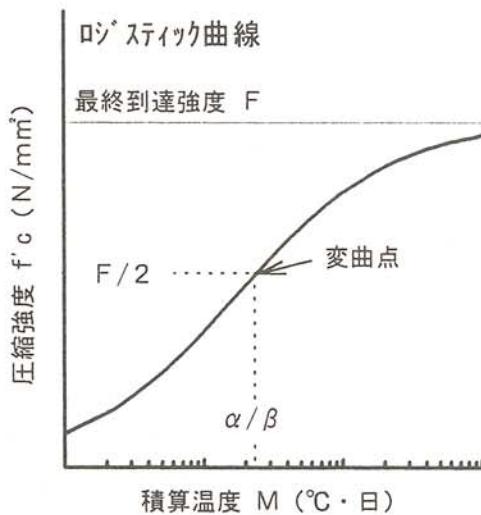


図1 ロジスティック曲線

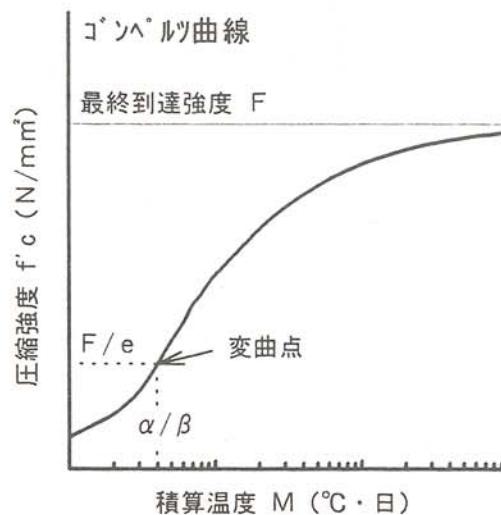


図2 ゴンペルツ曲線

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

$$f'c = F \exp\{-\alpha \exp(-\beta \log M)\} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

ここに

F : 最終到達強度 (N/mm^2)
 M : 積算温度 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{日}$)
 α 、 β : 係数

3. 実験結果及び考察

3. 1 圧縮強度

材齢91日までの耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリートの封かん養生の圧縮強度試験結果を図3、図4にそれぞれ示す。耐寒剤使用コンクリートでは $-10\sim20^{\circ}\text{C}$ の範囲で養生温度が高くなるにつれて、材齢91日までの強度は大きくなつた。 -10°C で養生された耐寒剤使用コンクリートの圧縮強度は、多少のばらつきはあるものの材齢とともに増加傾向にあり、材齢7日の圧縮強度は耐凍害性を十分確保しうる 20N/mm^2 以上であった。スラブから切り取ったコア供試体の圧縮試験結果を図5に示す。耐寒剤使用コア供試体の圧縮強度は、簡単なシート養生であったにもかかわらず、給熱養生したプレーンコンクリートのそれよりすべての材齢で大きな値を示した。

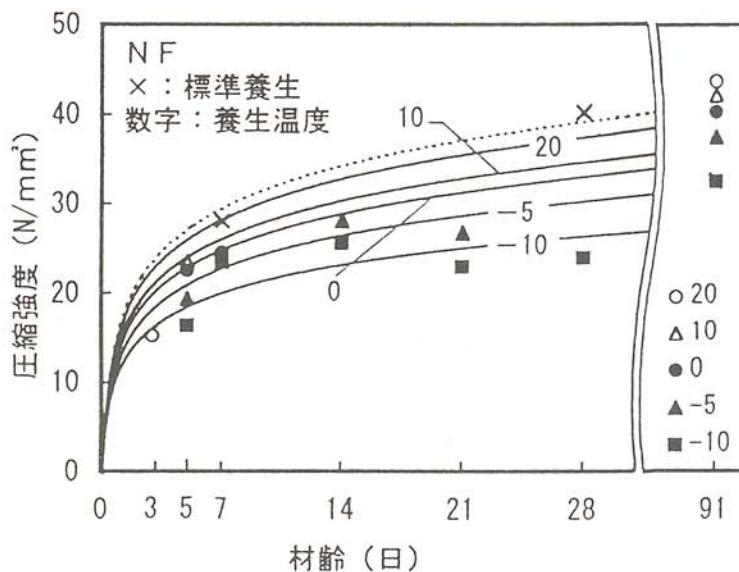


図3 圧縮強度と材齢
(耐寒剤使用コンクリート)

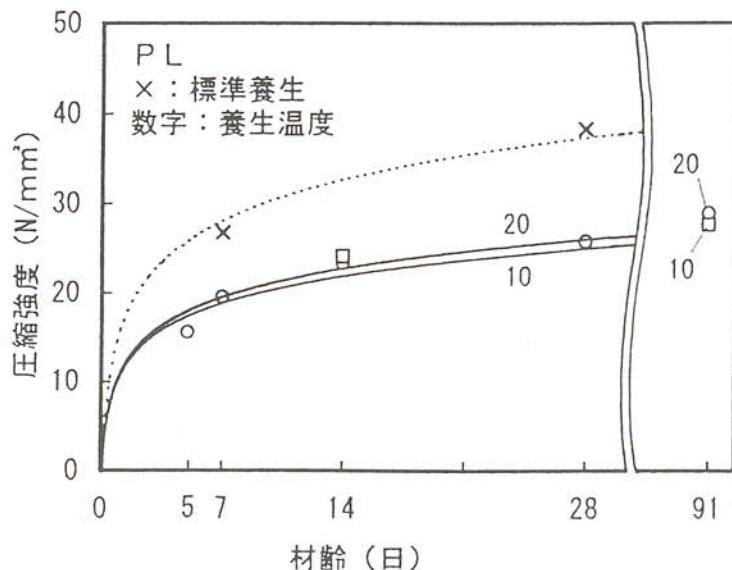


図4 圧縮強度と材齢
(プレーンコンクリート)

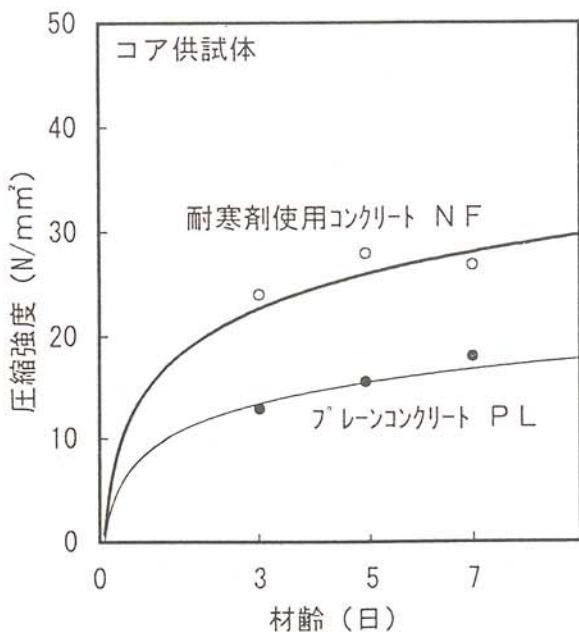


図5 圧縮強度と材齡
(スラブ切取りコア)

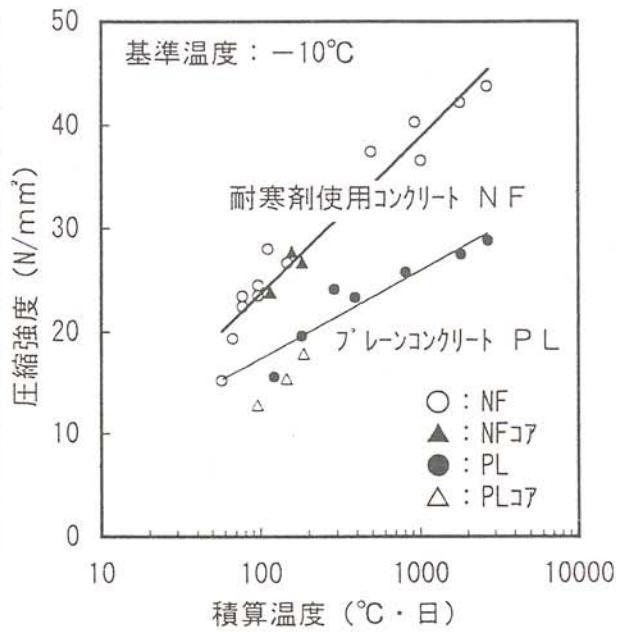


図6 圧縮強度と積算温度

3. 2 積算温度

耐寒剤使用、プレーンコンクリートの圧縮強度と積算温度（基準温度：-10°C）の関係を図6に示す。耐寒剤使用コンクリート、プレーンコンクリート両者の積算温度に対する強度増進傾向には差がみられ、耐寒剤使用コンクリートの回帰直線の傾きはプレーンコンクリートに比べ大きく、ある強度に達するまでに必要となる養生日数を短く、または養生温度を低くすることが可能である。

3. 3 強度増進曲線の適用性

強度増進曲線にロジスティック曲線を適用した場合の圧縮強度と積算温度（基準温度：-10°C）の関係を図7に、ゴンペルツ曲線を適用した場合を図8にそれぞれ示す。両曲線とも圧縮強度と積算温度の関係を精度良く表し、曲線上の圧縮強度と実際に測定した圧縮強度との相関係数はロジスティック曲線、ゴンペルツ曲線とともに耐寒剤使用、プレーンコンクリートにおいて0.98程度であった。また曲線上の圧縮強度とコア供試体の圧縮強度の差の平均値は、ロジスティック曲線、ゴンペルツ曲線とも3N/mm²以下であった。

土木学会コンクリート標準示方書では寒中コンクリートの「激しい気象作用を受けるコンクリートの養生終了時の所要圧縮強度の標準」として、連続して、あるいはしばしば水で飽和される構造物の断面の薄い場合は150kgf/cm² ($\approx 15N/mm^2$) としている。両曲線から求められる圧縮強度が15N/mm²になるときの積算温度（基準温度：-10°C）は、耐寒剤使用コンクリートでは40~47°C・日であった。これらは5°Cで養生した場合の材齡3日経過時の値であり、-5°Cの条件下では材齡5日経過時の値である。示方書では、連続して、あるいはしばしば水で飽和される構造物の5°Cで養生する場合の養生日数の目安を9日としている。耐寒剤使用により養生日数を大幅に短縮できるばかりでなく、コンクリート温度が-5°C程度になるような簡単なシート養生においても養生日数5日で所定の強度を十分満たすことが可能である。

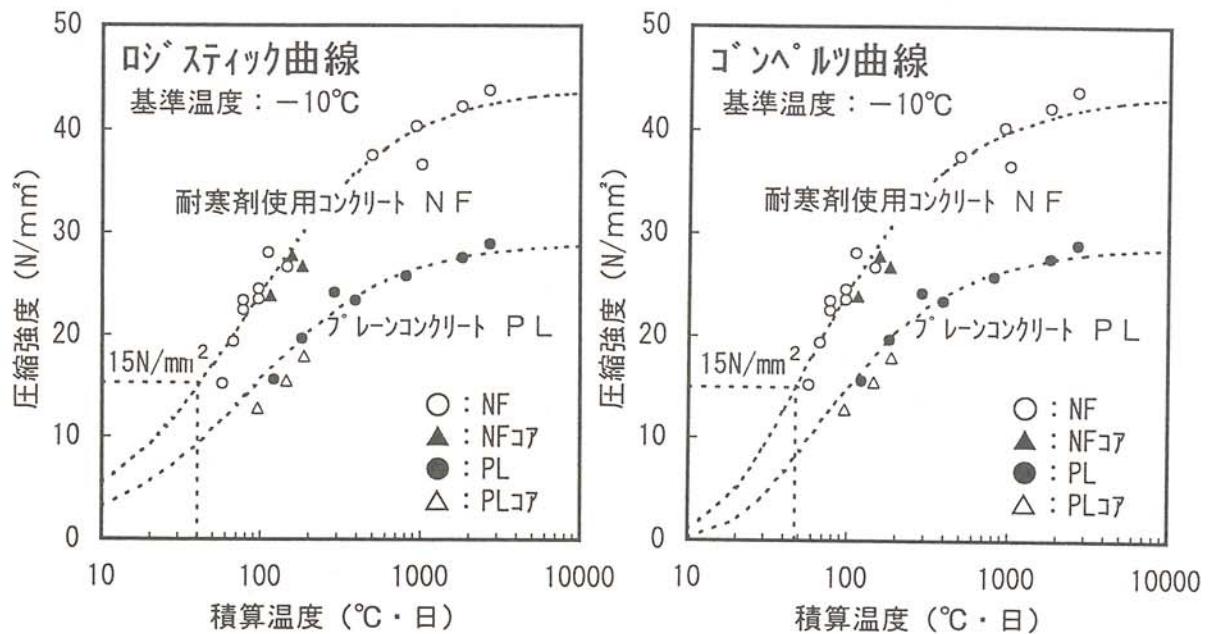


図7 圧縮強度と積算温度
(ロジスティック曲線)

図8 圧縮強度と積算温度
(ゴンペルツ曲線)

4.まとめ

耐寒剤（主成分：ポリグリコールエステル誘導体及び含窒素化合物）を単位セメント量100kg当たり5ℓ使用したコンクリート（水セメント比42.5%，細骨材率37.6%，単位セメント量：325kg/m³）を用いて行った本研究結果から以下のことが明らかになった。

- (1) 強度増進は-10℃の低温養生条件でも進行し、材齢7日の時点での圧縮強度は耐凍害性を十分確保しうる20N/mm²以上であった。
- (2) 圧縮強度と積算温度の関係はロジスティック曲線及びゴンペルツ曲線で表すことが可能であり、両曲線とも相関係数0.9以上の高い相関性を示した。
- (3) 屋外で打込まれたスラブから採取したコア供試体の圧縮強度と曲線上のそれとの差は、両曲線とも3N/mm²以下であった。

本研究にあたりご協力いただいた北見建設業協会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) 鮎田耕一、鈴木輝之、大島俊之、桜井宏、水元尚也：積雪寒冷地における通年施工に関する調査研究、北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書、第1号、pp. 37~42、(1994) .
- 2) 鮎田耕一、桜井宏、水元尚也：積雪寒冷地における通年施工に関する研究（第2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2号、pp. 33~38、(1995) .
- 3) 林正道、鮎田耕一：コンクリート工学、pp. 145~146、山海堂(1993) .

氷海域海洋コンクリート構造物の耐久設計と 耐凍害性向上に関する研究(第3報)

A Study on Durability Design and Frost Resistance
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)

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)

斎藤 爾 (北見工業大学工学部土木開発工学科)

Koichi AYUTA (Kitami Institute of Technology)

Hiroshi SAKURAI (Kitami Institute of Technology)

Nobuyuki KIMURA (Simada Corporation)

Chikasi SAITO (Kitami Institute of Technology)

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

1. はじめに

氷海域の海洋環境下におけるコンクリート構造物は、海水の浸食作用や波浪によるすりへり作用のほか、冬期間の凍結融解作用を受けるため表面剥離などの劣化が促進されやすい。表面剥離の原因は、内的要因と外的要因とに分けられる。前者は、材料、配合、練混ぜ、打込み、養生までのコンクリート自体に関するもので、後者は気象作用、すなわち気温、湿度、風、海水、雪等の影響である。これらの複合作用により長年月かかって劣化が進行するほか、施工後一冬足らずの凍結融解の繰返しを受けて表面部分の主として粗骨材の上面のモルタルが剥離する事例も少なくない。

著者らは、これらの剥離防止のために種々の実験を行ってきたが、これらで得られた結果を実気象・海象条件下で検証するためにオホーツク海に面している網走港及び太平洋に面している十勝港で暴露試験を行っている。図1に網走港と十勝港の位置を示す。本研究では、この暴露試験の結果を基に配合条件や初期の圧縮強度が剥離抑制に及ぼす影響について評価した。



図1 網走港と十勝港

2. 暴露実験の概要

2.1 暴露環境

網走港、十勝港における暴露環境はともに常時潮風を受け、波しう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、十勝港の暴露状況を写真2に示す。暴露供試体は網走港

が2tf、十勝港が3tfの消波ブロックを用いた。暴露は網走港、十勝港とともに1988年10月から開始した。表1に網走港（網走）及び十勝港（広尾）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。最高気温と最低気温では両港に大きな差はみられないが、凍結融解回数は網走港に比べて十勝港のほうが年平均20回程度多くなっている。



写真1 網走港暴露状況

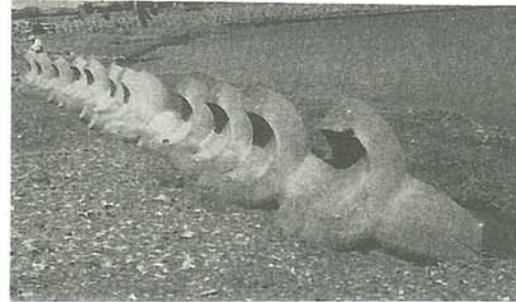


写真2 十勝港暴露狀況

表1 年最高気温、年最低気温、凍結融解回数

2.2 使用材料

(1) 網走港暴露供試体

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3340cm²/g

高炉セメントB種（記号：BB）比重3.05、比表面積3880cm²/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3320cm²/g

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

混和材：高炉スラグ微粉末（記号：FS）、シリカフューム（記号：SF）

(2) 十勝港暴露供試體

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3320cm²/g

高炉セメントB種（記号：BB）比重3.04、比表面積3820cm²/g

フライアッシュセメントB種(記号:FB)比重2.97、比表面積3430cm²/g

骨材 : 粗骨材は最大寸法25mm（比重2.68、吸水率1.17%）と40mm（比重2.68、吸水率1.17%）の川砂利を容積比率7:3で混合。細骨材は川砂（比重2.60、吸水率2.02%）を使用。

混和材：高炉スラグ微粉末（記号：FS）、シリカフューム（記号：SF）

2.3 供試体の内訳

網走港暴露供試体、十勝港暴露供試体ともにセメント種類・混和材種類・水セメント比を変えた12種類を用いた。供試体の内訳を表2に示す。なお、両港とも空気量は4.5%とし、麻袋・散水養生を7日間行った後に暴露した。

表2 暴露供試体の内訳

供試体No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
セメント種類	NN	NN	NN	BB	BB	BB	FB	NN+FS50	NN+FS50	NN+SF10	NN+SF10	NN+SF15
水セメント比	45%	50%	55%	45%	50%	55%	50%	45%	50%	40%	45%	45%

*)セメント種類の数字は質量に対する混合率(%)

2.4 劣化指標

剥離した部分（剥離面積）とその深さ（剥離深さ）をそれぞれ毎年1回測定している。測定箇所は、網走港暴露供試体は図2に示す上部、下部の2面、十勝港暴露供試体は図3に示す上部2面、下部1面とした。剥離面積は、測定面にビニールシートを当て、剥離部分を油性マジックでなぞり、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、その平均値で表した。なお、剥離深さの経年変化を把握するために、測点は毎年同じ点とした。剥離面積と剥離深さから剥離度（mm）（剥離面積率（%）×剥離深さ（mm）/100）を求めた。剥離度0.1（mm）、0.5（mm）の例を図4に示す。

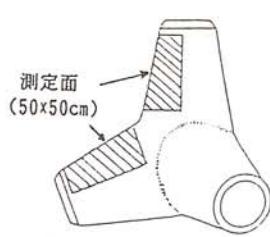


図2 測定面（網走港）

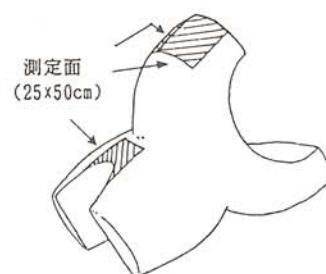


図3 測定面（十勝港）

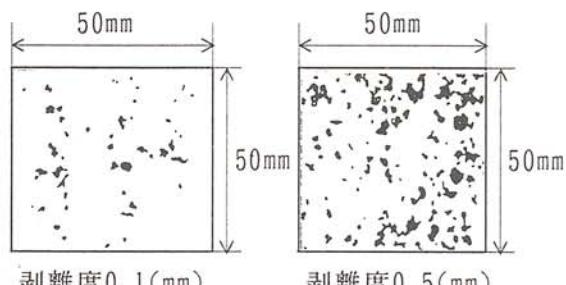


図4 剥離度の例

3. 実験結果及び考察

3.1 暴露地域と剥離度の関係

図5に網走港と十勝港のすべての供試体の剥離度の平均値の経年変化を示す。網走港に比べて十勝港のほうが剥離度は大きくなっている。これは写真1・写真2に示した暴露環境の違い、すなわち海岸線からの距離の違いによる海水の作用する程度の違いと、表1による凍結融解回数の違いによるものだと思われる。なお、両港とも剥離度は暴露開始後の比較的早期の1~3年にかけて急激に増加している。

3.2 剥離度と暴露開始時の圧縮強度の関係

図6、図7に網走港、十勝港における7年経過時の各暴露供試体の剥離度と暴露開始時（材齢7日）の圧縮強度の関係をそれぞれ示す。実験から、セメント種類、混和材種類、水セメント比が異なってもコンクリートの剥離度と暴露開始時の圧縮強度には相関が認められる。暴露開始時の圧縮強度が低いほど剥離度が高いのは、第2報で述べたように、暴露開始後のごく早い時期に強度の低いコンクリートでは乾燥により粗骨材の界面にボンドクラックが発生し、その後の

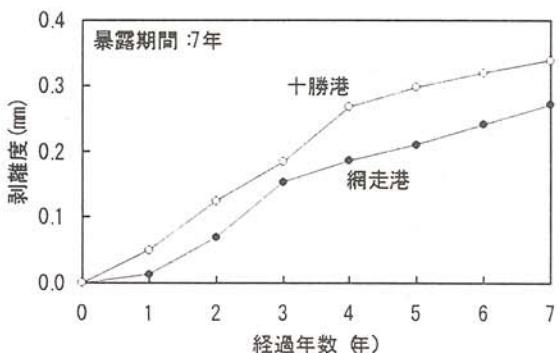


図5 剥離度の経年変化

冬期の凍結融解の繰返しとともに剥離が発生・進行したからと思われる。網走港では暴露開始時の圧縮強度が 150kgf/cm^2 以上だと剥離度は 0.5mm 程度以下に、 200kgf/cm^2 以上だと 0.1mm 程度以下に、十勝港では暴露開始時の圧縮強度が 170kgf/cm^2 以上だと剥離度は 0.5mm 程度以下に、 250kgf/cm^2 以上だと 0.1mm 程度以下に抑えられる。両港の違いは暴露環境によるものと思われる。

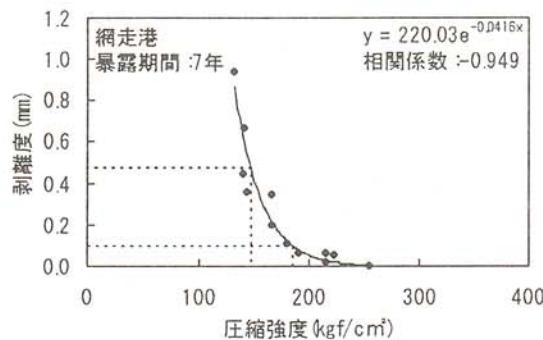


図6 網走港の剥離度と圧縮強度

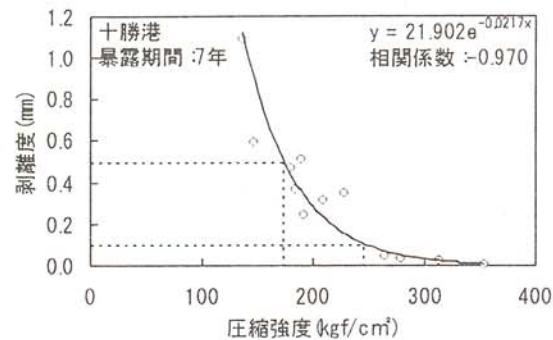


図7 十勝港の剥離度と圧縮強度

4.まとめ

オホーツク海沿岸の網走港及び太平洋沿岸の十勝港で7年間行った暴露試験の結果から以下のことことが明らかになった。

- (1) 網走港暴露供試体と十勝港暴露供試体では、十勝港のほうが剥離の発生が多い傾向がみられた。これは海水の作用が十勝港の暴露条件のほうが厳しく、また凍結融解回数が十勝港暴露供試体のほうが多いことが影響していると考えられる。
- (2) セメント種類、混和材種類、水セメント比が異なっても剥離度と暴露開始時の圧縮強度には相関があり、暴露7年経過時で、網走港では暴露開始時の圧縮強度が 150kgf/cm^2 以上だと剥離度は 0.5mm 程度以下、 200kgf/cm^2 以上だと 0.1mm 程度以下となり、十勝港では暴露開始時の圧縮強度が 170kgf/cm^2 以上だと剥離度は 0.5mm 程度以下、 250kgf/cm^2 以上だと 0.1mm 程度以下になる。

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 安藤輝夫副社長ほか関係各位並びに北見工業大学 猪狩平三郎氏、金野寿光氏に感謝申し上げます。

極域の海水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（北見工業大学工学部土木開発工学科）

高橋修平（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）

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)

Kazuo OHTA (National Space Development Agency of Japan)

Key words: remote sensing, satellite observation, snow and ice, field research, algorithm

1. はじめに

1996年8月に宇宙開発事業団(NASDA)の地球観測プラットフォーム技術衛星(ADEOS: Advanced Earth Observing Satellite)の打ち上げが予定されている。ADEOSに搭載される高性能可視近赤外放射計(AVNIR: Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer)は高い空間分解能(マルチバンド約16m, パンクロマチックバンド約8m)を持ち、詳細な地表面情報の取得が期待されている。極域の海水および氷河氷床の変動の研究において、温暖化の影響をいち早く受けとと考えられる海水分布の変動の調査は重要である。しかし、海氷域は熱的、力学的環境によって、多様な表面形態を示す。これまで海氷域の特徴は密接度というパラメーターで表現されてきたが、この研究では ADEOS センサーの AVNIR を中心として、新たな海水パラメーターの取得を目指している。

2. 観測実験

平成7年度の観測は、ADEOS衛星打ち上げ前であるため、打ち上げ後の比較検証に向けて種々の観測機器の有効性や問題点の確認、解析のための基本情報の蓄積を中心とした観測を行なった。

- ・北海道沿岸の海氷域の航空機、船舶による観測、サロマ湖など結氷した湖上での氷状やの、赤外放射画像計、放射温度計、可視近赤外分光光度計による観測を行った。
- ・サロマ湖上には自動気象観測装置を設置し、気象要素、雪温などを記録し、観測期間の気象条件、雪氷の変化記録などのデータの蓄積を行なった。
- ・サロマ湖及び網走湖、能取湖の氷厚、積雪の観察を航空観測と同時期に行ない、比較データを取得した。以上の観測については、表1にまとめた。

表1 観測内容(平成8年1～3月実施)

観測地点	期間	観測要素	観測方法
サロマ湖	H8.1～3月	気温、風向、風速、水温、雪温、表面温度、天空温度、日射、氷厚	自動観測
サロマ湖、網走湖、能取湖	H8.2.15	氷厚、積雪深、積雪粒径等 可視近赤外スペクトル	移動調査
網走沖海氷上	H8.2.15,16	赤外放射画像、放射温度、可視近赤外スペクトル	航空観測
サロマ湖等		ビデオ、写真	船上観測

海水の分布面積は、薄氷域を区別することにより大きく変わる。図1にオホーツク海のLANDSAT MSSデータから調べた、海水域の画像を示す。薄氷域の判別により海水域面積が異なり、環境変動のモニターや気象モデルにおける海水情報の改善が可能になるため、薄氷、乱氷、晶氷域、積雪の有無、融解状態といった海水タイプや状態の分類が必要である。

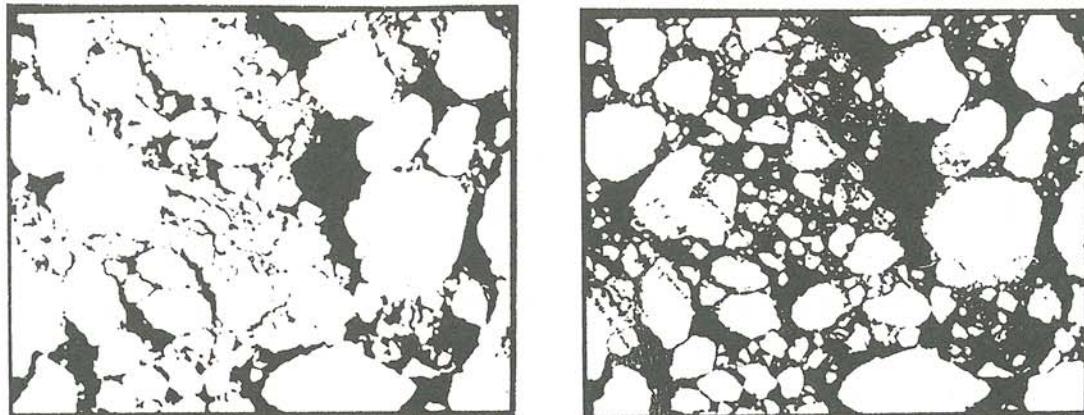


図1 薄氷域の判別による海水面積の違い。薄氷域はアルベード、熱遮断効果、力学的特性など氷板とは大きく異なり、その判別が必要である。

3. 観測結果

a) 自動気象・雪氷観測

サロマ湖上に1月中旬より自動気象観測装置を設置し、気象要素、雪温などを記録した。同様の観測装置、記録計などは南極でも使用してきており、氷床域の衛星検証に利用する予定である(Enomoto et al., 1995)。図2に今回の観測期間の気象状況を示す。雪面に向けた放射温度計のデータから、現地調査や航空観測が行われた2月中旬の雪面状況は、1～2日融解が生じた直後であったことがわかる。今回の観測結果は、融解・再凍結過程が活発に起きる前のものであり、この次期をはさんで乾雪状態から湿雪状態に変わる。問題点として、融解期の湖水上及び結氷初期の湖水上は、危険であるため観測プラットフォームなどの利用など新たな観測方法が必要であり、検討が必要である。

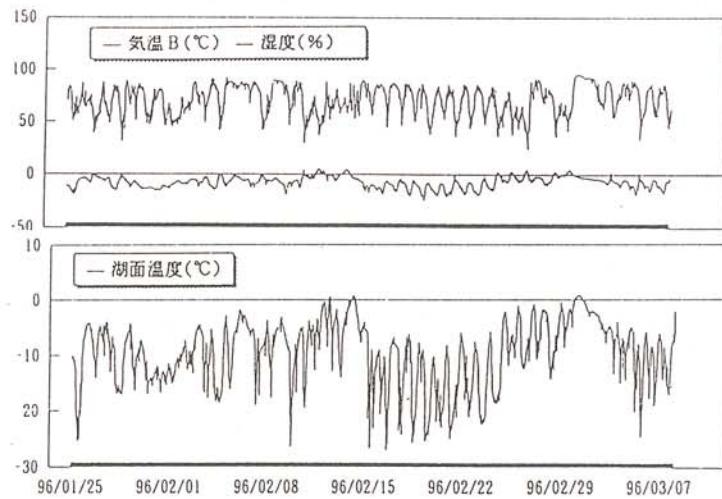


図2 サロマ湖上自動気象・雪水観測結果の例

b) 航空観測

航空機観測は、本年2月15日及び16日に、女満別空港よりセスナ機をチャーターし実施した。図3に観測飛行ルートを示す。2月15日は成長した氷板が分布しており、海水域縁辺部から密接度は高く、また分布は観測を行なった沿岸部では帯状、パッチ状となっていた。サロマ湖北部は薄い層雲に覆われていた。2月16日は沖向かって吹き出す風があったため、沿岸部では開水面が広がったが、気温が低かったため新生氷の生成がおきている様子が見られた。新生氷が生み出されている海水域縁辺部の frazil ice (晶氷) 帯から内部の密集した蓮葉氷にいたる海水域の観察が出来た。このような海水域でのデータは高効率の海水生産を行なう沿岸ポリニア (開水面) の解析に有効である。特に薄水域の占める面積が多いオホーツク海の海水調査には重要なデータとなる。

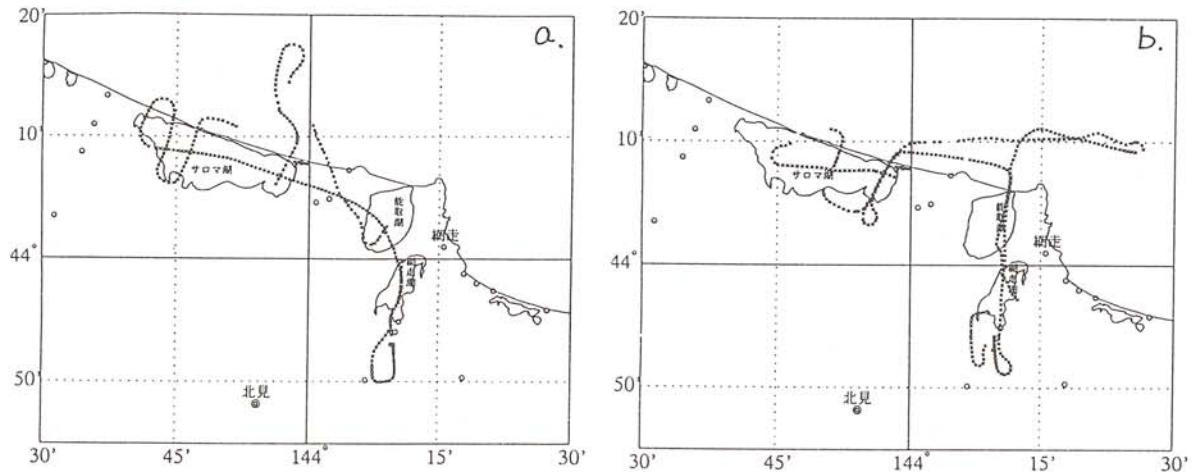


図3 航空観測ルート (a : 1996.2.15, b : 1996.2.16)

航空観測ルートにおける地表面温度分布を図4に示す。2月16日は寒気の陸上から海上への吹き出しにより、陸上、開水面、海水域の温度コントラストが顕著になり、また活発な結氷がおきたと思われる。

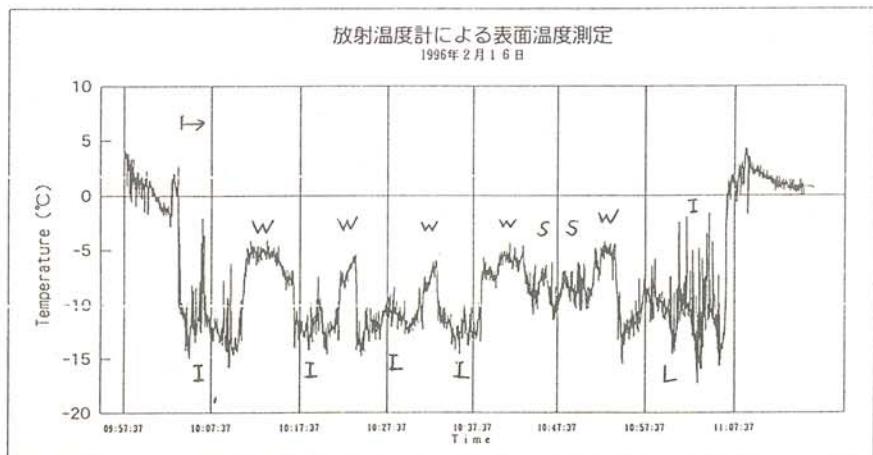


図4 航空機による地表面温度の観測結果。
L：陸上積雪域、I：湖水、S：海水、W：開水面

c) 可視近赤外放射観測

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ー PS1000 を用いて行われた。スペクトル観測は 530–1057 nm の波長範囲で分解能 5 nm で、航空機、船上、地上（湖上）で行なわれた。

図5は海水域での 530–1057 nm の波長範囲での連続スペクトルの観測データであるが、水状による変化が長波長側で現れていることを示している。さらに、AVNIR の 2, 3, 4 チャンネルの波長帯（表2）のデータを比較したものが図6である。観測域はサロマ湖の南東から北西に向けての飛行ルート上である。スペクトルの変化を AVNIR のマルチバンド (Mu) チャンネルの比で表してある。サロマ湖の結氷は南東より始まり北西に拡大していくため、北西ほど海水は薄くなり、また積雪も少ない。氷厚が小さく、積雪も少ない北西部で、近赤外チャンネル (Mu4) の減少傾向が見られる。これらの海水のスペクトル特性の観測と AVNIR の高空間分解能により、詳細な海水域の構造が調査可能であると予想される。

d) リード（水路）の分布

統計資料から、微小リードの寄与についてまとめると幅 100 m 以下のリードの存在確立が高い (Steffen, 1987, McLaren et al., 1984, Wadhams and Horne, 1986)。図7に各地の調査結果をまとめた。海水域の開水面を構成するリードの把握にはこれらのサイズのリードの調査が必要である。従来は航空機観測でしかデータが得られなかつたが、高空間分解能の AVNIR により観測が可能となる。

表2 ADEOS AVNIR と スペクトロメーター PS1000 の比較

	マルチバンド	パンクロマチックバンド	P S 1 0 0 0
観測バンド	Mu1:420–500 nm Mu2:520–600 nm Mu3:610–690 nm Mu4:760–890 nm	Pa:520–690 nm	530–1057 nm (分解能 5nm)
空間分解能	1 6 m	8 m	—

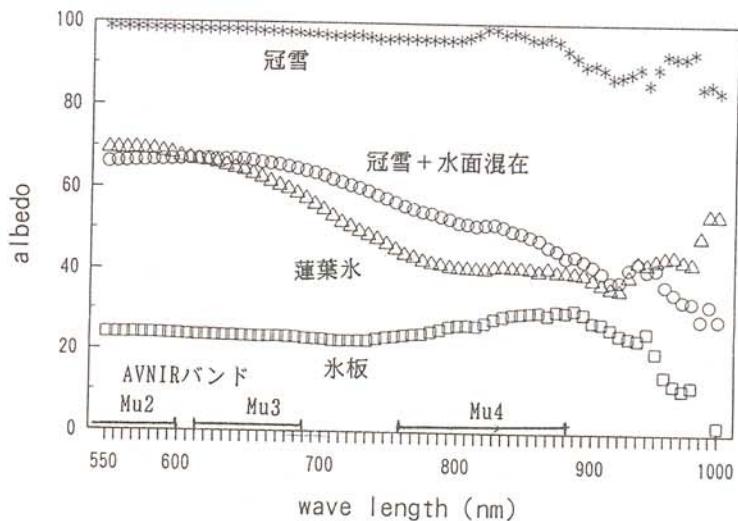


図5 海水域のアルベードスペクトル

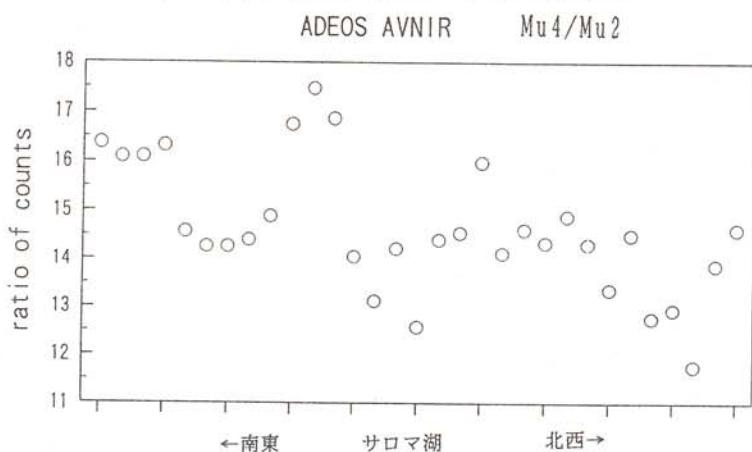


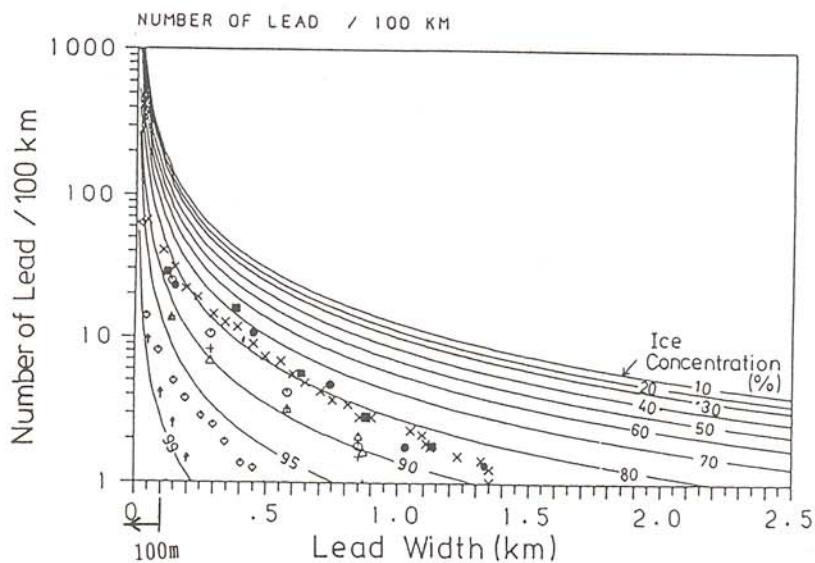
図6 ADEOS AVNIR の観測バンドで計算したスペクトルカウント値の比。

(観測地域：サロマ湖結氷域、Mu 4 / Mu 2)

4. おわりに

- AVNIR の ch 2 と ch 4 の比較から、薄氷や積雪の有無などといった海水域の分類が可能であることがわかった。海水タイプの分類には、さらに観測例を増やす必要がある。
- これまでにマイクロ波観測データ(DMSP衛星SSM/I)の解析アルゴリズムの改良から、オホーツク海の海水域の中の薄氷域の抽出を試みているが(Enomoto, 1996)、この薄氷域の分布情報を整理して、AVNIR データとの対応を計る予定である。
- ワークステーションに衛星画像解析ソフト(VI2STA)をインストールし、多種データの取り込テストを実行した。扱ったデータは、南極圏の氷河・氷床及び海水域の MOS-1b (MESSR, VTIR)、JERS-1(SAR)、DMSP(SSM/I)である。

雪氷表面は粗度、積雪、融解など場所や季節により変化する。今回のような基礎情報の蓄積の上にADEOS衛星のデータを使った解析アルゴリズムの開発、および雪氷データセットの作成を進めていくことを計画している。



No.	Region	Reference	Mark
1.	Lancaster Sound	(Steffen, 1987)	○
2.	Baffin Bay	(Steffen, 1987)	△
3.	North Water	(Steffen, 1987)	+
4.	McClure Strait (summer)	(MacLaren et al., 1984)	X
5.	McClure Strait (winter)	(MacLaren et al., 1984)	○
6.	Beaufort Sea	(Wadhams and Horne, 1980)	†
7.	Sea of Okhotsk (Feb. 1986)	(this study)	●
8.	Sea of Okhotsk (Jan. 1987)	(this study)	■

図7 オホーツク海、北極圏のリード幅と出現頻度。図中の曲線は出現頻度分布を対数関数で表し、その積算から開水面積をもとめ、さらに密接度に直したもの。

謝辞：本研究の実施にあたりご協力いただいた、名古屋大学瀬古勝基、B. Rana、気象研究所 青木輝夫の諸氏に感謝します。

5. 参考文献

- (1) Enomoto, H., (1996): Observation of Thin Sea Ice Area in The Okhotsk Sea and Impact for Climatological Study, 日本リモートセンシング学会誌 (in press)
- (2) Enomoto, H., H. Warashina, H. Motoyama, S. Takahashi and J. Koike, (1995): Data-Logging Automatic Weather Station along the traverse route from Syowa Station to Dome Fuji, Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. and Glaciol.,
- (3) McLaren, A.S., P. Wadhams and R. Weintraub, (1984): The sea ice topography of M'Clure Strait in winter and summer of 1960 from submarine profiles, Arctic, 37(2), p110–120.
- (4) Steffen, K., (1987): Fractures in arctic winter pack ice (North Water; Baffin Bay), Ann. of Glaciol. 9, p211–214.
- (5) Wadhams, P. and P.J. Horne, (1986): An analysis of ice profiles obtained by submarine sonar in the Beaufort Sea, J. Glaciol., 25(93), p401–424.

たまねぎを素材とする発酵機能食品の開発

Multifunctional Food Development from Fresh Onion

小林正義（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）

富田弘毅（北見工業大学化学システム工学科）

斎藤貴則（北見工業大学化学システム工学科）

米山 朋（北見工業大学化学システム工学科）

本郷良典（北見工業大学化学システム工学科）

堤 平（端野町農業振興センター）

Masayoshi KOBAYASHI(Kitami Institute of Technology)

Tohru KANNO(Kitami Institute of Technology)

Kohki TOMITA(Kitami Institute of Technology)

Takanori SAITO(Kitami Institute of Technology)

Tomo YONEYAMA(Kitami Institute of Technbology)

Yoshinori HONGOH(Kitami Institute of Technology)

Taira TSUTUMI(Agriculture Promotion Center of Tanno)

Key words: onion, bio-reactor, continuous system, immobilized cell

1. 緒言

北見地方特産の食用たまねぎを原料とした機能性食品の一つとして、高品質食酢の連続製造プロセスの開発を目的に研究を行った。本研究で開発した反応器の特徴は、セラミック固定化微生物を使用した2段連続バイオリアクターによって長期間連続的に食酢を製造できる点や、反応条件を変えてやることで生成酢酸濃度やその他有機酸、アミノ酸などの微量成分を容易にコントロールできる事である。この時各種成分の組成変化は製品の味覚に極めて敏感に影響する。ここでは反応速度に最も影響する反応器内の菌体濃度に着目し、新規固定化担体の開発とその動特性について検討した。

2. 実験方法

実験にはそれぞれ、アルコール発酵用に *Saccharomyces cerevisiae* AHU3532を、酢酸発酵用に *Acetobacter aceti* TUA549Bを使用した。天然基質には端野町より提供された赤たまねぎを搾汁し天然基質とした。天然基質中の糖濃度は約70-80g/lであった。

生体触媒としての固定化微生物の固定化担体には、シリカ系ビーズおよびシリカ系ラシヒリングの2種の形状のものを用いた。それぞれの物性値をTable.1に示した。

また、蛋白質、核酸およびウイルスの吸着特性と親和性を有するリン酸カルシウム系セラミックスの水酸アパタイト(HAp:Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂)を先の担体上にコーティングして、担持菌体量と発酵速度の比較も行った。HApコーティング法はFigure.1に示す。

実験に使用した反応器システムは嫌気性アルコール発酵槽と好気性酢酸発酵槽の2段連続バイオリアクターで、それぞれ通気搅拌による完全混合槽型反応器の条件を満足している。

3. 結果および考察

異なる固定化担体を用いたときの固定化酵母数をTable.2に示した。これより、固定化担体にはより生体親和性の高いHAp担体を用いた方が、シリカやシランよりも1.5倍高い固定化酵母数を示した。また、ビーズ担体はラシヒリング担体より2.5倍高い固定化数であり、その原因としてはビーズ担体の粒子径と細孔径がラシヒリング担体より小さかったことが考えられ、文献による同じビーズ担体を用いたときの最適細孔径は0-40μmの範囲では固定化酵母数の最大値は細孔径40μmの時であったことからも、酵母を固定化するには粒子径と細孔径に最適値があることが示唆される。以下の実験では通気搅拌の便宜上、ラシヒリングを用いて発酵試験を行った。

Figure.2はラシヒリングとそれにHApコーティングしたものとのアルコール発酵試験結果を比較したものだが、結果としてほとんど発酵速度に違いは見られなかった。そこで発酵中の溶液のpHを比較してみると、それぞれラシヒリングは3.92、HApコーティングしたものでは4.18であった。これはpH=3.92の酸性下で長期間アルコール発酵を行ったためにHApが次第に溶解しCa(OH)₂が生成しpHが上昇した事を意味している。結果としてHApコーティングした担体が、そのコーティングが消失してコーティングが無い担体と同じ結果を与え、固定化菌体数が変わらないため発酵速度に違いが見られなかったものと考えられる。

以上のことから、HAp処理は固定化菌体数の増加に有効であるが、HApコーティング条件を変えて耐酸性を上げるなど、長期発酵における耐久性が今後の課題となるであろう。

4. 参考文献

- (1) T.AKAZAWA, K.KODAIRA: Phosphorus Research Bulletin, Vol.1, pp.215-220, (1991).
- (2) Y.YAMAUCHI, T.OKAMOTO, H.MURAYAMA, A.NAGARA, T.KASHIHARA, K.NAKANISHI: Journal of Fermentation and Bioengineering, Vol178, No.6, pp.443-449, (1994).

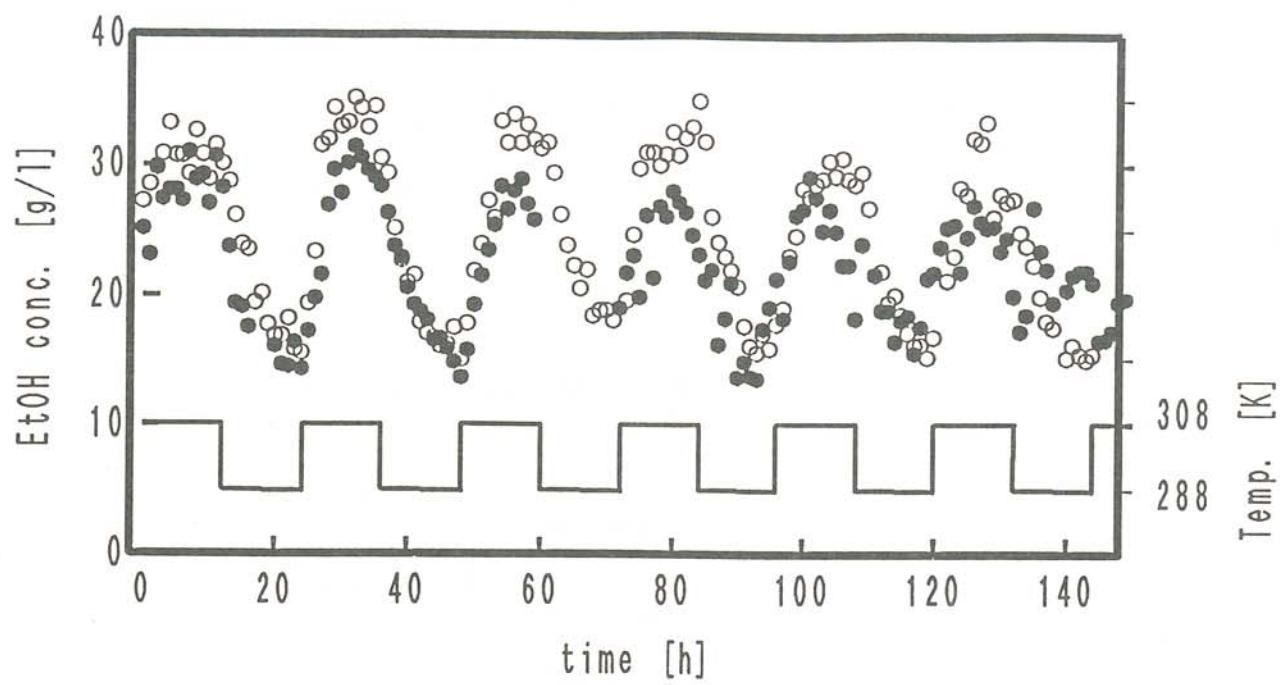


Figure. 2 異なる固定化担体を用いた温度周期操作に対する生成物応答

$T=288-308\text{K}$, $Sin=80\text{g/l}$, $\pi=24\text{h}$, $\tau=5.56\text{h}$, $\varepsilon=0.67$

○ HAp処理前 ● HAp処理後

Table.1 菌体固定化用多孔質セラミックス物性値

	ビーズ	ラシヒリング
品名	Hypermics	シランリング
寸法(mm)	$\phi 2-10$	$\phi 15 \times 16L \times 3H$
細孔径(μm)	5-40	120
主成分	SiO_2	SiO_2

Table.2 固定化酵母量の比較($10^3\text{g-cells/ml-support}$)

	ビーズ	ラシヒリング
HAp処理前	4.5	17
HAp処理後	6.8	24

(牛骨アパタイト)

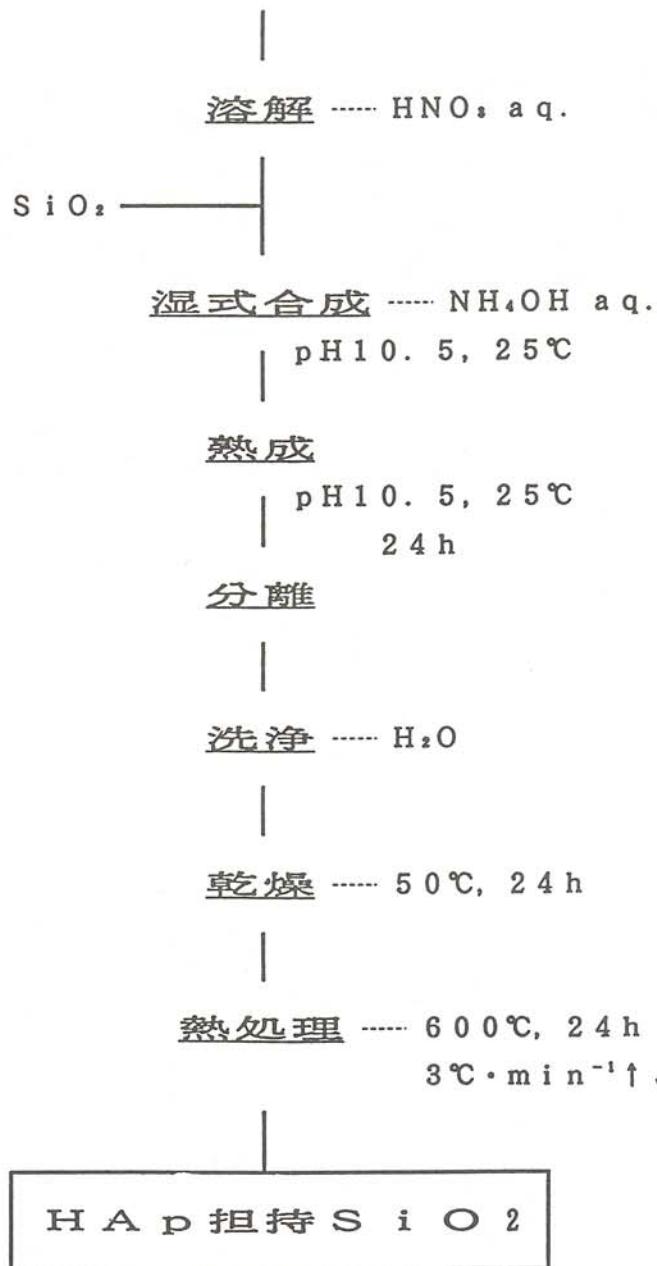


Figure.1 水酸アパタイト担持シリカ
セラミックスの作製方法

霧水量測定器の性能試験

Evaluation of Measurement Device for Liquid Water Content

菅原宣義（北見工業大学工学部電気電子工学科）

保苅和雄（北見工業大学工学部電気電子工学科）

土方正範（北見工業大学工学部電気電子工学科）

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 HIJKATA (Kitami Institute of Technology)

Mitsunobu HIROTA (Meteorological Research Institute for Technology Co., LTD.)

Key words: liquid water content, 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晚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來す事故が発生する可能性がある。この様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。着氷の予測にはこれら基本的な気象データの他に、着氷地域の霧および雲の中の水の量（霧水量、LWC: liquid water content）とその粒径のデータが必要である。従来の測定法では、霧水量とその粒径を個々に測定していた。最近のこの分野の研究方法では、直径の異なる棒状の測定パイプに付着する氷の重量を測定してコンピュータで計算することで瞬時に霧水量と霧の粒径を求めることが出来る装置（RMC: rotating multicylinder）が使用されている⁽¹⁾。

筆者らはこの装置と計算ソフトをフィンランドから取り寄せ、センターの低温室内に設置した着氷風洞内で実験および測定訓練を行うと共に、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た。

2. 着氷風洞試験

実験に使用した着氷風洞は図1に示すような小型風洞の出口近くを改良して、RMCが入るように広げた形に成っている。着氷条件は、着氷させる氷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。今回、風洞をRMCが入るように広げたため、RMCの測定部分に完全に一様に着氷させることができなかつたが、RMCを使用しての測定やその手順修得やパソコンへのデータ入力等の訓練には大いに役立った。計算ソフトは汎用的でなく、使用できる風速の下限が大きいため、今回の胴を広げた改良型風洞では問題が残った。これらの件に

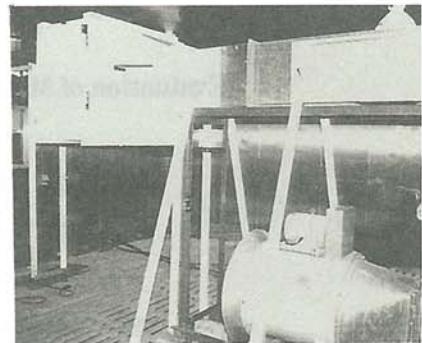
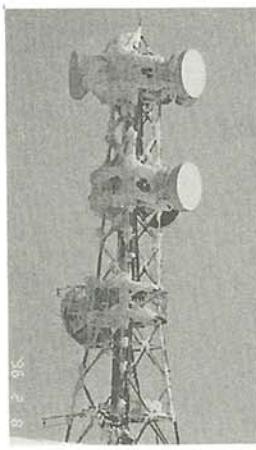


図2 横手山頂のパラボラ

タワーの着氷状態

図3 フィールドに設置したRMC

図1 着氷風洞

関しては、今後、縦長の風洞の製作で対応を計る予定である。

3. フィールド試験

フィールド試験に選んだ横手山頂は図2に示すパラボラアンテナのタワーの着氷状態で判るように、重着氷地域である。タワーの上部では鉄骨部材を覆い隠すほどに着氷している。この地点は冬季間の着氷の他に、晩秋や早春にそれぞれ気象条件下で種々の密度の着氷が発生する。しかし、フィールド実験を長期間に渡って行う事は経費的に不可能なため、今回は2月上旬に行った。この時のRMCの屋外への設置状態を図3に示す。着氷部への着氷時間を正確にするために、着氷開始前は図3(a)の用に筒で覆い、実験開始と共に筒を取って(図3(b))、着氷時間を計る。

観測例：着氷時間=45分、平均風速=3.16m/s、温度=-10°C、気圧=785mb

各番号の測定パイプへの着氷重量：1=1.86g、2=15.44g、3=5.47g、

4=14.48g、5=37.64g、6=114.88g

計算結果：霧水量=0.257g/m³、霧の平均粒径=10.6μm

この様に、データをパソコンに入力すると霧水量と霧の平均粒径が即座に計算される。今回のフィールド観測地点は容易に行けるため携帯型のパソコンを持って行って、データ収集と共に結果を計算したが、山間部ではデータ収集だけを行い、研究室に戻ってから計算する事もできる。

4. まとめ

今回はフィールドデータを多く収集できなかつたが、機会ある毎にRMCでデータ収集を行うと共に、従来の方法でも霧水量と霧の粒径を測定して、それらの相関関係を調べて行きたい。また、今後、着氷風洞でもRMCの測定結果と従来の測定方法での結果との一致性に関して調査予定である。

参考文献

- (1) L. Makkonen: "Analysis of Rotating Multicylinder Data in Measuring Cloud-Droplet Size and Liquid Water Content", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol. 9, pp.258-263, 1992

寒冷気候利用に関する基礎的研究

Fundamental Studies on Cold Climate and Radiative Cooling
for Scientific and Industrial Purposes

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）
百武欣二（北見工業大学土木開発工学科）
石橋勉（陸別町しばれ開発技術研究所）
佐久間幹夫（陸別町役場）

Shuhei TAKAHASHI (Kitami Institute of Technology)
Hitoshi SHOJI (Kitami Institute of Technology)
Hiroyuki ENOMOTO (Kitami Institute of Technology)
Kinji HYAKUTAKE (Kitami Institute of Technology)
Tsutom ISHIBASHI (Rikubetsu Cold Technology Research Institute)
Mikio SAKUMA (Rikubetsu-cho Office)

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

1. はじめに

足寄郡陸別町は、幌加内町母子里と並んで寒冷な北海道の中でもさらに低温の最低気温記録がよく報告される地域である。その低温域がどのような条件で起こり、地理的にはどのような地形より低温となるのかを調べるために、この数年間、陸別町周辺域において各種気象観測を行っている。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路作成や極地用氷掘削装置野外実験、さらには農作物の低温貯蔵など寒冷気候利用につながるものである。

2. 観測地および観測方法

表1に陸別地域のこれまでの観測地点および観測項目を示す。観測は各年の1月～4月にかけて行われ、10分または30分毎の記録がデータロガーに収録された。

A 地点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（図1）。B 地点は、小利別から訓子府方向に上った道道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気温計を設置した（図2）。1995年はさらに牧草地の中に、風速計を設置し、気温のほかに10cm間隔で温度計を7点設置して、積雪深と雪温を測るとともに積雪深の目安とした。この2地点は、丘の上下での温度差を計測するためのものである。

C 地点は利別川支流の日宗付近であり、1992年から多点の風速、気温観測を行おう

としたがデータロガーの不調によりデータを得られていない。D 地点は、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、気象条件の通年観測が行われている。E 地点は、陸別町市街部の気象庁アメダス観測地点であり、本研究で使用した自然通風型気温計と気象庁型強制通風型温度計を比較する観測を1994年に行った。F 地点は陸別町市街部から南東へ 3 km のニイトロマップ川沿地点であり、平坦な畠地が広がる地域で、温度がよく下がるとのこと設置した。

表 1. 陸別地域気象観測地点

(T: 気温、Ts: 雪温／気温、W: 風速)

	地 点	標高	'92	'93	'94	'95	'96
A	小利別下	310m	T	T	T	T2	T2
B	小利別上	390m	T	T	T	T3, Ts7, W	T2
C	日宗付近	310m				T	T
D	陸別しばれ研試験地	220m	T	T	T	T	T
E	陸別アメダス地点	210m			T		
F	ニイトロマップ川沿地点	220m				T	T

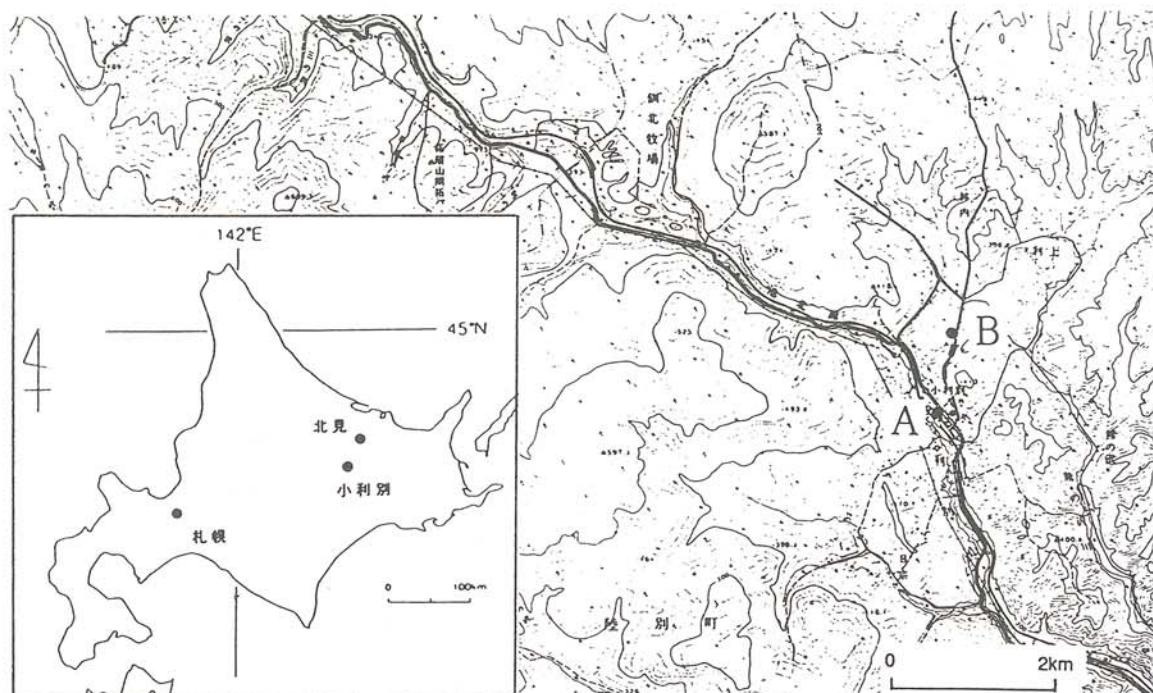


図 1. 陸別町小利別における観測地点

A : 小利別下(310m)、B : 小利別上(390m)

3. 観測結果

1996年データに関しては、測器を設置中であり、それ以前のデータに基づいた観測結果について述べる。

図3に1994年における小利別下の気温(Ta)、小利別上の気温(Tb)およびその気温差(Ta-Tb)の記録を示す。通常の温度遞減率によると2地点の標高差約80mからTa-Tbは約+0.5°Cとなるはずであるが、Ta-Tbが負となる逆転現象が頻繁に生じており、その値が-10°Cにまで達する現象が3月まで見られる。これはいわゆる盆地冷却現象が起きているためである。2月下旬に見られる気温差が小さい時期が続くのは、低気圧性擾乱により気温が上昇したためである。

図4に1992-1994年の上下気温差を示す。1993年は他の年と較べてTa-Tbが負となる盆地冷却現象が少なかった。この年は例年ない暖冬であり、陸別町の積算寒度も小さく、掘削機実験用の氷作りにも支障をきたした年であった。このことは月別気温表(表2)にも現れ、1992年、1994年ともTaの最低気温は-30°Cを下回り、温度差も-13~-14°Cを記録したが、1993年の最低温度は-30°Cまでいかず、温度差も-10°Cまで届かなかった。

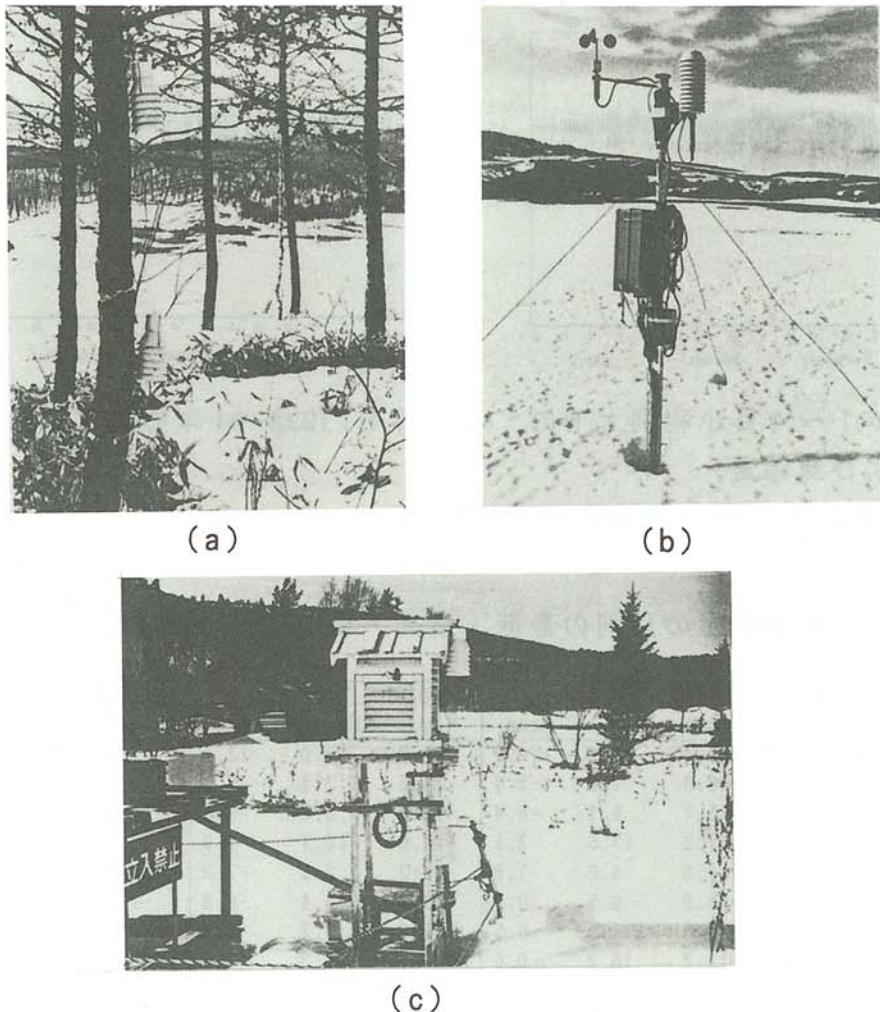


図2. 観測器設置状況. (a)小利別上の林の中の観測点、
(b)小利別上の牧草地観測点、(c)小利別下観測地点

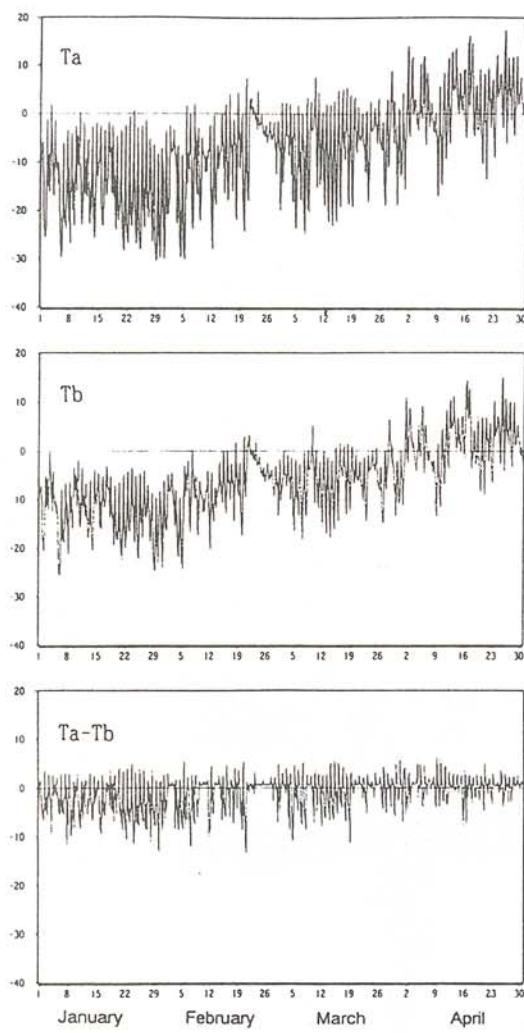


図3. 1994年1～4月小利別上下の
気温および気温差。
(Ta:小利別下、 Tb:小利別上)

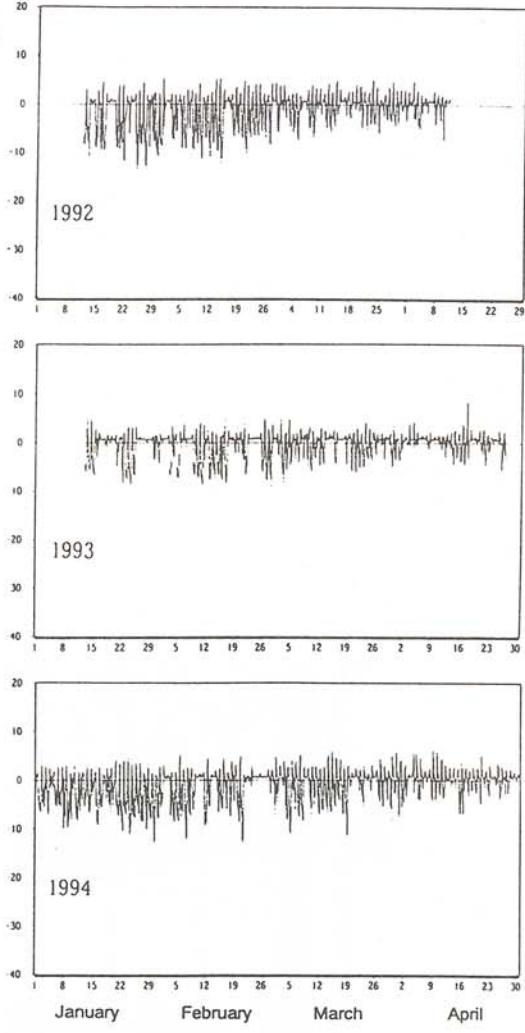


図4. 1992-94年の上下気温差(Ta-Tb)

表2. 小利別気温の月別の最低・最高・平均値(992-94,1-4月)

Year	Month	Date	小利別(下; Ta)			小利別(上; Tb)			温度差(Ta-Tb)		
			Min.	Max.	Mean	Min.	Max.	Mean	Min.	Max.	Mean
1992	Jan.	12 - 31	-30.7	2.0	-14.7	-25.7	0.0	-12.1	-13.6	5.1	-2.6
	Feb.	1 - 29	-30.3	7.4	-8.4	-24.6	3.5	-7.4	-13.6	5.7	-1.0
	March	1 - 31	-25.1	9.1	-6.4	-18.8	6.8	-5.8	-11.6	6.2	-0.6
	April	1 - 11	-17.2	17.6	2.1	-14.0	15.1	1.8	-7.9	6.5	0.3
1993	Jan.	13 - 31	-28.6	4.2	-7.8	-22.3	2.5	-7.2	-8.9	5.9	-0.6
	Feb.	1 - 28	-28.8	6.5	-9.9	-22.8	4.4	-8.8	-9.7	5.3	-1.1
	March	1 - 31	-23.5	11.2	-5.5	-20.9	9.8	-5.2	-9.4	5.2	-0.2
	April	1 - 11	-11.2	16.2	0.6	-10.3	15.3	0.3	-6.7	8.7	0.3
1994	Jan.	1 - 31	-31.7	2.4	-12.6	-23.4	0.9	-9.6	-14.4	5.1	-3.0
	Feb.	1 - 28	-30.8	11.2	-10.7	-22.6	9.8	-8.5	-12.9	5.2	-2.2
	March	1 - 31	-22.2	14.7	-4.5	-17.2	12.8	-3.8	-8.0	5.0	-0.7
	April	1 - 11	-10.9	17.8	2.4	-8.0	16.2	2.7	-7.9	4.5	-0.3

図5には、1994年1～4月のTa-Tbについて、各時間帯別の最低・平均・最高値を示した。最大の逆転現象が出現するのは朝6時近くであり、日中には、むしろ下の気温(Ta)の方が高いことがわかる。また、朝6時におけるTa-Tbと風速(陸別アメダス地点)の関係を図6に示す。風速3m/s以下の時に強い逆転が起きていることがわかる。

図7には、1995年、小利別上の牧草地の中に設置した7点の雪温用温度計(10cm間隔)および気温の記録を示す。雪がまだ少なかった1月1～5日は、温度センサーが露出しているためにはほとんどが同じ値を示すが、雪に埋もれた2月1～5日は、地面近いものほど暖かく記録は分散した。

最低気温の出た2月4日6:30の温度垂直分布を取ってみると(図8)、積雪が50cmほどあったことがわかり、しかも空气中でも地吹雪面ほど温度が低く、雪面付近の温度が2mの気温より約5℃低いことがわかる。このように雪面付近で出来た冷気層が、斜面においては下降流となって谷部に流れ込んで谷部に冷気が貯まるものと思われ、南極大陸の斜面下降風と同じような現象が小規模に発生していると考えられる。一連の観測により、きめの細かい実測データが得られたが、冷気蓄積の定量的見積もりのためには、冷気層の厚さ、移動速度、流量、冷気涵養域、林の影響など解決しなくてはならない問題はいくつもある。

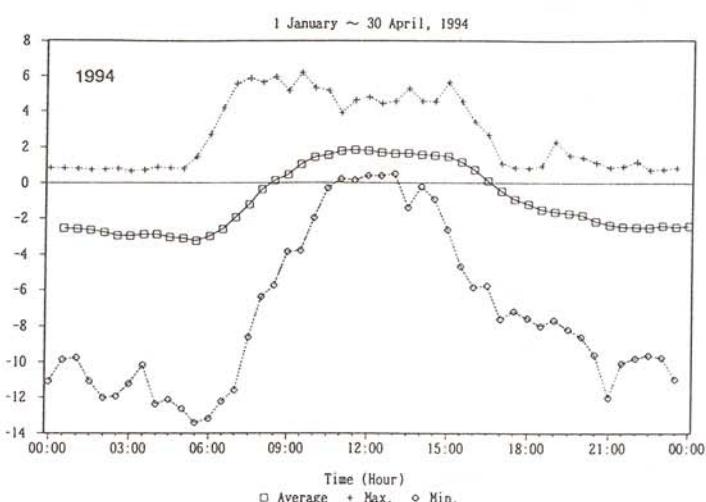


図5. Ta-Tbの時間帯別の最低・最高・平均値(992-94,1-4月)

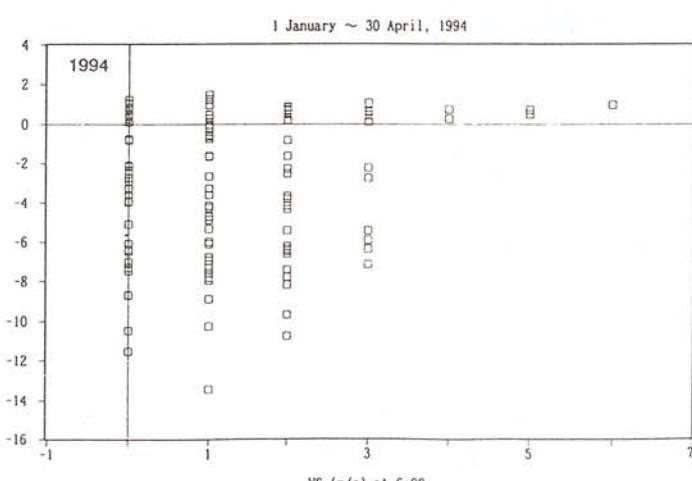


図6. 朝6時のTa-Tbと風速(陸別アメダス地点)の関係

4. 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の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。

最後にアメダス観測地点での検証実験に関して釧路地方気象台からは温度計比較観測の実行を快く承諾していただき、アメダスデータの入手に関しては気象協会北海道本部・金田安弘氏にご尽力いただきました。併せて感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 高橋修平、亀田貴雄、百武欣二、石橋勉：小利別（陸別町）における盆地冷却観測、日本雪氷学会北海道支部機関誌「北海道の雪氷」, No. 13, 14-17, (1994)

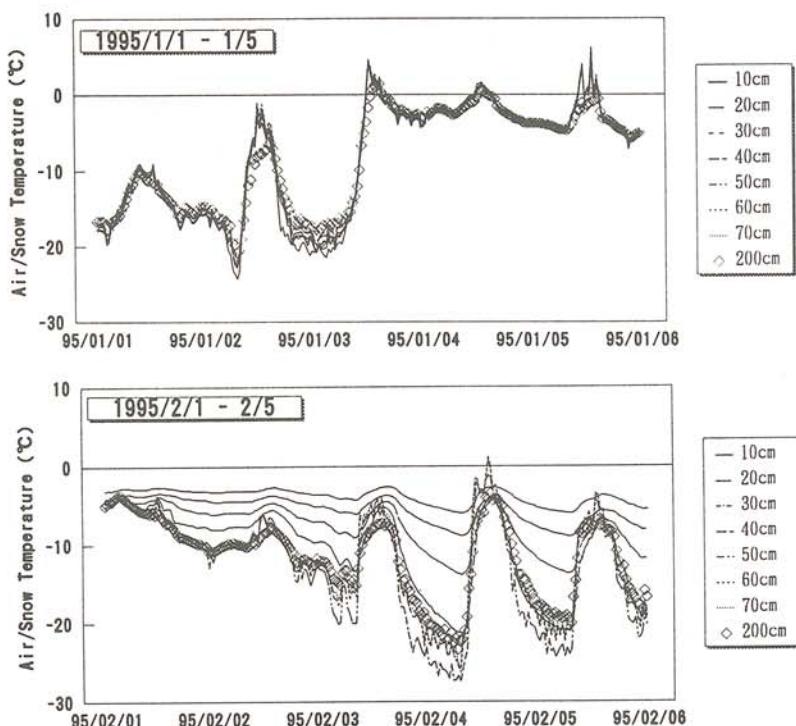
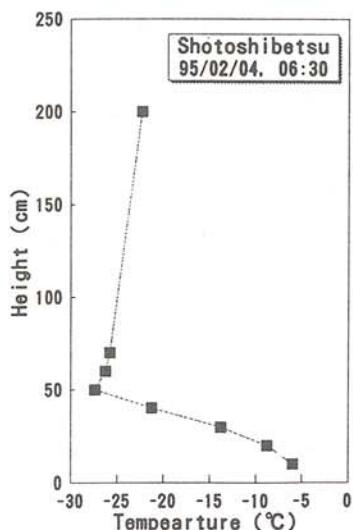


図 7. 小利別上地点の平坦部における
雪温・気温の変化
(1995年1月1-5日および2月1-5日)

図 8. 雪温・気温の垂直分布
(1995年2月4日、06:30)



氷掘削装置開発に関する基礎的研究

Fundamental Studies on Development of Ice Coring System

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）
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)
Kinji HYAKUTAKE (Kitami Institute of Technology)
Morihiro MIYAHARA (Geo Tec Co. Ltd.)
Akiyoshi TAKAHASHI (Geo Tec Co. Ltd.)

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

1. はじめに

極域氷床の深層氷コアからは、過去10万年以上の地球規模の気候・環境変動を詳細にかつかなり定量的に情報を得ることができる。しかし氷床が流動している地点では年代決定に複雑さをもち、氷コア解析の問題点となっている。その難点を解消するために日本南極観測隊は東南極氷床最頂部のひとつであるドームふじ（標高3800m）での深層掘削を目指して第32次南極地域観測隊（1991年）の輸送に始ま「南極氷床ドーム深層掘削計画」をスタートさせ、パイロット孔掘削（34次隊）、基地建設（35次隊）等を経て1995年9月に36次隊により深層掘削が開始されるに至った。

この掘削機の開発に当たっては南極やグリーンランドの現地試験、国内では陸別町での人工氷を用いての試験を行ってきたが（藤井ほか, 1990; 成田ほか, 1995）、それぞれ準備・実行には時間がかかるのが難点であった。ドーム基地での掘削が開始された現在、現場から報告される様々なトラブル解消のためには、国内低温室において迅速に実験を行って対処する必要があり、本研究により北見工業大学地域共同研究センターの低温室・氷掘削試験用スペースにおいて掘削機試験を行うこととなった。

一方、地球環境における両極対比のためおよび人間の産業活動の地球環境への影響を調べるために北極地域での氷河コア研究が重要性が国際的に指摘されるとともに、可搬型の浅層氷掘削システムの必要性が高まり、本研究においては南極深層掘削機のメカニズムを取り入れた500m級浅層氷掘削機の試験をすることとなった。

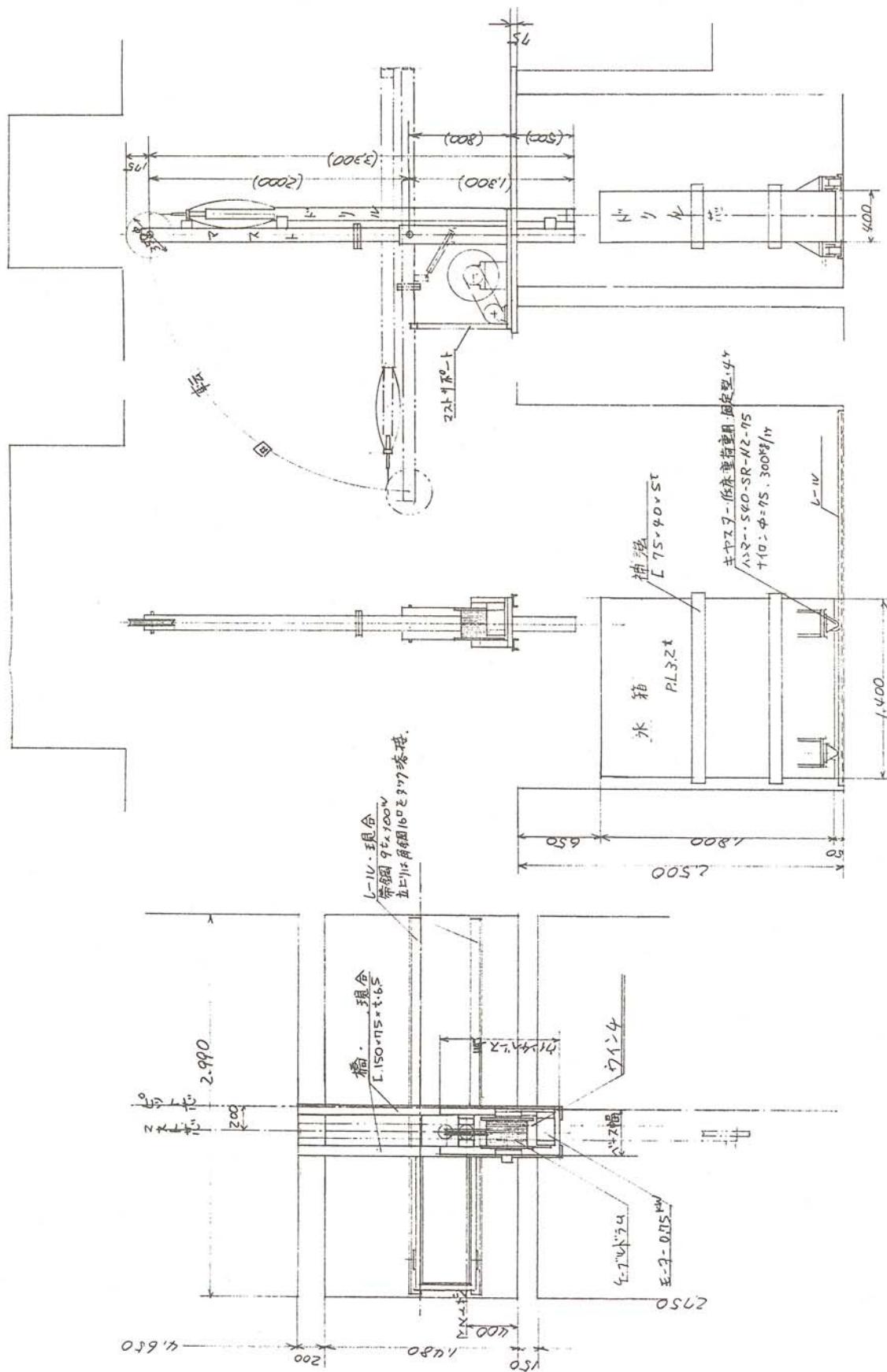


図1 氷掘削実験システム配置図
(左):平面図、(中):正面図、(右):側面図

2. 氷掘削実験システムの構築

北見工業大学地域共同研究センター・低温室の氷掘削試験用水槽部（幅1.5m、長さ3m、深さ2.5m）に掘削試験用氷箱を設置した（図1）。「氷箱」は幅0.4m、長さ1.4m、高さ1.8mの大きさであり、水槽の底に敷設されたレールの上を移動することができる。そのため1回の氷掘削実験が終わると、掘削機を移動することなく「氷箱」を移動してすぐ隣に実験孔を開けることができ、「氷箱」の中では6回の掘削を行うことができた（図2）。実験氷は、初め「氷箱」に市販氷ブロックを詰め、次にそのすきまに水を詰めて凍らせて作られた。

水槽の上には可倒式マストを備えた浅層型氷掘削システムが設置された（図3）。この氷掘削システムは北極地域の氷河掘削を前提とし、可搬性を重視した電動メカニカル型の500m級掘削機であるが、掘削刃先部分や切削チップ回収システムなど、基本的には現在南極ドーム基地で稼働している深層掘削機と同じ構造を持っており、南極からのトラブル報告に対応する実験をすることができる。

掘削機周辺の水槽部は転落防止のために金属メッシュ板で覆われた。また機材搬入用として、水槽をまたぐ移動型懸架装置を製作し、チェーンブロックをコントロールして機材を上下することができ、他の実験等にも役立っている。

3. 実験内容および実験方法

氷掘削機開発性能試験のために大きくは次の3回の実験が行われた。

(1) 実験I (1996年8月21-25日、低温室温度-10°C)

- ・掘削機先端の掘削刃のすくい角、ピッチ（ヒール高）（図4）を変えてそれぞれの組み合わせにおいての消費電力およびトルクを測定し、より能率のよい最適な組み合わせを調べた。

(2) 実験II (1996年9月18-21日、低温室温度-30°C)

- ・前回が-10°Cの実験であるのに対し、-30°Cで氷の硬さが違う条件でのすくい角、ピッチ組み合わせ実験を行った。
- ・切削されたコアを切断するためのコアカットの力学試験を行い、コアキャッチャーの性能を調べた（図5）。掘削現場ではコアカットの刃先が働く間にコアが回収できなかったり、逆に食い込んだもののコアが切断されずにドリル自体が回収できなくなったりする事故が報告されているので、実際にどのくらいの力がかかるものかを測定しようとするものである。

(3) 実験III (1996年9月28日、低温室温度-30°C)

- ・液体を入れない乾式掘削と、不凍液（酢酸ブチル）を用いた液中掘削の性能の比較を行った。
- ・不凍液としての酢酸ブチルが人間に与える影響を調べるために、酢酸ブチルを用いた掘削実験を次に出発する第37次南極観測隊員に体験してもらい、その臭気の度合い、防毒マスクや手袋のテストを行った。南極の深層掘削では掘削孔収縮を防ぐために不凍液の使用が不可欠なためである。

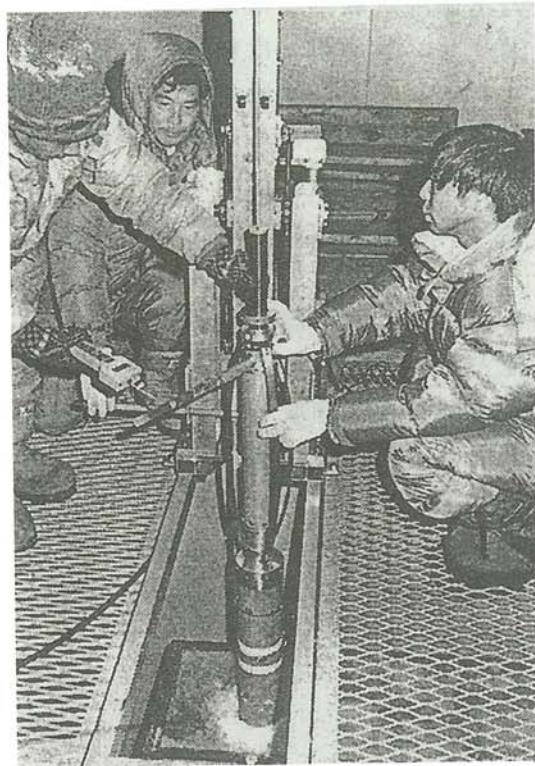


図2. 低温室での氷掘削実験の様子。
下部の「氷箱」の氷を掘削している

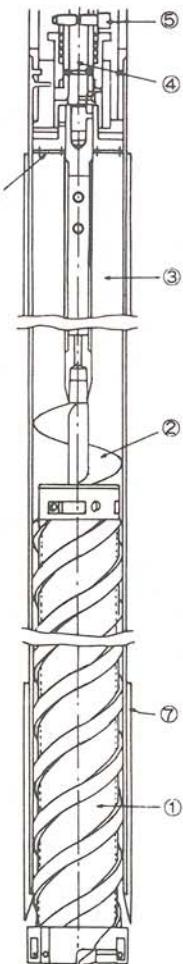


図3. 深層掘削機の構造(成田他, 1995).
(実験用掘削機もほぼ同様の構造をもつ。)

バレル、ブースター、チップ回収室、ワンタッチカプラーの構造. ①バレル, ②ブースター, ③チップ回収室, ④ワンタッチカプラー, ⑤固定ピン, ⑥チップ濾過フィルター, ⑦スタビライザー

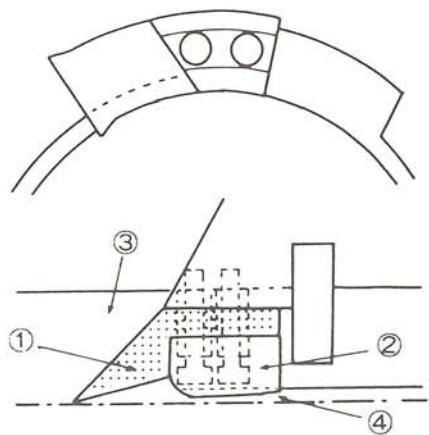


図4. 切削刃の形と取り付け台.
①切削刃、②ヒール、③取り付け台、
④切り込み

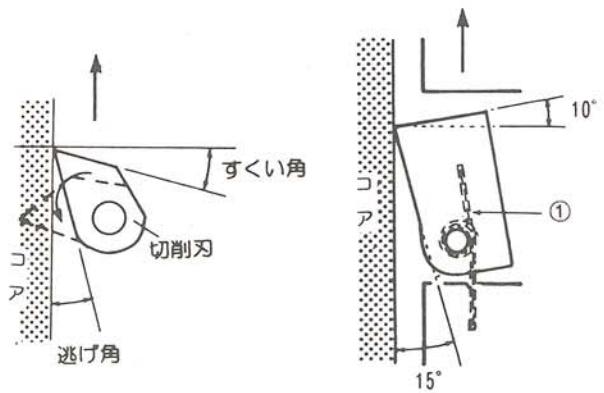


図5. コアキャッチャー.
(左):各種名称,
(右):新コアキャッチャー

表1. 掘削実験データ例

Run No.	1	2	3	4	5
バレル	dry	dry	dry	dry	dry
カッター(°)	30	30	30	30	30
ヒール高(mm)	4	4	6	6	2
氷温(°C)	-10.9	-10.9	-10.9	-10.9	-10.9
盤電圧(V)	180	180	180	180	180
先端電圧(V)	150	150	148	150	155-160
電流(A)	1.6	1.6	1.8	1.7	1.6-1.8
回転数	322/3	320/3	302/3	312/3	32-294/3
トルク	1-1.2	1.4-1.3	1.4-1.8	1.7	0.6-1.0
時間	3' 09"	2' 16"	1' 58"	2' 05"	5' 59"
掘進長(cm)	82.5	70	70	95	63
コア径(mm)	93.8	93.6	94.5	94.5	94.5
ピッチ(1/mm)	11/30	11/30	8-9/30	8-9/30	10/10
孔径(mm)	130	130	130	130	130
チップ重量(kg)	4.1	3.6	3.3	5.4	3.0

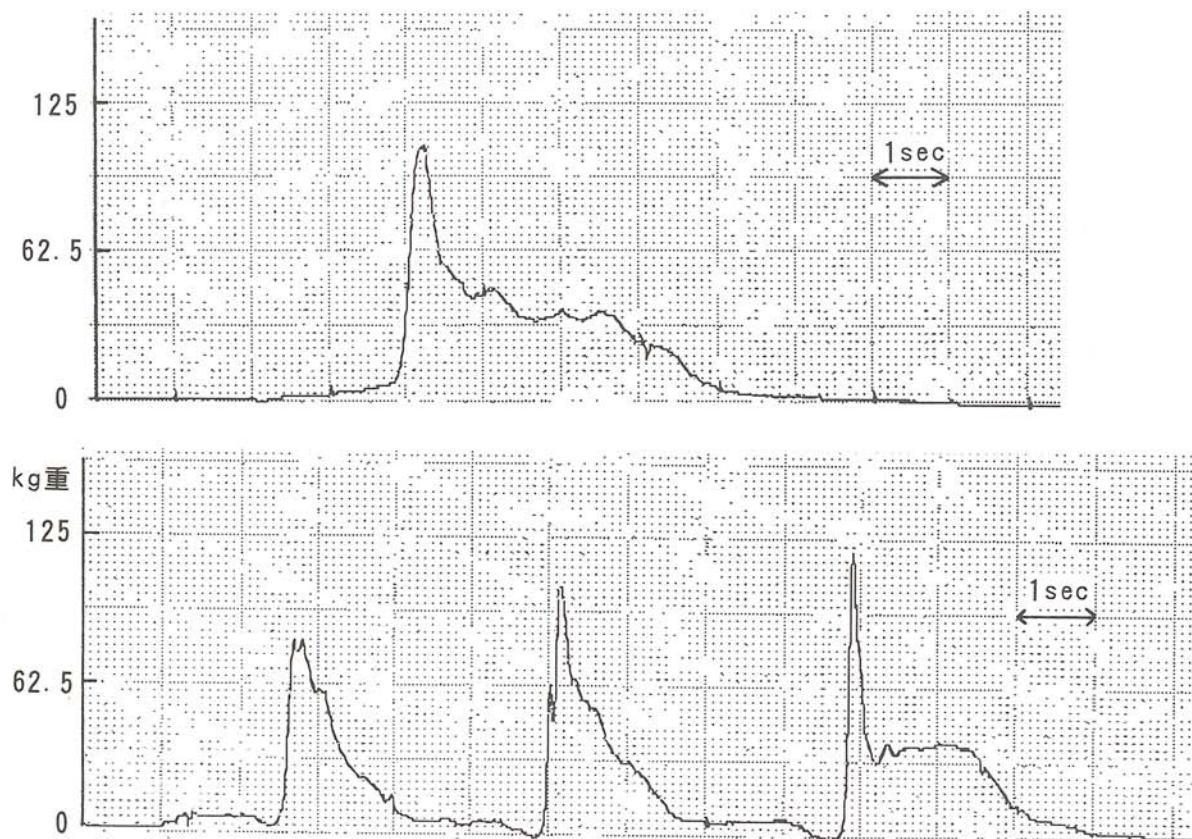


図6. コアカット時荷重変化

(上): Run 16: 氷温-29°C、コア掘削長80cm、コア切断力112.5kg重
 (下): Run 22: 氷温-29°C、コア掘削長80cm、コア切断力 96.4kg重

4. 実験結果

得られた実験データにの一部を表1、図6に示す。表1は、カッターすくい角やヒール高等を変えての掘削実験データの一部であるが、ヒール高が低くなると切削速度が小さくなるのがわかる。図6はコアカット時にケーブルに瞬間的にかかる張力の大きさの時間変化である。最大、100kg重を越すことがわかる。その他、掘削性能等に関する詳しい解析はこれからおこなわれることになる。

著者の一人の高橋昭好は、これらの実験経験をもとに、第37次南極観測夏隊員として1996年1月にドーム基地の掘削現場を訪れ、深層掘削機の整備および掘削法の指導を行ってきた。1月下旬の越冬交代時点で第36隊により掘削は約600mまで進んでいたが、その後、第37次隊に引き継がれた掘削はほぼ順調に進み、1996年5月19日現在1187mまで進行している。

参考文献

- (1) 藤井理行ほか：氷床深層ドリルの開発、南極資料、32, 303-345, (1990).
- (2) 成田英器ほか：氷床深層ドリルの開発(Ⅱ)、南極資料、39, 99-146, (1995).

プログラミング演習支援システムの性能評価

Performance Evaluation of the Programming Exercise Assistance System

藤原 祥隆 (北見工業大学工学部情報システム工学科)
松西 年春 (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)
Toshiharu MATSUNISHI (Kitami Institute of Technology)
Hiroyuki GOTO (Ricoh System Development Kitami)
Tetsuo KUROMARU (Ricoh System Development Kitami)

Key word: programming exercise, CAI, ITS, blackboard model, distributed processing

1 まえがき

筆者等は北見工業大学情報工学科の学部学生を対象とするC言語を用いたプログラミング演習授業の支援を目的に、プログラミング演習支援サービスの枠組のもとで階層分散型構成のシステム（以後プロトタイプと記す）を構築し、1993年10月より本格的に運用している。

そこではプログラミング演習授業を対象に、まずその質的向上を狙いとする経験的知識の活用を考慮した演習支援サービスの枠組を基に、これを実現するための演習支援動作が黒板モデルにより解釈できることを示し、性能の観点から合理的システム構成として、階層化多重化した黒板による階層分散処理型構成を提案した[2]。本稿ではプロトタイプを用いたベンチマークテスト法による当該演習システムの性能評価について述べる[2, 4]。

2 プロトタイプの概要

プログラミング演習授業を、講義、課題提示、アルゴリズム記述、コーディング、レポート提出、の5つのステージと、各ステージに共通する質問応答ステージにより構成する。

一本のケーブルにすべてのWSを接続する構成（ここでは、非階層型分散処理構成と記す）をとると、本稿のプログラミング演習支援の場合には、例えば教官WSと学生WS間のデータ転送などのWS間のトラヒックが一本のケーブル上に集中するために輻輳状態が起こり、支援サービスの応答性が著しく低下する可能性がある。これを避けるためには、ネットワークを流れるトラヒックが分散するような構成をとれば良いことになる。これを階層型分散処理構成と記す。

3 プロトタイプの性能評価

この章では当該プロトタイプを使用したベンチマークテストによる性能評価結果について述べる。また性能評価の一環として、評価尺度として用いた応答時間の良否判断に関する閾値（ユーザの満足・不満足を分ける臨界値）の実験的導出結果について述べる。

なお当該プロトタイプの諸元を文献（2）に示す。

3.1 応答時間閾値の実験的導出

WS の使用にある程度習熟している複数の学生を被験者として選び、当該プロトタイプに現れる典型的な作業パターンについて、システムの応答時間に対する被験者の心理的満足度を実験的に測定した[5]。これらの実験に際しての諸条件を以下に示す。

(1) 作業パターン：(a) 支援サービスの中での作業として流れ図作成作業に頻繁に現れる図形の描画作業を念頭において、簡単な図形（矩形）の描画作業を選ぶ。(b) ある支援サービスから別の支援サービスへの遷移作業として流れ図作成作業を終了しコーディング作業を始める作業を選ぶ。(c) 規模の大きなデータの繰り返し読み出し作業として教官の典型的な作業であるレポートの内容確認作業を選ぶ。

(2) WS の利用者：日常的に WS を使用している利用者を念頭において、情報工学科の 4 年生の中から WS 操作に習熟している 5 名の学生を被験者として選ぶ。

(3) 心理的満足度の評価尺度：システムの応答時間に対する利用者の心理的満足度の評価尺度として、不満 (dissatisfaction)、やや不満、どちらともいえない、まあ満足、満足 (satisfaction)、の 5 段階を設定する。

(4) 実験方法：あらかじめ被験者にどのような内容の実験であるかの状況を伝えておき、被験者のアクションに対するシステムの応答時間を変えながらインタビュー形式によりユーザの満足度を聴取する。この場合、応答時間の最小時間間隔を 0.5 秒とし、応答時間の短い方から長い方へ変化させる場合と、逆に長い方から短い方へ変化させる場合、のそれぞれについてデータを採取する。

以上の条件で得られた結果を図 1 に示す。図において黒丸の大きさは人数の多さを表し、鎖線は過半数の被験者が不満もしくはやや不満と答えた応答時間を表す。過半数の被験者が不満足と感じた応答時間は作業 (a) では 2.5~3.5 秒、作業 (b) では 7.0~10.5 秒、作業 (c) では 7.5 秒であった。これらの実験において応答時間を変化させる方向によって満足度の履歴が一種のヒステリシス特性を示す傾向があることが観測された。

3.2 性能評価結果と考察

上述したプロトタイプを使用して学生および教官の代表的な支援サービスについて、応答時間を尺度として妥当性を検証する。また当該プロトタイプの WS 間接続構成を変えて、全ての WS が一本のケーブルに接続する非階層分散処理型構成を実現し、これと階層分散処理型構成と WS 間データ転送を伴う代表的な動作に関して相互比較することにより、当該階層分散処理型構成の妥当性を検証する。

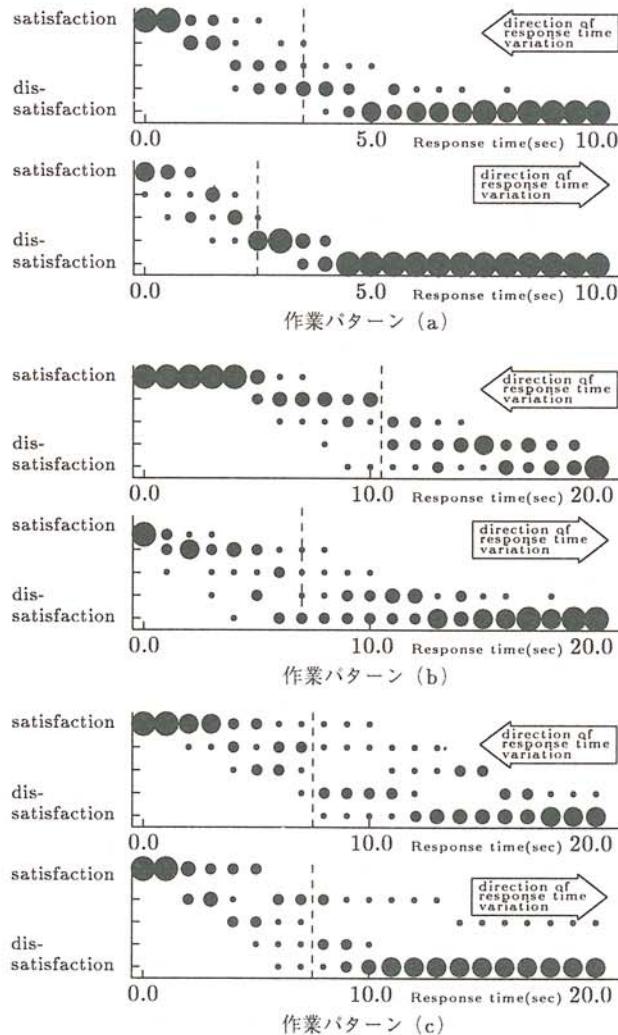


図 1 応答時間とユーザ満足度の関係

3.2.1 支援サービスの応答性の評価

演習支援システムの提供するサービスを学生と教官それぞれの立場から、提供されたサービスをどれだけ快適に利用できるかの観点から評価する。

学生の利用する代表的サービスとして流れ図作成支援を選び、流れ図言語 [1] で頻繁に使用する機能箱（代入箱、判断箱、繰り返し箱、etc.）の描画に要する平均時間を WS の実装メモリ容量を可変にして測定した。結果を図 2 (a) に示す。

また教官の利用する代表的なサービスとしてレポート確認支援を選び、提出済みの特定のレポートを指定してから、その内容（流れ図、ソーステキスト、実行結果、の 3 点セット）が教官 WS の画面に表示されるまでの平均時間を WS の実装メモリ容量を可変にして測定した。結果を図 2 (b) に示す。

図 2 の測定では、モニタ動作の影響が出ないようにネットワーク監視ツールの動作を止めて測定している。この測定とは別に、当該監視ツールを動作させ、各 WS の状態をモニタをし

ながらデータを採ったところ、それぞれ図2 (a), (b) と良く似た曲線が得られた。図2 (a) および (b) の各操作におけるCPUの仕事の量をCPUのピーク負荷を起動から応答に至るまでの時間、積分した値（仮にCPUの仕事量と呼ぶ）で代表させると、実装メモリ容量と仕事量の関係は表1のようになる。実装メモリ容量が少ないところで仕事量が多いのは、メモリ空き領域の探索や必要な容量の確保等のためのオペレーティングシステムのオーバーヘッドが大きいことによると推定される。また表1の仕事量の変化の傾向と図2の応答時間の変化の傾向はよく似ており、仕事量は応答性評価の一つの目安を与えると考えられる。これらの結果からCPUの仕事量が定常的値に落ちつく付近に実装メモリ容量を設定することが効率的設計になるといえよう。

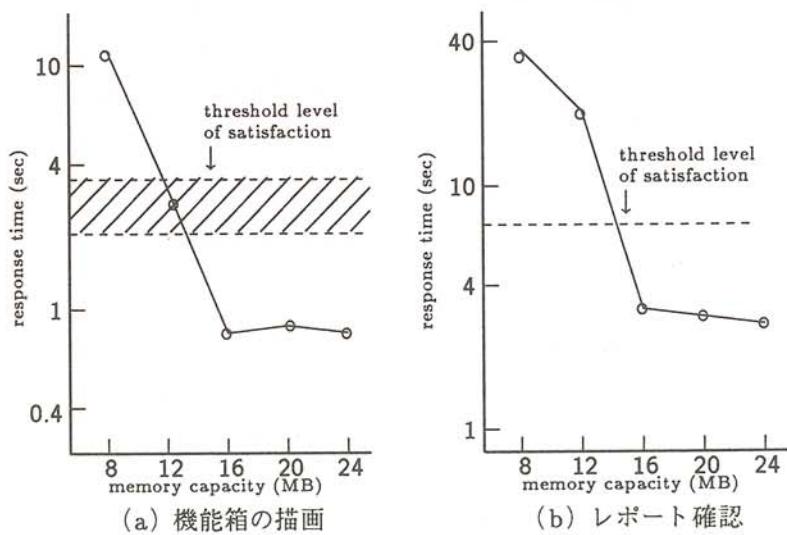


図2 応答時間と実装メモリ容量の関係

表1 CPUの仕事量

実装メモリ容量	機能箱の描画	レポート確認
8 MB	38.4	15.8
12 MB	18.0	11.5
16 MB	1.0	1.0
20 MB	1.0	1.0
24 MB	1.0	1.0

それぞれ最小値で規格化されている

表2 教官・学生間のコミュニケーションの遅れ

項目	個別通信 (1:1)	同報通信 (1:16)	備考
メッセージ送信 時間遅延(秒)	3.1~3.3	3.6~5.1	統合管理 WSの 主記憶を 16MB、 32MB、 48MBに 可変
講義機能の 起動時間(秒)	5.7~6.8	4.5~9.0	
講義ファイル (1MB)の 転送遅延(秒)	4.0~4.6	12.8~14.6	

3.2.2 階層分散処理型構成の評価

まず教官から学生へのメッセージ送信とファイル転送の遅延時間を測定して、階層分散処理型構成の妥当性を考察する。測定結果を表2に示す。仮にデータを送ってから次の操作を開始できるまでの待ち時間が、あるサービスを終了させ次のサービスが使用できるまでの待ち時間と同じ性質のものと考えると、同報通信の講義ファイル転送動作がサービス性の点で改善の余地があるが、その他の動作は満足できる範囲にあると考える。

次に当該プロトタイプのWS間接続構成を変えて、全てのWSが一本のケーブルに接続する非階層分散処理型構成を実現し、WS間でデータ転送を行なう2つの処理（ログインから初期画面表示までと講義ファイルの配布）の応答時間を測定し、本稿の階層分散処理型構成と相互比較することにより、当該階層分散処理型構成の妥当性を考察する。図3に二つの接続構成を示す。

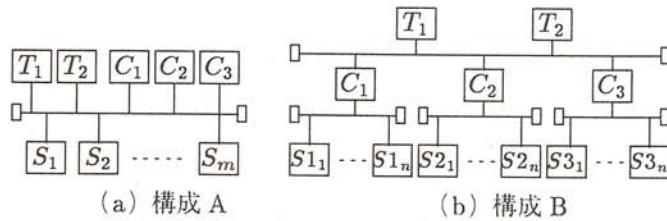


図3 WS間接続構成法

[比較項目と実験方法] 演習中のシステムの振舞いで問題となるのは一定の時間内に集中してメッセージのやりとりをする時である。この時にシステムの応答が極端に低下したり、最悪の場合、必要な機能を起動できないことが予想される。比較項目としては、(a) 中間階層のWSと全学生WS間のデータ転送を伴う、ログインから初期画面表示完了までの時間、(b) 教官WSと全学生のWS間のデータ転送を伴う、講義テキスト送付起動から配布完了までの時間、の二つに着目する。起動操作は実際の演習の状況と同じようにするため、適当な時間間隔で一定の時間以内に全てを起動するように行なった。起動時間の値は、通信の輻輳の影響を最も受けて最後に動作が完了した学生WS上の起動時間の値を用いる。

[実験結果と考察] 実験結果を図4に示す。図3 (b) の接続構成Bでは全ての動作が正常に終了した。図4において構成Aと構成Bの差および台数増加に伴う時間の増加は、ネットワーク・プロトコルのトランスポート層以下におけるパケットの再送により発生する時間経過の差と考えられる。イーサネットのCSMA/CD方式では、パケットの衝突が検知されると所定の再送処理のためにますます到達時間が増大する傾向がある。実験中、接続構成Aにおいて正しく動作できないWSが接続台数の増加に伴い多発した。接続台数12台以上の条件で、初期画面を表示できないWSがあった(表3)。これはパケットが消失したために起こったと考えられる。すわちCSMA/CD方式によりパケットの再送を所定の回数行ない、なおかつ転送に失敗し破棄されたと推定される。パケットの消失は接続構成Aの実験(a)において顕著に起きた。実験(b)においてもわずかながら異常動作が見られた。これらのパケット転送失敗により所定の転送動作が正常に終らないケースを、転送時間無限大と解釈すると接続構成の違いによる性能の差は図4にあらわれた以上に大きいといえる。以上の実験結果から、構成Bは構成Aに比べて有利であることが分かる。

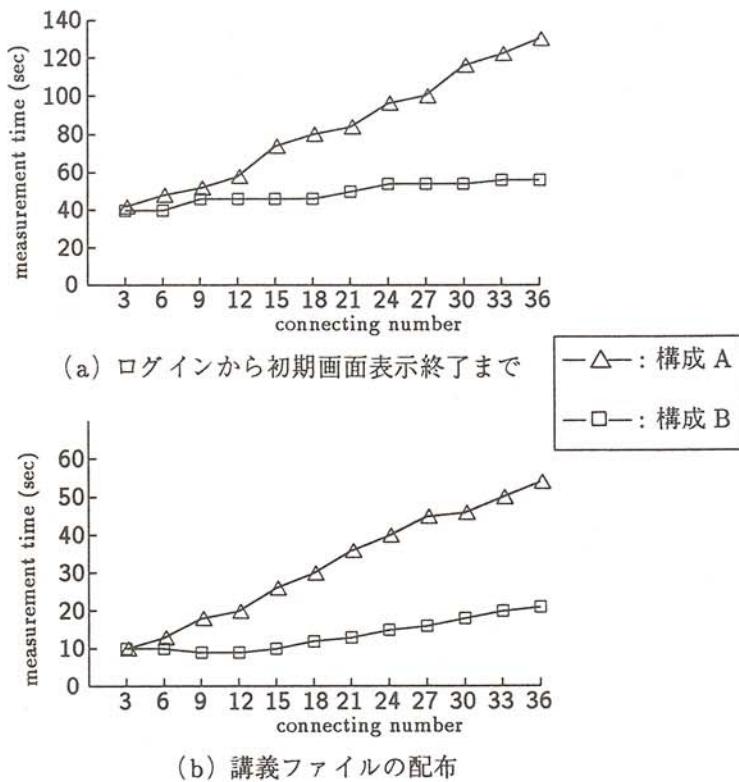


図4 WS間接続構成と動作所要時間の関係

表3 実験(a)パケット消失(構成A)

接続台数	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
異常台数	0	0	0	3	6	1	5	9	10	13	14	19

4 むすび

プロトタイプを使用したベンチマークテストにより、学生・教官の主要支援サービスにおける応答時間と実装メモリ容量の関係、当該階層型接続構成における教官・学生間通信性能の妥当性ならびに非階層型接続構成に対する当該階層型接続構成の優位性を示した。

また上記性能評価の一環として、従来この種の教育を目的とするシステムで定量的検討がなされていなかったシステムの応答時間とユーザの心理的満足度の関係に着目して、支援サービスにおける典型的な作業パターンに関して、ユーザの満足・不満足を分ける閾値を実験的に明らかにした。

参考文献

- (1) A.I.Forsythe 他著、浦昭二訳：“改訂コンピュータサイエンス入門 I”，培風館（1978）
- (2) 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のための並列支援システム”，信学技報、ET93-102,pp.89-96 (1993)
- (3) 松西年春、藤原祥隆：“知識ベースを利用したプログラミング演習の一支援方法”，平4 北海道連大,262 (1992)
- (4) 後藤寛幸、藤原祥隆、松西年春、岡田信一郎、大鎌広、黒丸鉄男：“プログラミング演習のための並列支援システム—プロトタイプシステムにおける機器接続形態の比較—”，平6 北海道連大,374 (1994)
- (5) 松西年春、藤原祥隆、岡田信一郎、大鎌広、後藤寛幸、黒丸鉄男：“ワークステーションの応答時間とユーザの心理的満足度に関する実験的検討”，平6 北海道連大,376 (1994)

力覚センサを利用したNC研磨技術

NC Polishing Utilizing Force Sensor

二俣正美（北見工業大学工学部機械システム工学科）
田牧純一（北見工業大学工学部機械システム工学科）
鎌田英博（北海道立工業試験場産業デザイン部）

Masami FUTAMATA(Kitami Institute of Technology)
Junichi TAMAKI(Kitami Institute of Technology)
Hidehiro KAMATA(Hokkaido Industrial Research Institute)

Key words; woodcraft, NC polishing, Force control, Polishing efficiency, Finished roughness

1. はじめに

家具あるいは工芸用木材のNCルータ加工は現在広く普及しているが、その仕上研磨作業は研磨形状の複雑性、多様性のために専ら人力にたよっているのが現状である。また、研磨作業の自動化が思うように進まないもう一つの理由として、安定した研磨特性を維持できる研磨工具および研磨技術の開発が行われていない点が挙げられる。本研究では、木材の自動研磨技術を達成するために、1) 従来使用されている研磨工具の研磨挙動解明とその知見に基づいた最適研磨工具の開発、2) 多関節ロボットのエンドエフェクタに研磨工具を保持させて作業を実行させる際に与えるべき研磨荷重、工具軌跡等の作業パラメータが研磨特性に及ぼす影響を解明することをその目的としている。

昨年度は、研磨機構を解明すべく各種材料について研磨荷重と研磨能率の関係を実験的に検討したが、その結果、研磨布紙の作業面トポグラフィは研磨開始直後から急激に変化するため、時系列研磨データを十分に獲得するためには寸法の長い工作物の研磨に対応できるような荷重制御研磨システムの構築が必要であることが明らかとなった。

本年度は、作業者自らが研磨工具を手に持ち作業する手動研磨法と工作機械上に固定された工具により研磨する自動研磨法についてその研磨特性を比較するとともに、荷重制御研磨システムを試作しその特性を検討した。

2. 実験装置および方法

図1に実験装置の概要を示す。

実験装置には工具研削盤を使用し、研磨工具を固定した1軸移動テーブル（垂直軸）を砥石スピンドル据付け部に搭載することによって研磨工具の上下運動を可能にした。1軸テーブルは減速ギヤ内蔵のステッピングモータで駆動しドライバの制御はパソコンで行った。使用した垂直軸のリードは10mm、ステッピングモータの最小ステップ角は0.1度であるから1パルスあたりの工具上下移動量

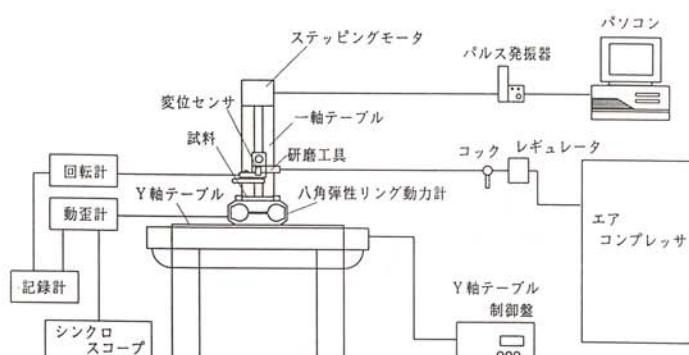


図1. 研磨実験装置

は $2.7 \mu\text{m}$ になる。使用した研磨工具は空気圧によって振動する構造を有するハンディタイプのもので、その振動数変化は、渦電流変位センサを用いた回転計によりインプロセスで測定することができるようになっている。また、Y軸テーブルの駆動にはACサーボモータを用いた。

研磨工具の形状を図2に示す。研磨パッドはエア駆動によりY軸方向（紙面上で左右方向）に振動するような構造を有しており、起毛裏地を有する研磨布紙をこのパッドのマジックテープ部に密着させることにより研磨工具として使用できるようになっている。この工具を用いて自動研磨実験を行う場合には、図2(a)に示すように、工作物をY軸方向に一定速度で運動させた状態で、垂直軸に固定した研磨工具の位置を制御し、一定切込み研磨あるいは一定荷重研磨実験を行った。また、手動で研磨実験を行う場合には、図2(b)に示すように、研磨工具を手に持ち替えY軸テーブル上の八角弾性リング形動力計上に固定した工作物の研磨作業を行った。その際、研磨方向(Y軸方向)に対して平行なオシレーション運動を研磨工具に与えた。

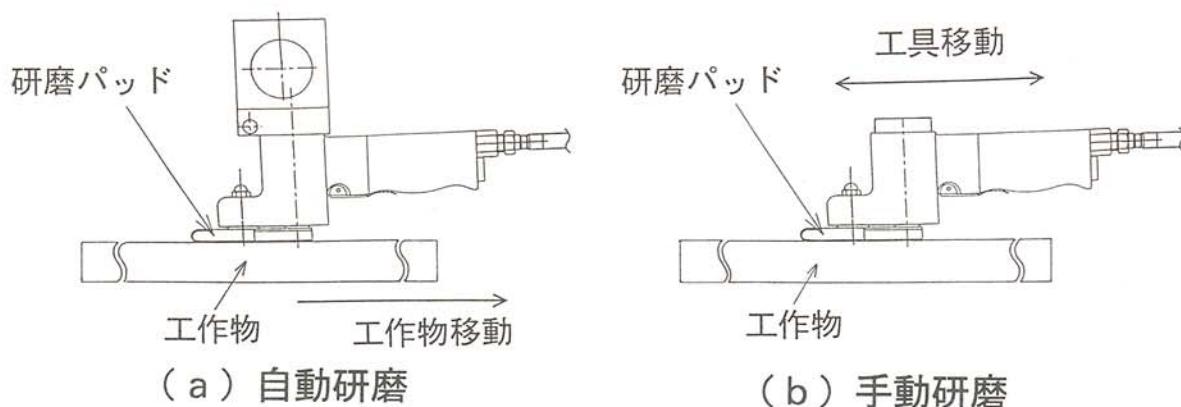


図2. 研磨工具の構造と研磨方式 (a) 自動研磨 (b) 手動研磨

研磨実験条件を表1に示す。研磨工具に供給する空気圧力および研磨力としては、熟練者による研磨作業を予め分析することにより、それぞれの最適値として 0.35 MPa , 10N を採用した。研磨布紙の粒度としては、一般的に木材研磨作業の仕上工程に用いられている#240を用いた。研磨試料は北海道の代表樹種であるエゾ松とミズナラである。

表1. 研磨実験条件

研磨工具	空気圧駆動式ポータブルサンダー 型式：ハンディカム840型（三共理化学製）
研磨布紙	空気供給圧力 3.5 kg/cm^2 (0.35 MPa)
工作物	研磨パッド幅： 40mm
研磨荷重	ハイピッチペーパーロール、型式HNAR # 240
送り速度	エゾ松材およびミズナラ材の柾目面 10N 300mm/min (自動研磨時)

3. 実験結果

3. 1 手動研磨法と自動研磨法の比較

図3から図6に示す図は、研磨方法（手動研磨、自動研磨）を変えて2種類の試料を研磨し、研磨前後の形状変化を直径 2mm の鋼球を触針とする電気マイクロメータを用いて測定することによって研磨前後の高さの差すなわち研磨量（研磨深さ）を求め、その等高線図をカラーで表示した結果を示している。まず初めに図3に示すようにミズナラ材を手動研磨した場合、試料の左側部分よりも右側部分のほうが深く研磨され、その段差は $200 \mu\text{m}$ 以上に達していることがわかる。一方、図4に示すように自動研磨法を採用した場合には、研磨パッドの両端部付近を除けばほぼ一様な深さで研磨されており研磨量にむらのないことがわかる。また、図5に示すエゾ松材の研磨実験結果に注目すると、こ

の場合には手動研磨によってパッド送り方向に研磨むらの発生していることがわかる。それに対して図6に示す自動研磨実験結果の場合には、研磨むらの改善されていることがわかる。

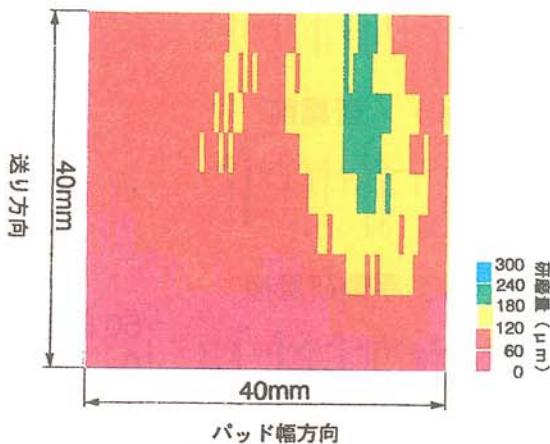


図3. ミズナラ材手動研磨時の研磨量

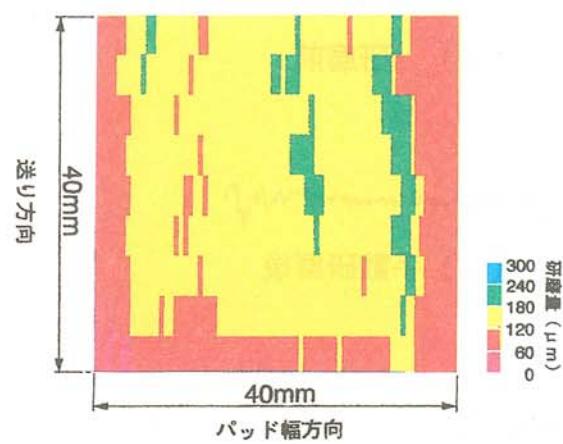


図4. ミズナラ材自動研磨時の研磨量

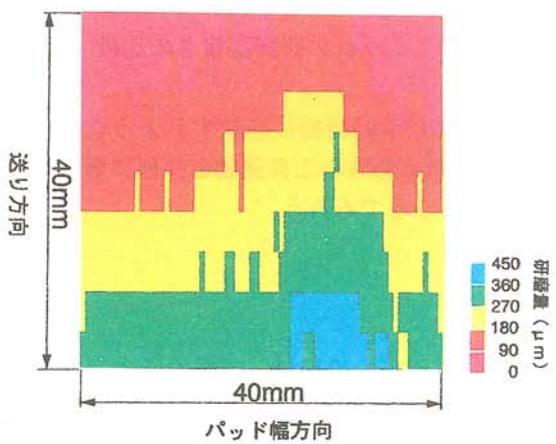


図5. エゾ松材手動研磨時の研磨量

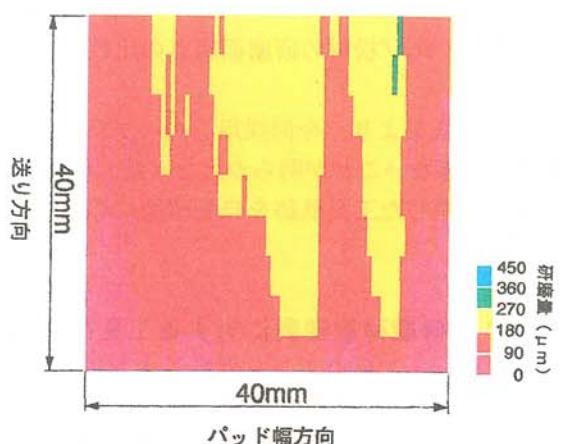


図6. エゾ松材自動研磨時の研磨量

以上の結果は研磨荷重を一定に制御できるという自動研磨法の特徴が反映した当然の帰着と言える。

次に、研磨性能評価において最も重要な研磨仕上面に関する情報を得るために、研磨前後の試料面を表面粗さ測定用円錐形ダイヤモンド触針（先端半径公称値 $5\mu\text{m}$ ）で走査しその断面プロファイルを比較した。図7、8にその結果を示す。まず初めに図7に示すエゾ松材に注目すると、研磨前に $50\mu\text{m}$ ほどあった最大高さ粗さは手動研磨を適用することにより試料中央部で $15\mu\text{m}$ ほどまで減少しており「手動による研磨」の効果を確認することができる。一方、自動研磨を適用した場合、そのプロファイルには周期 8mm 程度のうねり成分が存在しており、これが手動研磨時との仕上面粗さを比較した場合に悪い結果をもたらす要因となっている。自動研磨時に認められるうねり成分（低周波成分）が研磨試料の繊維構造特性が要因となってたまたま発生したものなのか、あるいは、比較対象の手動研磨法とその工具運動方法が同一でないために発生したものなのかこの結果だけでは判断できない。

次に図8に示すミズナラ材の結果に注目すると、その構造的特徴としてエゾ松材には認められなかった大きく深い空孔部の存在を確認できる。したがって、ミズナラ材の場合、研磨作業の目的はこの空孔を除去することではなく表面の平滑化作業だけに限定されることとなる。そこで、空孔部を除いた

プロファイルの変化に注目すると、手動研磨を適用した場合には平滑化効果を認めることができるが、自動研磨法の場合には、エゾ松材の場合と同様研磨前後において顕著な変化は認められない。

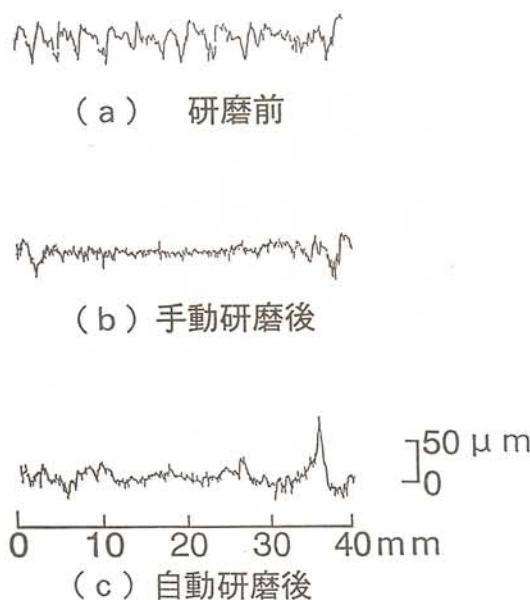


図7. エゾ松材の研磨面粗さの比較

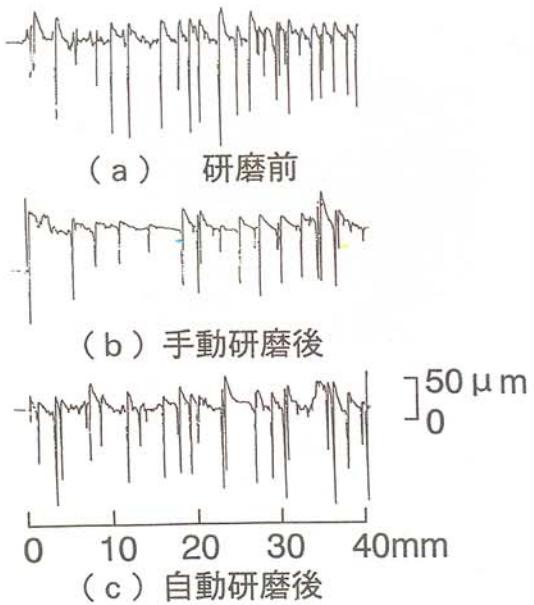


図8. ミズナラ材の研磨面粗さの比較

以上に示す結果より、今回採用した一方向移動式自動研磨法では手動研磨に匹敵するような仕上面粗さを達成できないことが明らかとなった。今後の課題として手動研磨時の工具運動を詳細に解析し、その結果を反映した工具軌跡を自動研磨に導入する作業が必要となるであろう。

3. 2 研磨荷重変動に対する工具振動数の応答性

多関節ロボットに研磨工具を保持させ力制御研磨加工を実行させるためには、当然のことながら研磨力を常にモニタリングすることが必要となる。

力センサとして最もポピュラーなものは弾性リングによるモーメントあるいは変位のセンシングであるが、この種のセンサは外乱振動に対する安定性あるいは出力ドリフトの点で問題を起こすことが多い。

そこで、本研究では、研磨工具が空気圧力を動力源としていることに注目し、研磨荷重すなわち負荷変動に対する工具振動数の応答性を測定することにより、力センサとして工具振動数をモニタリングすることの可能性を検討した。

図9は、研磨工具に供給する空気圧を0.2MPaから0.4MPaまで変化させ、それぞれの場合について研磨荷重に対する工具振動数の変化をプロットした結果である。当然のことながら空気供給圧力が高くなるにつれて無負荷時の工具振動数は増加しているが、研磨荷重の増加に伴う振

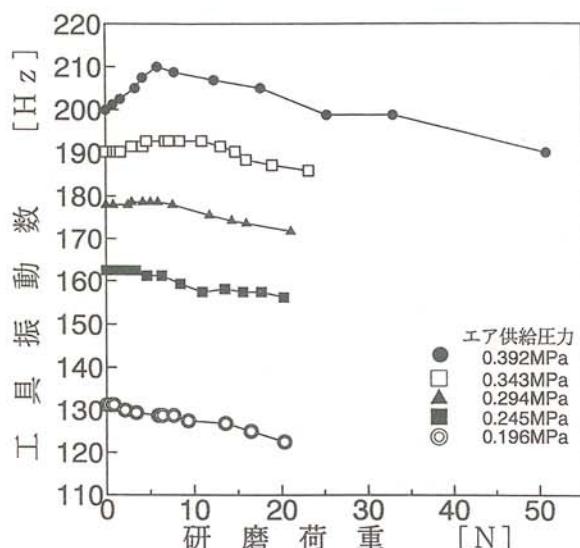


図9. 研磨荷重が工具振動数に及ぼす影響

動数の変化パターンはそれぞれ異なっている。例えば、空気圧力が0.4MPaの場合、研磨荷重6N付近までは研磨荷重の増加とともに振動数が増加しているがその後は低下するような挙動を示している。

一方、空気供給圧力が0.2MPaの場合には研磨荷重の増加に伴い振動数が単調に低下している。このように工具振動数の応答特性が供給空気圧力の状態によって異なるということは制御アルゴリズムに複雑性を付加するだけであり、実際の作業現場においても一定圧力の空気が恒常に供給されるという保証はない。また、工具振動数に注目すると、研磨時の変動率は無負荷時振動数の高々5%となっており研磨荷重をセンシングするに有意な値とは言い難い。

以上の結果より、工具振動数の変化を力センサとして用いることは実用上不可能であると判断し、次に述べる歪みゲージ式動力計を用いた研磨力制御研磨システムを構築することとした。

4. 力制御研磨システムの構築

木材はその組織が個々の試料によって大きく異なるため、安定した研磨実験データを獲得するためには研磨試料を頻繁に交換することは望ましくなく、寸法のできるだけ長い同一試料を用いることが肝要である。また、工作物側に動力計を設置した場合には、木材の持つ多孔性が起因して研磨表面に加えられる荷重が木材内部で分散し、研磨荷重が木材底部すなわち動力計まで正しく伝達されないという不都合が生じる。この荷重分散現象は被研磨材すなわち木材の厚みおよび材質の影響を強く受け、荷重制御システムを構築する際の障害となる。木材研磨の場合に研磨力検出を工具側で行わなければならない理由はこの点にある。

動力計の機能を付加した工具治具の構造を図10に示す。研磨時の押付力は4枚の歪ゲージにより検出されるようになっており、動力計に適当なコンプライアンスを与えるために薄肉構造としている。

なお、工具から伝達される振動ノイズを抑制するため、スリット部にはシリコンゴムを注入した。

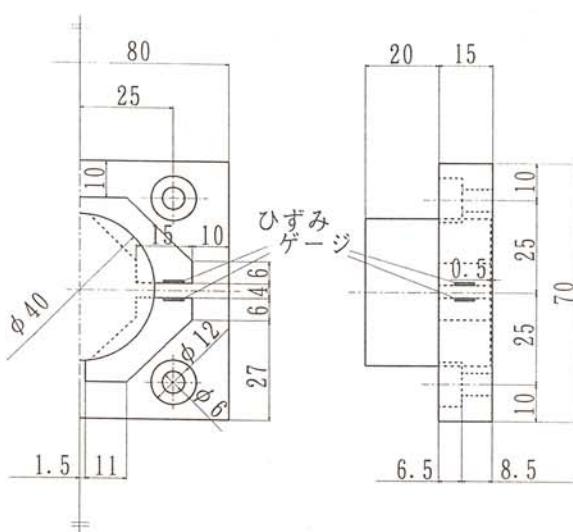


図10. 工具押付力検出動力計の構造

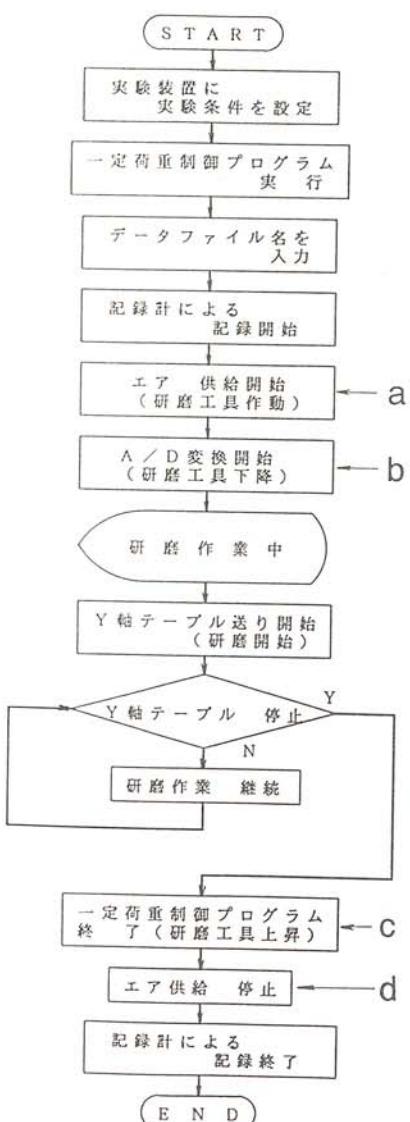


図11. 力制御自動研磨システムの流れ図

図11は、力制御研磨自動システムのフローチャートを示しており、図12は研磨荷重を10Nに設定してミズナラ材の研磨実験を行った結果例である。同図においてa点は工具振動開始点を示し、b点は工具下降開始点、c点は工具退避開始点、d点は工具振動停止点を示している。なお、図12中には工具側で検出される荷重と工作物側で検出される荷重の2つが記録されているが、これは、工具側に固定した動力計からの出力を入力信号として用いた力制御研磨システムが正常に作動するかどうかを確認するために、工作物に作用する研磨力を同時に測定したためである。

図より、工具側動力計の特性について工具振動開始時に数Nのレベルシフトの発生が認められるが、これはレベルシフトを考慮した制御プログラムを採用することによって解決できる。また、研磨荷重を設定値10Nに安定させるまで5秒近くを要しているが、これは駆動系のハードウェアを高速化することによって改善可能である。次に工具移動量に注目すると、工具の最終下降量は2mmを越えており、先の基礎実験により得られた実質研磨量の数倍になっている。この結果は、木材研磨作業において研磨工具・工作物間の弾性変位が研磨機構を大きく支配していることを意味しており、今後自動研磨の最適化を目指していくうえで解明しなければならない課題である。

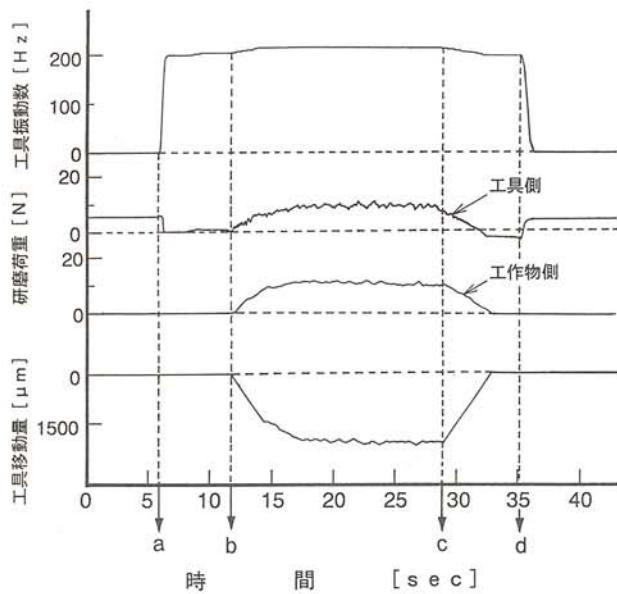


図12. 力制御研磨実験の結果例（設定荷重10N）

5.まとめ

木材の自動研磨を達成するための基礎的知見を得るために、エゾ松材およびミズナラ材について手動研磨および自動研磨実験を行い、次の結論を得た。

1) 自動研磨法を採用することにより研磨面全体にわたって研磨むらのない一様な研磨除去量を得ることができますが、その仕上面粗さは手動研磨法に匹敵するまでにはいたらない。この点を解決するためには、手動研磨を模倣した軌跡を工具に与えるような工夫が今後必要であろう。

2) 研磨時の工具振動数変化を研磨力検出信号として代用することの可能性について検討した結果、研磨時の振動変動は空気供給圧力の違いによって複雑な挙動を示し、その変動率も実用範囲内では低いレベルであるため、研磨力検出信号として採用することはできなかった。

3) 工具保持具に歪みゲージ式動力計を取り付けた力制御研磨実験システムを構築しその有効性を確認した。また、木材研磨作業においては研磨工具・工作物間の弾性変位が顕著であり、実質研磨深さはみかけの押し込み深さよりもはるかに小さいことを確認した。

6. 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および研磨情報をご提供いただいた（株）北海道リズムに謝意を表します。

溶射皮膜の摩擦特性の解明と高力ボルト摩擦接合部への応用

Friction Characteristics of Thermal Sprayed Coatings and
its Application on High-strength Bolted Joints

二俣 正美（北見工業大学機械システム工学科）
有田 敏彦（北見工業技術センター）

Masami FUTAMATA (Kitami Institute of Technology)
Toshihiko ARITA (Kitami Industrial Technological Center)

Key words: thermal spraying, metal and ceramic coatings, friction characteristic, sliding frictional force, application, high-strength bolted joints, surface modification of joints

1. 緒言

固体間の滑り摩擦は、接触面の物理的・化学的性質、雰囲気状態などと密接に関係するが材料固有の性質の一つであり、これを調整・制御することは工学上、極めて重要である。摩擦は主に材料表面とその近傍に関する問題であり、したがって接触面に基材（バルク材）と異なる性質の皮膜を被覆することによって新しい摩擦特性の創出が可能になる。皮膜形成法の一つである溶射は今日、高機能化表面改質技術として広範な分野で使用されているものの、溶射皮膜の摩擦特性及びその応用に関する系統的研究例はほとんど見当たらない。本研究では、溶射皮膜の摩擦特性を明らかにし、その特性を滑り摩擦の調整・制御に応用することを目的に、溶射したままのアルミニウム、亜鉛及びアルミナセラミックス皮膜の摩擦特性に関し実験的検討を加え、さらに鋼構造物の高力ボルト摩擦接合への適用の可能性について検討している。

2. 実験装置及び方法

(1) 摩擦力の測定

摩擦特性の評価に際しては、摩擦力と滑り距離（摩擦距離）の関係、並びに摩擦係数を知ることが重要である。本研究では、図1に示すような装置を製作し、まず摩擦力と滑り距離（上部試験片と下部試験片間の相対変位）の関係を実験的に求め、次に測定された摩擦力と荷重の比から摩擦係数を算出した。本装置では、滑り速度V=5~100mm/minの範囲での摩擦力を最大2940N (300kgf)まで精度0.98N (0.1kgf)で測定することができる。実験は、V=50mm/min一定とし、荷重W（接

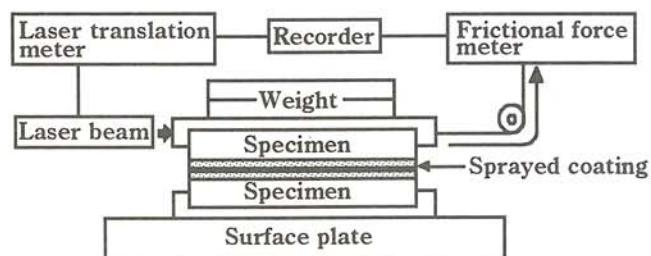


図1 摩擦力測定装置の概略

触力を与える重り、上部試験片及びそれを保持する治具の総重量)を260~1044N(26.5~106.5kgf)の範囲に設定し、温度約295K(22°C)、相対湿度約5%の恒温恒湿室内で行った。測定された摩擦力と滑り距離の関係を図2に模式的に示す。摩擦力の波形には二つの代表的タイプがあり、上部試験片の滑り開始直前で山が現れ、滑り距離の増加とともにランダムな変動を繰り返す(a)と、ほぼ周期的な変動を繰り返す(b)とに大別できる。ここでは、JIS K 7125に規定の摩擦係数試験方法に準拠し、最初に現れた山に相当する力を静摩擦力 F_s 、山を過ぎて最初の谷を示したところ($L=0\text{mm}$)から $L=6\sim10\text{mm}$ までの平均の力を動摩擦力 F_k とし、静摩擦係数 μ_s と動摩擦係数 μ_k をそれぞれ次式で定義している。

$$\mu_s = F_s/W \quad (1)$$

$$\mu_k = F_k/W \quad (2)$$

なお、摩擦力は測定装置の物理的・機械的性質にも依存するが¹⁾、本装置では後に述べるように皮膜の組み合わせと滑り速度が一定条件の基では、低荷重・高荷重に関わらず図2(a)、(b)と同様の特徴ある波形が得られており、したがって(a)、(b)の違いは装置の特性によるものではない。

(2) 供試体

試験片は、フライス加工で平滑化した軟鋼基板SS400(寸法: 80x50x9mm)の摩擦面に相当する片面を溶融アルミナグリットブラスト法で粗面化処理後、アルミニウムAl、亜鉛Zn及びアルミナ Al_2O_3 皮膜を厚さ約 $300\text{ }\mu\text{m}$ に溶射したものが主である。ここでは摩擦係数の増大を図るために皮膜表面の凹凸を積極的に利用するとの立場から、各試験片については超音波洗浄のみを施し、表面粗さを触針式粗さ計によって測定後、無潤滑で実験に供している(乾燥摩擦)。各試験片の表面粗さは、皮膜の種類によって若干異なるものの中心線平均粗さ R_a には大差がない。摩擦力の測定は、溶射皮膜については同種、異種の組み合わせを対象とし、比較試験として行った基板を研磨したもの、溶融亜鉛めっきを施したもの、及び高力ボルト接合設計施工指針に準じてブラスト処理したものについては同種の組み合わせを対象とした。なお、Al、Zn皮膜は摩擦特性の調整・制御と同時に防錆・防食機能を安価に付与すること、 Al_2O_3 皮膜は硬度が大きく異種皮膜との組み合わせにおいて摩擦係数が増大することを期待して選定した。

3. 実験結果と考察

3. 1 摩擦力の測定結果

(1) 同種皮膜

図3に、 $W=260\text{N}$ の条件で得られた摩擦力と滑り距離の関係を示す。図中には上部及び下部試験片の摩擦面の粗さを記している。摩擦力は、静摩擦から動摩擦に遷移する過程とそれ以降の動摩擦過程において、皮膜の種類によって特徴的な変化を示している。すなわち、Zn/Zn(a)では、静摩擦力の限界値(静摩擦力)を意味する最初の山と、それに続く動摩擦域において谷と山とが明瞭に現れ、大振幅でほぼ周期的な変動を繰り返している($W=260\text{N}$ の例では、P-P値で最大

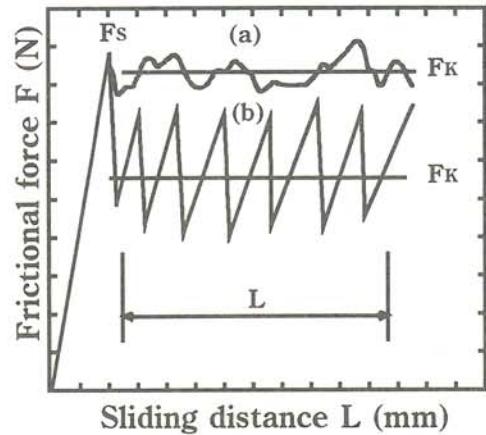


図2 代表的な摩擦力の波形

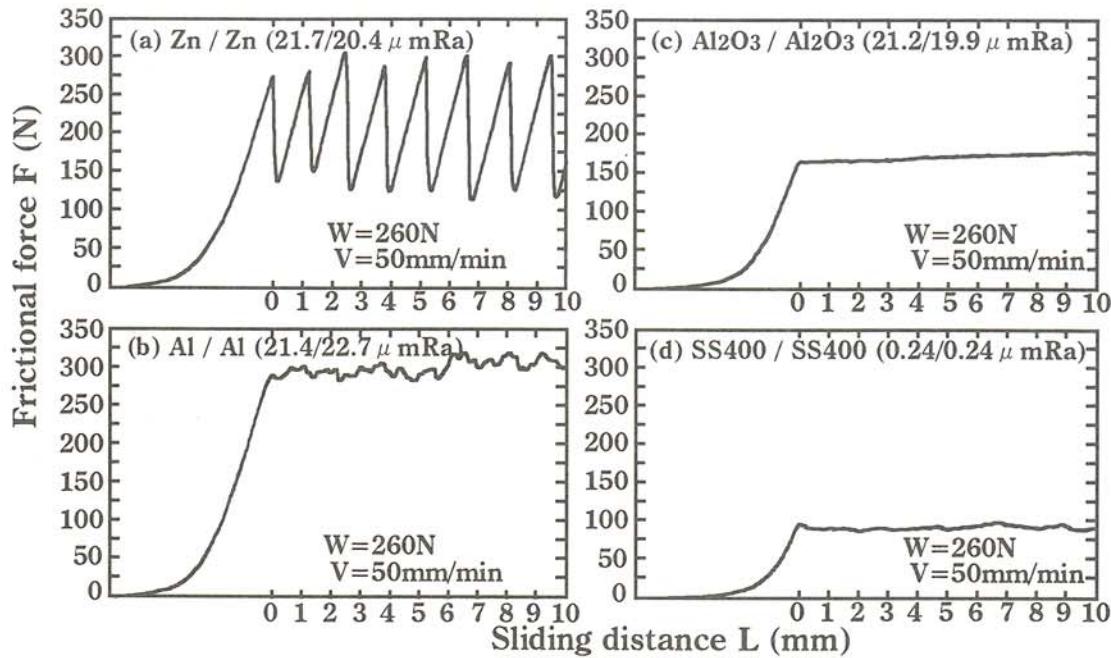


図3 同種皮膜の摩擦力と滑り距離の関係

185N以上の変動幅）。またAl/Al(b)とAl₂O₃/Al₂O₃(c)では、動摩擦域での周期的な山と谷は現れず、振幅の小さなランダムな波形となり、特にAl₂O₃/Al₂O₃では振幅が小さい。ただし、(b)、(c)の場合にも摩擦力の軸を拡大して観察すると、静摩擦から動摩擦に遷移する過程で静摩擦力を示す山が確認される。比較のために測定した研磨基板同志(d)の場合にも変動幅は小さい。なお、測定結果は割愛するが、各皮膜についての摩擦力の変動傾向は、荷重が大きくなつてもほぼ類似したものになっている。摩擦力の測定結果から溶射皮膜面間の滑りは、皮膜の種類と荷重に依存し、間欠的なジグザグ運動の連続として進行する場合のあることが分かる。間欠的なジグザグ運動は、先に述べたように測定装置の特性によつても生じる可能性はあるが、摩擦力は低荷重、高荷重に関わらず、例えばZn/Znではほぼ周期的な変動、Al₂O₃/Al₂O₃ではほぼ平坦なことから、図3に現れたジグザグ運動は装置上の問題ではなく、滑り面に固有な特性と判断される。摩擦力を真実接触部に生じた凝着結合をせん断するのに要する力と考えると、Zn/Znでは、凝着の生成と破壊が交互に生じる、いわゆるstick-slip現象がほぼ周期的に発生していることになる。なお、静摩擦力は動摩擦力に比べて一般に高くなることが多いが、(b)、(c)では両者間にほとんど差が認められないものもある。

(2) 異種皮膜

図4に、Zn/Al(a)、Al₂O₃/Zn(b)、Al₂O₃/Al(c)の組み合わせについて測定した摩擦力と滑り距離の関係を示す。摩擦力は、(a)、(c)ではAl/Alと

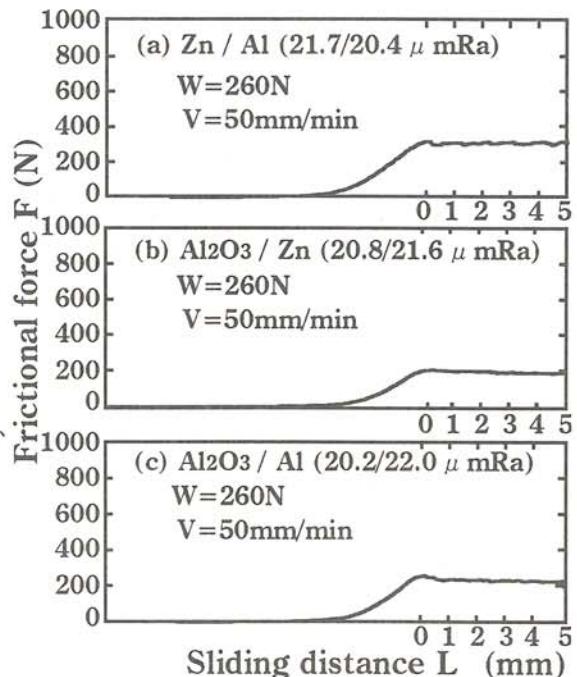


図4 異種皮膜の摩擦力と滑り距離の関係

同様にランダムな変動、(b)では縦軸を拡大して観察すると振幅と周期は小さいもののZn/Znと同様、ほぼ周期的な変動を示している。金属の摩擦係数は、一般に同種間で大きく異種間では小さいが、溶射皮膜の場合には摩擦係数を支配する摩擦力は、Zn/Alでは同種皮膜で最も大きいAl/Alにほぼ同等、他の異種皮膜の組み合わせについてもAl₂O₃/Al₂O₃に比べるといずれも大きな値を示している。

(3) 亜鉛めっき面、プラスト処理面

図5は、溶融亜鉛めっき処理(a)、高力ボルト接合で採用のショットブラスト処理(b)を施した同種試験片についての摩擦力の測定結果である。

亜鉛めっき面同志での摩擦力は、図3(d)の研磨基板と同等の小さな値であり、このままの状態では高力ボルト摩擦接合面には応用できないと考えられる。亜鉛めっき鋼材は耐食性に優れているので、海岸地域など腐食環境下での使用が進められ、この場合、摩擦面に相当する部分はマスキングをしてめっきをしないか、めっきされている場合にはブラスト処理し、非めっき鋼材と同様、最大高さRmax=50~100S (Ra=12.5~25μmにほぼ相当)に粗面化して用いられる⁵⁾。一方、ブラスト面の摩擦力は溶融亜鉛めっき面に比較すると若干大きいが、溶射皮膜に比較しするといずれも小さい。したがって摩擦力によって大きな応力の伝達を必要とする摩擦接合においては、ブラスト処理に比べ溶射皮膜に優位性がある。

(4) 滑り摩擦繰り返し面

図6は、滑り摩擦を同一試験片に繰り返し与えた際の摩擦力を同種皮膜Zn/Zn(a)、Al/Al(b)、及び異種皮膜Zn/Al(c)、Al₂O₃/Zn(d)について測定した例である。実験では所定の条件で1回目

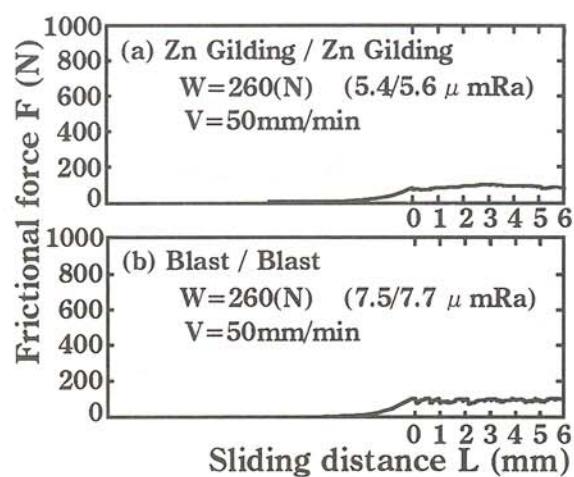


図5 亜鉛めっき面(a)、ブラスト処理面間(b)の摩擦力と滑り距離の関係

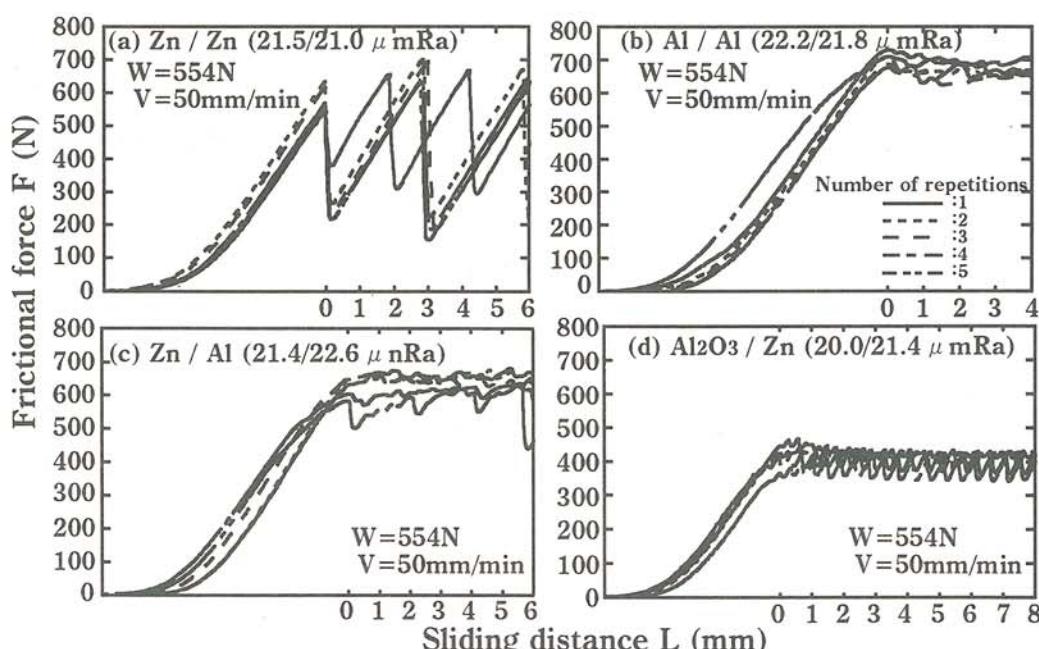


図6 摩擦力と滑り摩擦繰り返し数の関係

の測定を終了後、上部試験片を元の位置に戻して2回、3回と、最大5回繰り返している。摩擦力は、繰り返し回数の増加に伴ってやや低下する傾向が見られ、20回繰り返してもほとんど変化がないとする純金属の場合⁸⁾とはやや状況を異にしている。溶射皮膜での繰り返しに伴う摩擦力の低下は、表面の凹凸部が滑りによってせん断、摩耗し平滑化することが一因と考えられる。ただし、繰り返し試験後も摩耗によって基材素地が現れたり、皮膜が剥離する現象は観察されていない。なお、繰り返し回数にかかわらず摩擦力は、Zn/ZnとAl₂O₃/Znでは周期的な変動、Al/AlとZn/Alではランダムな変動をしている。

3. 2 摩擦係数

図7に、同種皮膜(a)及び異種皮膜(b)の処女試験片3~5組について測定した摩擦力を基に、(1)式から求めた静摩擦係数と荷重の関係を示す。静摩擦係数は皮膜の組み合わせが同じであれば荷重による影響は少なく、ほぼ一定している。ただし、W=260Nの条件では若干大きくなったり、小さくなったりしているが、これは皮膜凹凸部での接触状態が低荷重域で不安定なためと判断される。静摩擦係数が荷重にかかわらず一定であるとすると、摩擦に関するAmontonsの法則が成立することになる。この法則は、接触面積が加えた荷重とともに増加する条件でのみ成立し、例えば接触面積が荷重に比例して増加しない金属薄膜や接触部のせん断強さが異なる硬い金属と軟らかい金属間では成立しない¹⁾。厚さ約0.3mmの溶射皮膜で、硬さの異なるAl₂O₃/Zn、Al₂O₃/AlにおいてもAmontonsの法則がほぼ成立することは新しい知見であり、溶射皮膜を摩擦面に応用する際の有用な指針になる。

表1に、各試験片3~5組の各荷重ごとの平均、及び荷重にかかわらず加算平均して求めた静摩擦係数と動摩擦係数を示す。静摩擦係数が最も大きい組み合わせはAl/Alであり、最も小さいAl₂O₃/Al₂O₃でも研磨基板の約2倍になっている。このように溶射皮膜によって摩擦特性を広い範囲で制御することが可能であり、本実験で対象にした皮膜の種類だけでも静摩擦係数を0.66から1.23の範囲で選択することができる。一般に、静摩擦係数は同種金属間で大きく、異種金属間で小さいが、金属溶射皮膜の組み合わせではZn/ZnよりもZn/Alで大きく、またセラミックス皮膜との組み合わせではAl₂O₃/Al₂O₃に比べてAl₂O₃/Al、Al₂O₃/Znで大きく現れている。この原因については摩耗機構を含め別報で検討することにするが、Al₂O₃/Al₂O₃では摩耗粉が多く観察され、これが潤滑剤として作用し摩擦係数を低くしていると推測される。一方、ショットブロスト法で粗面化処理した基板同志では $\mu_s=0.55$ 程度であり、Zn/Zn、Al/Alに比べると約1/2と小さい。また、材質が同じ亜鉛でも溶射皮膜では溶融めっき皮膜に比べて約3倍大きく、高力

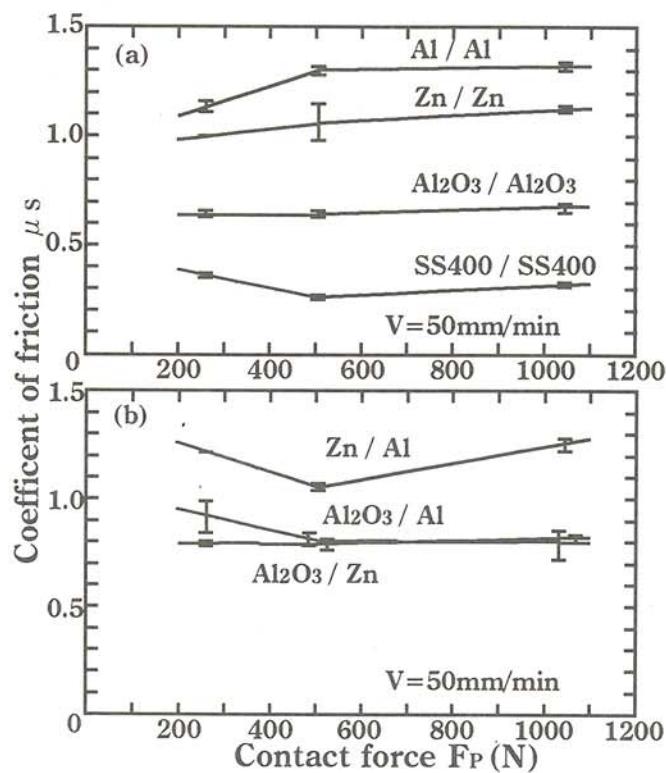


図7 摩擦係数と荷重の関係

(a) 同種皮膜 (b) 異種皮膜

ボルト摩擦接合継手への応用が期待できる。

4. 結言

本研究では、溶射皮膜を固体間の滑り摩擦の調整・制御に応用するとの立場から、溶射したままのZn, Al及びAl₂O₃皮膜について基本的な滑り摩擦特性を調べ、これら皮膜の高力ボルト摩擦接合継手への応用について検討した。得られた結果を要約して次に示す。

(1) 同種及び異種溶射皮膜の組み合わせについて、摩擦力の挙動を明らかにした。摩擦力の動摩擦域での変動は溶射皮膜の種類と組み合わせによって特徴的であり、Zn/Znでは明瞭なstip-slip現象を伴う周期的な変動、Al/Al及びAl₂O₃/Al₂O₃ではランダムな変動を呈した。

(2) 摩擦係数は、溶射皮膜の種類と組み合わせによって異なるものの、荷重にはほとんど依存せず、Amontonsの法則が成立することが確認された。また同種皮膜の組み合わせではAl/Alで最も大きく、次いでZn/Zn, Al₂O₃/Al₂O₃の順となり、Zn/Zn, Al/Alではショットブラスト処理面に比べて2倍程度大きい値を示した。

(3) 本実験で対象にしたZn, Al, Al₂O₃の3種類の皮膜についての組み合わせのみでも動摩擦係数を0.66～1.23の範囲で変化させることができ、溶射皮膜の応用による摩擦係数の調整・制御の可能性が示唆された。また、これら皮膜は耐腐食性に優れ、しかも安価で、現地施工も容易なので腐食環境下での高力ボルト摩擦接合部の処理法としての適用が期待できる。

終わりに、本研究の遂行に当たりご協力いただいた、北見工業技術センター進藤覚弥技師、北見工業大学大学院生安田 要君に深甚の謝意を表する。

表1 表面処理方法と静摩擦係数 μ_s 、動摩擦係数 μ_k の関係

Weight	Zn / Zn		Al / Al		Al ₂ O ₃ / Al ₂ O ₃	
	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k
260 N	1.05	0.81	1.11	1.17	0.63	0.64
554 N	0.98	0.87	1.28	1.23	0.65	0.65
1044 N	1.14	0.83	1.30	1.24	0.69	0.70
Average	1.06	0.84	1.23	1.21	0.66	0.66

Weight	Zn / Al		Al ₂ O ₃ / Zn		Al ₂ O ₃ / Al	
	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k
260 N	1.22	1.18	0.80	0.76	0.99	0.89
554 N	1.14	1.19	0.81	0.79	0.84	0.76
1044 N	1.22	1.23	0.80	0.75	0.85	0.76
Average	1.19	1.20	0.80	0.77	0.89	0.80

Weight	SS400 / SS400		Blast / Blast		Zn Gilding / Zn Gilding	
	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k
260 N	0.39	0.36	0.41	0.35	0.28	0.29
554 N	0.29	0.28	0.63	0.57	0.36	0.39
1044 N	0.32	0.29	0.72	0.54	0.36	0.34
Average	0.33	0.31	0.59	0.49	0.33	0.34

参考文献

- 曾田範宗訳：固体の摩擦と潤滑、丸善(1961)、88-89.
- 日本建築学会：高力ボルト接合設計施工指針(1993)、11-12.
- 同上：72-75.
- 同上：21.
- 同上：100.
- 田中淳夫：高力ボルトの規格と使用状況の変遷、鉄鋼技術(1993)、64-67.

住宅用光発電－新型蓄電池機能付 系統連系システムの研究開発(II)

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

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）
中島 公一（北見工業大学電気電子工学科）
手塚 博文（京セラ（株）ソーラーエネルギー事業部）
柿添 重光（京セラ（株）ソーラーエネルギー事業部）

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

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

1. まえがき

資源・エネルギーセキュリティの確保、環境対策など、我が国が抱える重要課題への対応において太陽光発電（PV）への期待が年々高まっているが、経済性の点で依然として難点があり、今後の改善が望まれている。

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

本研究は、昨年度の研究成果である、“蓄電池機能付住宅用PVシステムの運用方式と、経済性およびエネルギー効率に関するシステム評価方式の開発”に基づいて開発したPVシステムの概要およびシステム運転実績について報告する。

2. 蓄電池機能付住宅用PVシステムの構成

図1に、今回開発したPVシステムにおける主要な構成機器間の電力の流れを、また、表1に、構成機器の諸元を示す。図2は地域共同研究センター屋上に設置した太陽電池、図3は計測制御装置、また図4は新型電池として採用した長寿命小型シール鉛蓄電池（期待寿命6年）

で、その放電特性は図5に示す通りである。

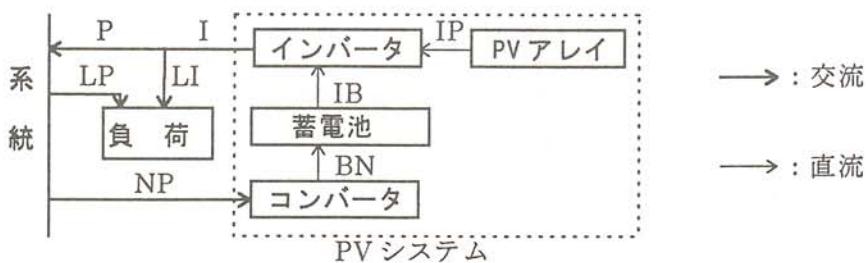


図1 住宅用PVシステムの構成

表1 構成機器の諸元

機器	定格
PVアレイ	962w _p (接続予定: +936w _p)
インバータ	3kW (5kWに変更可能)
バッテリー	12V × 4 = 48V 100Ah
充電器	入力: 200V 出力: 48V 25A
負荷	9189.72kWh/年

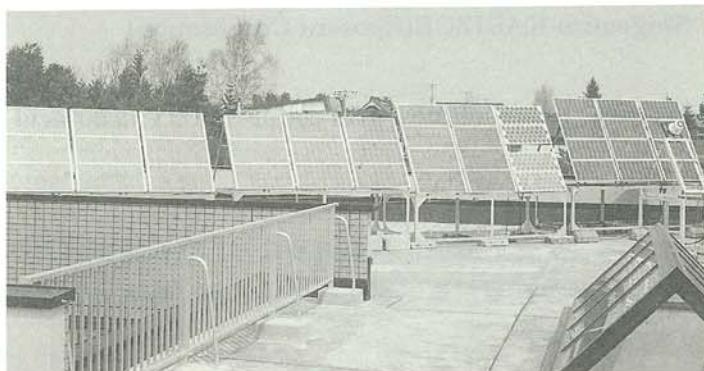


図2 太陽電池

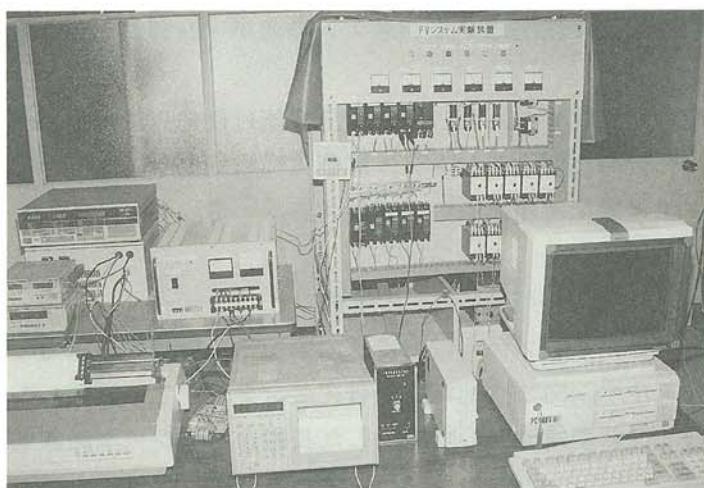


図3 計測制御システム



図4 新型電池

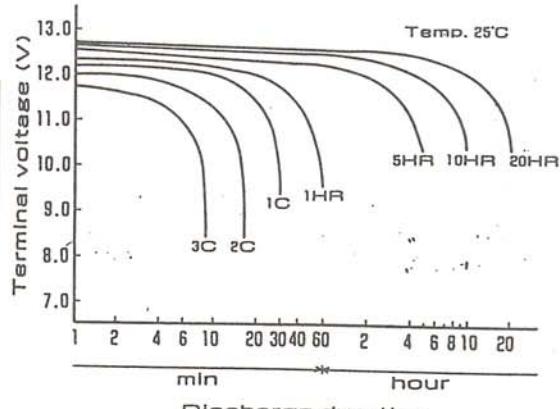


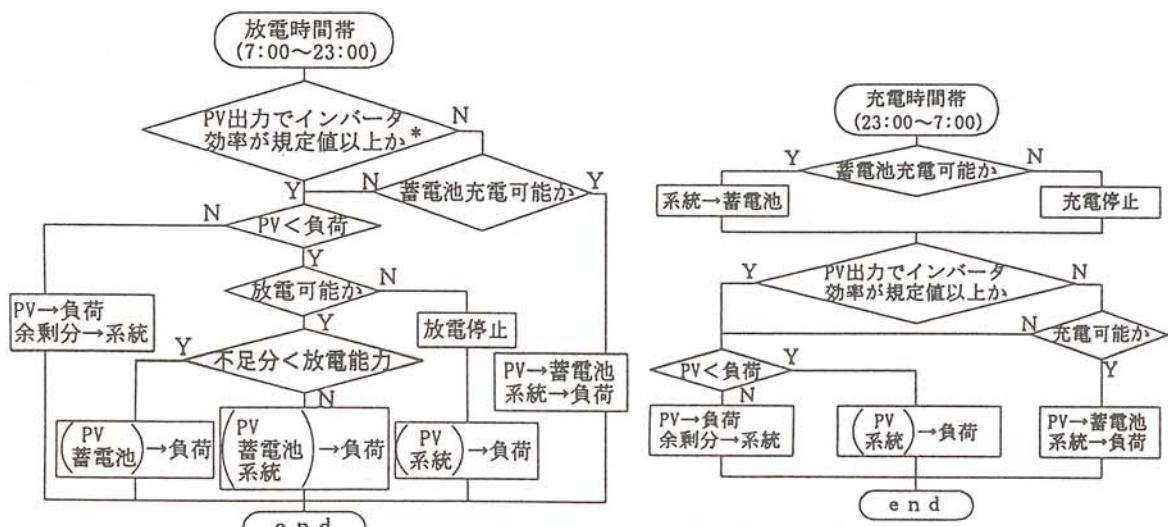
図5 種々の放電割合における放電特性

3. 蓄電池付住宅用PVシステムの運用

逆潮流による系統への売電と夜間帯での系統からの買電を行う住宅用PVシステムは、図1に示すように太陽電池、直流-交流変換装置（インバータ）、電力貯蔵装置としての蓄電池等によって構成されるが、このPVシステムに対して、1日の運転時間を昼間帯(7:00～23:00)と夜間帯(23:00～7:00)とに区分し、以下の運用条件を満足する運用を考える。即ち、

- (1) 住宅負荷へはPVシステムと系統から電力を供給し、PVアレイの出力が負荷を上回る場合は余剰電力として系統へ売電する。
- (2) 蓄電池は所定の放電深度範囲内で運用可能とし、PV出力が負荷より小さい場合は不足分を補うように放電する。また、夜間帯終了時点では満充電状態になっているように充電する。ただし昼間帯では系統からの充電は行わない。

以上の運用条件に基づく、システムの時間帯毎の運用方式を図6および7に示す。本システムは平成8年3月より本格的に運転に入っているが、計測結果の一例を図8～図10および表2に示す。



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

図6 昼間帯（放電時間帯）の運用

図7 夜間帯（充電時間帯）の運用

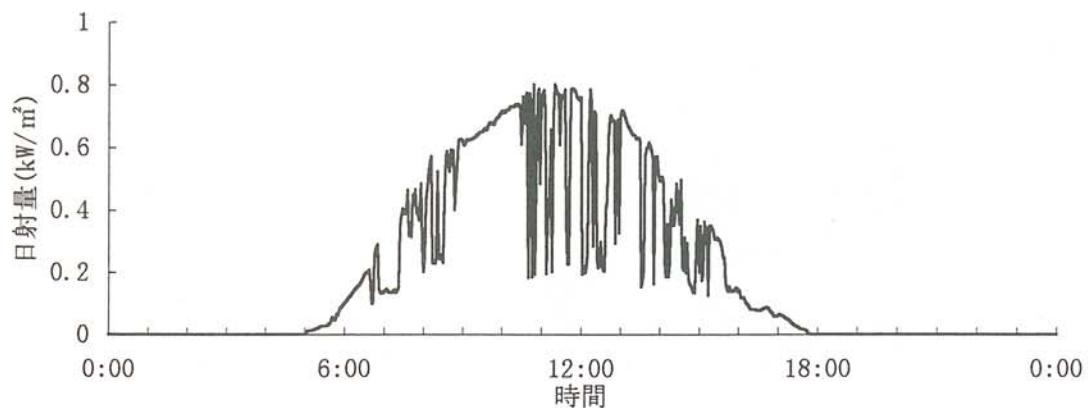


図 8 (a) 日射量(平成8年4月14日)

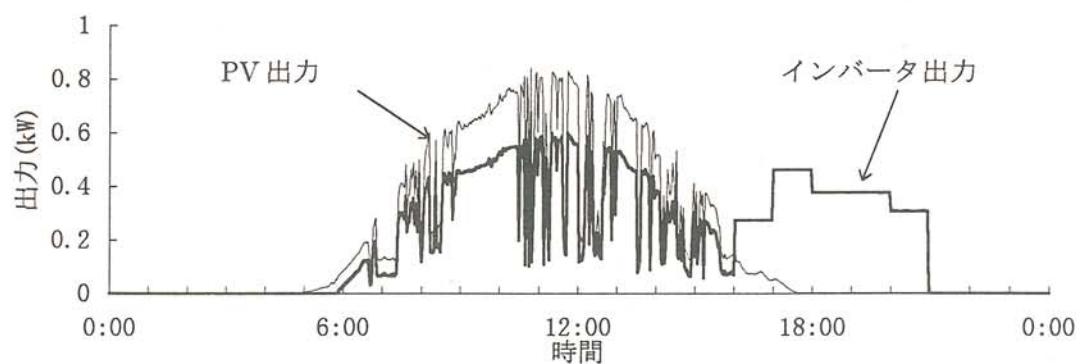


図 8 (b) PV・インバータ出力(平成8年4月14日)

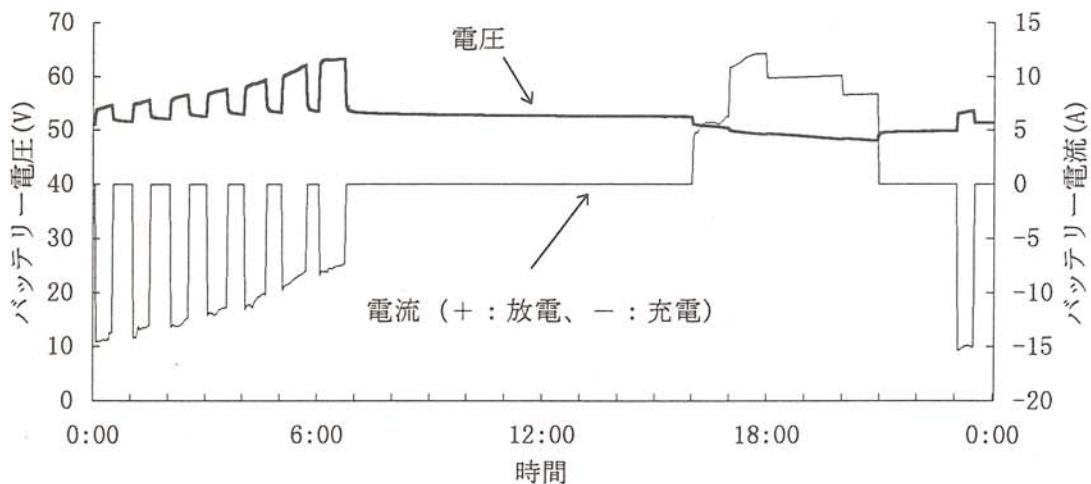


図 8 (c) バッテリー電圧・電流(平成8年4月14日)

表2 運転記録の例（平成8年4月14日）

時間帯	時間	温度	日射 (kWh/m ²)	PV		Battery		インバータ入力		INV-OUT 連系出力		自立出力		LOAD		光電器入力		買電		売電					
				(V)	(A)	(Wh)	(V)	(A)	(Wh)	(V)	(A)	(Wh)	電力(Wh)	電力(Wh)	(%)	(V)	(A)	(Wh)	(V)	(A)	(Wh)	(Wh)			
充電	0:00	24.1	0.0000	0.0	0.0	0.0	52.9	-6.7	-352.8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	105.6	1.2	129.0	212.7	2.8	40.0	129.0	0		
	1:00	23.8	0.0000	0.0	0.0	0.0	53.6	-6.3	-336.8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	105.9	0.7	73.5	212.9	2.6	40.0	73.5	0		
	2:00	23.6	0.0000	0.0	0.0	0.0	54.4	-6.4	-350.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	106.0	0.7	73.5	213.2	2.7	40.0	73.5	0		
	3:00	23.4	0.0000	0.0	0.0	0.0	55.3	-6.2	-345.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	105.9	0.7	73.5	213.0	2.6	50.0	70.5	0		
	4:00	23.2	0.0000	9.6	0.1	0.7	56.4	-6.1	-343.4	9.6	0.1	0.9	0.0	0.0	0.0	105.8	1.3	129.0	213.0	2.6	40.0	129.0	0		
	5:00	23.5	0.0392	32.5	0.9	29.1	58.6	-5.9	-342.9	32.5	0.9	29.5	4.5	0.0	0.0	15.2	105.1	3.5	363.0	212.3	2.6	50.0	358.5	0	
	6:00	23.9	0.1610	40.4	3.7	148.3	60.2	-5.4	-327.7	40.4	3.7	148.4	85.5	85.5	0.0	57.6	105.2	4.2	444.0	213.0	2.4	40.0	358.5	0	
	7:00	25.0	0.2954	43.2	6.7	288.3	53.1	0.0	0.0	43.2	6.7	288.1	210.0	210.0	0.0	72.9	106.4	1.2	129.0	214.6	0.3	40.0	81.0	0	
	8:00	24.6	0.4452	44.7	10.3	460.9	52.9	0.0	0.0	44.7	10.3	458.9	331.5	331.5	0.0	72.2	106.0	1.4	148.5	214.2	0.3	50.0	183.0	0	
	9:00	24.8	0.6426	45.3	14.7	663.2	52.8	0.0	0.0	45.3	14.6	662.2	468.0	468.0	0.0	70.7	106.4	1.4	147.0	215.3	0.3	50.0	321.0	0	
放電	10:00	25.5	0.6510	45.6	14.7	669.0	52.7	0.0	0.0	45.6	14.6	665.1	480.0	480.0	0.0	72.2	107.5	1.0	114.0	217.2	0.3	50.0	366.0	0	
	11:00	25.7	0.6146	46.0	14.4	664.3	52.6	0.0	0.0	46.0	14.4	661.9	457.5	457.5	0.0	69.1	107.2	1.0	112.5	216.7	0.3	50.0	345.0	0	
	12:00	25.6	0.4662	44.2	10.5	464.1	52.6	0.0	0.0	44.2	10.5	463.4	348.0	348.0	0.0	75.1	107.1	1.2	132.0	216.3	0.3	50.0	216.0	0	
	13:00	25.6	0.5558	44.7	12.9	576.2	52.5	0.0	0.0	44.7	12.9	574.6	412.5	412.5	0.0	71.8	107.0	1.2	132.0	216.2	0.3	50.0	280.5	0	
	14:00	25.7	0.2996	42.9	7.1	303.0	52.5	0.0	0.0	42.9	7.1	303.0	214.5	214.5	0.0	70.8	107.1	1.1	112.5	216.0	0.3	50.0	102.0	0	
	15:00	25.8	0.2506	42.5	5.7	243.2	52.5	0.0	0.0	42.5	5.7	243.0	177.0	177.0	0.0	72.8	107.1	1.8	190.5	216.0	0.3	50.0	13.5.0	0	
	16:00	26.0	0.0910	50.7	1.6	80.6	50.7	5.7	290.6	50.7	7.3	371.7	271.5	3.0	268.5	73.1	107.8	2.8	268.5	216.7	0.3	50.0	0	3	
	17:00	26.2	0.0336	49.3	0.4	18.0	49.5	11.6	576.1	49.3	12.0	593.3	462.0	3.0	459.0	77.9	106.7	4.6	459.0	214.5	0.3	40.0	0	3	
	18:00	26.1	0.0000	48.9	0.0	1.8	49.1	9.9	486.5	48.9	10.0	487.9	378.0	3.0	375.0	77.5	105.9	3.8	375.0	213.0	0.3	50.0	0	3	
	19:00	25.9	0.0000	48.4	0.0	1.8	48.6	10.0	484.0	48.4	10.0	485.2	378.0	3.0	375.0	77.9	106.5	3.8	375.0	214.1	0.3	50.0	0	3	
	20:00	25.7	0.0000	44.9	0.0	1.6	48.3	7.8	375.3	44.9	7.8	351.3	283.5	0.0	283.5	80.7	107.4	3.1	306.0	215.8	0.3	40.0	22.5	0	
	21:00	25.5	0.0000	0.0	0.0	0.0	49.7	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	106.5	3.2	334.5	215.2	0.3	40.0	331.5	0		
	22:00	25.3	0.0000	0.0	0.0	0.0	49.8	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	105.6	2.8	292.5	213.2	0.3	40.0	289.5	0		
充電	23:00	25.1	0.0000	0.0	0.0	0.0	52.1	-6.5	-340.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	105.6	1.4	144.0	212.6	2.7	80.0	144.0	0		
TOTAL			4.5458			4614.1			-527.2			6788.4	4971.0	3210.0	1761.0	92.3		5058.0		1130.0	1993.5	1906.5			

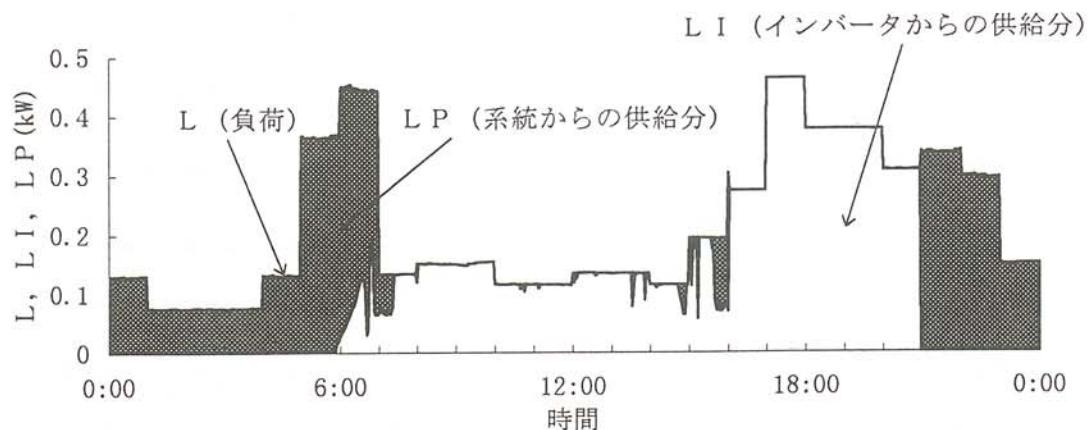


図9 住宅負荷と負荷分担(平成8年4月14日)

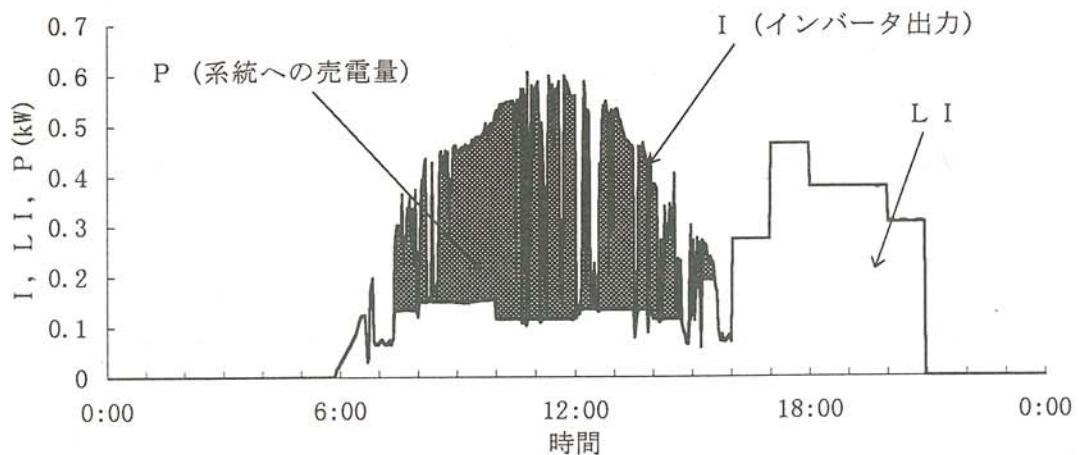


図10 インバータ出力と出力配分(平成8年4月14日)

4. おわりに

昨年度まで開発してきた、逆潮流可能な、蓄電池を備えた住宅用太陽光発電システムの運用方式と経済評価法に関する実証試験を行うべく、システム設計・製作、据え付けを完了し、平成8年3月より運転試験を開始している。筆者等が開発してきた運用方式と経済評価法の妥当性や蓄電池特性の経年変化等を検証するには、長期にわたる運転実績が必要であり、今後とも地域共同研究センターにおいて試験運転を継続する予定である。

参考文献

- (1) 山城, 小山, 仲村, 手塚, 柿添: 蓄電池機能付き住宅用太陽光発電システムの運用と経済評価, 電気学会論文誌, Vol.115-B, No.10, (1995).

**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**

発行日 平成8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）

委 員 内島邦秀（土木開発工学科助教授）

馬場 弘（機械システム工学科助教授）

宇都正幸（地域共同研究センター助教授）

発行者 北見工業大学地域共同研究センター

北海道北見市柏陽町603番地

T E L 0157-26-4161

F A X 0157-26-4171

印 刷 株 北 海 印 刷
