

ロードヒーティング用ファジィ制御システムの開発

澤山 一博, 高橋 裕之, 新井 浩成
鈴木 慎一, 堤 大祐, 長尾 信一

Development of Fuzzy Control System for Road-heating

Kazuhiro SAWAYAMA, Hiroyuki TAKAHASHI
Hironari ARAI, Shinichi SUZUKI
Daisuke TSUTSUMI, Shinichi NAGAO

抄 録

近年、北海道などの積雪地域では除排雪手段として、労力を必要とせず、比較的制御が容易で安全なロードヒーティングのニーズが拡大してきている。しかし、ロードヒーティングは維持費が高いこともあり、十分普及するには至っていない。

そこで、本研究ではロードヒーティングの省エネ化を目的として、熱応答性の高い鋼板製パネルを制御対象とするとともに、制御方法として人間のノウハウを制御演算式に導入することが容易なファジィ制御方式を採用したロードヒーティング制御システムの開発を行った。

また、冬季間において本制御システムによる屋外融雪試験を行った。この結果、ファジィ推論用メンバシップ関数、プロダクションルールおよび制御パラメータにおいて、さらに改善の余地は残されているものの、比較的効率の良い省エネ型ロードヒーティング制御システム実現の可能性が得られた。

1. はじめに

近年、スパイクタイヤの装着禁止、高齢化社会における除雪労力の不足、建物の密集化による雪捨てスペースの減少などの社会的背景により、除雪労力を必要とせず、比較的制御が容易で安全なロードヒーティングの需要が拡大してきている。

しかし、このような効果的なロードヒーティングも、施工費ばかりではなく維持費が高いということが普及をさまたげる大きな要因になっている。特に、一般道路のような施工面積が大きい場所では、深刻な問題である。このため、ロードヒーティングの施工業者や制御器メーカーでは、降雪センサ、路面温度（地温）センサ、風速計、外気温度センサ、路面水分センサなどの各種センサの活用、施工材料や施工方法の検討、そして効率的・効果的な制御方法の検討など、ロードヒーティングの省エネ化に取り組んできた。

ここで、制御技術的に絞って見るならば、一般道路のような大きい面積のロードヒーティングには四要素制御方式が広く採用されている。この方式は、降雪センサ、路面温度セ

ンサ、外気温度センサおよび路面水分センサという4種類のセンサからの情報を基に、気象状態や路面状態に応じたフレキシブルな制御を行うものである。

基本的には降雪の有無、路面上の水分の有無により融雪モード、予熱モード、凍結防止モードなどの4つのパターンに場合分けし、それぞれのパターンに対し路面温度と外気温度の関係から、目標路面温度や運転条件を設定している。すなわち、制御器メーカー各社はこれら4種類のセンサ情報という限られた情報を基に、自社のノウハウを生かした独自の制御系を構築し緻密な制御を実現している。

ロードヒーティングの制御の目的は、車のスリップ事故等を防止するため、常に路面上に積雪箇所や凍結箇所がない状態を保つことであり、この目的のために、路面状況および路面をとりまく環境の変化に対応した適切な路面温度の制御を行わなければならない。温度制御の一般的な方法としてはPI、PDやPID制御が挙げられ、化学プラントのプロセス制御などに採用されている。前述の四要素制御は制御技術の分類から言うと、基本的にはON/OFF制御となる。

しかし、制御対象である路面が線形的な性質を示さないた

め、ON/OFF 制御方式や 1 入力 1 出力、かつ線形を制御対象としている PID 制御方式を用いて路面状態に対応したフレキシブルで緻密な制御を行うことは、非常に難しいものと思われる。

これに対し、ファジィ制御方式は多変数、かつ非線形の制御対象に適した制御方式であり、しかも、制御演算式の中へ人間のノウハウを導入することが容易であることから、これまでの制御方式では実現し得なかった高度な制御が可能となり、大きな省エネ化も期待できる。

このようなことから、本研究においては制御方式として「ファジィ（あいまい）理論」を応用したファジィ制御方式を採用し、開発を進めることにした。また、熱応答性の高い分割式の鋼板パネルを制御対象とし、それぞれの路面状況に応じた最適なファジィ推論および統括的な制御を行うことによって、鋼板パネル式ロードヒーティングの省エネ化を図ることにした。

以下に、本研究において開発した「ロードヒーティング用ファジィ制御システム」について詳述する。

2. 制御システムの開発

2.1 制御用インターフェイスボードの開発

開発したインターフェイスボードは、「センサ信号入力系」、「制御系」および「センサ信号出力系」から構成され、それぞれの系の機能は下記の通りである。

- ・センサ信号入力系：センサからの信号をパソコンへ出力する
- ・制御系：ファジィ推論に基づく制御結果を出力する
- ・センサ信号出力系：センサからの信号をデータロガーへ出力する

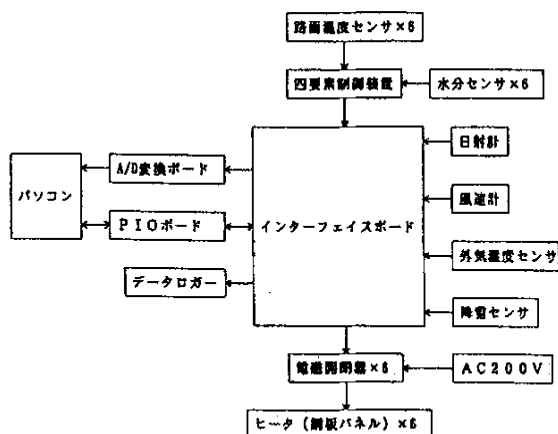


図1 インターフェイスボードへの信号の流れ

本制御システムでは図1に示すように6種類のセンサを使用している。センサには表1に示すように、直流電圧のアナログ出力と接点出力の2種類の出力形式があるため、前者はA/D変換ボードを介して、後者の接点出力はパラレル入力ボードを介してパソコンに取り込むようにした。

なお、アナログ出力のセンサは、それぞれフルスケールに違いがある。そこで、すべてのアナログ出力形式のセンサからの信号をインターフェイスボード上でDC0～10Vにレベル変換（増幅）している。

一方、制御出力はパラレル出力ボードからデジタル信号として出力し、電磁閉閉器をトリガするためのリレーを駆動する。これにより、ロードヒーティングの電源になるAC200VをON/OFFすることができる。

ここで、制御機器等への電力はロードヒーティング用電源AC200Vから供給される。このため、インターフェイスボードを設置するロードヒーティング用制御盤内では、AC100Vへ変換するトランスからのノイズや電磁閉閉器のON/考OFF時にスパイクノイズが生じている。また、屋外に設置されている各センサの信号線へ重畳するノイズや制御盤内での商用電源ラインからの誘導（ハム）の影響も十分考えられ、ノイズ環境は劣悪と考えられる。よって、このような条件の中でアナログ信号の処理を行うインターフェイス回路を設計する場合は、ノイズ対策が最重点課題となる。特に、センサ信号のレベル変換を行う過程では、入力信号に重畳したノイズも増幅してしまう可能性が極めて高い。

このようなことから、インターフェイス回路の設計に当たっては、十分なノイズ対策を施すことにより長期間に渡って動作が安定であり、かつ無調整にて使用できるよう十分考慮した。表1に、開発した使用センサのおもな仕様を示す。

表1 使用センサのおもな仕様

センサ名	出力形式	仕様
外気温度センサ	DC0～DC1V	-50～+199℃
路面温度センサ	DC0～DC10V	-20～+20℃ (6ch)
降雪センサ	接点出力	降雪検出時：ON
水分センサ	接点出力	水分検出時：ON(6ch)
風速計	DC0～DC5V	0～70m/s
日射計	DC0～DC10mV	日射時出力：10mV

2.2 制御用ソフトウェアの開発

1) ファジィライブラリの作成

効率的・効果的なファジィ制御を実現するには、適切なプロダクションルール、メンバシップ関数および制御パラメータの設定が必要である。このためには、計測データ、制御パラメータなどの確認・評価、さらにはプロダクションルールおよびメンバシップ関数の設定・変更が容易に可能な、汎用性と柔軟性を有するファジィ制御システムの開発が不可欠である。

そこで本研究では、パソコンを用いた汎用ファジィ制御システムの開発を行うとともに、ロードヒーティング用ファジィ制御システム構築に要するプロダクションルール、メンバシップ関数および制御パラメータの確立を目的に研究開発を行った。

まず、ファジィ制御システムの開発を行うにあたり、汎用的に使用可能なファジィライブラリの作成を行った。ライブラリは、メンバシップ関数の定義、プロダクションルールの定義およびファジィ推論・確定の実行と、それらに付随するパラメータの設定および表示などの関数からなる。

メンバシップ関数は、立ち上がりの始点・終点、立ち下がりの始点・終点の4点で指定する。ランクは、NL (Negative Large) ,NM,NS,ZR,PS,PM,PL (Positive Large) の7分割に加え、HI (常に“1”) ,LO (常に“0”) から指定する。また、前件部、後件部毎に条件番号、最小値、最大値、ランクに対するメンバシップ関数の設定を行う。

プロダクションルールの設定は、“IF (PL,PM, ~)

THEN (PL,PM ~)”形式の文字列として与える。()内は条件番号順にランクで指定する。ファジィ推論には、Min-Max 合成法を用いた。確定法には重心法を用い、あらかじめ設定した分解能により離散データとして非ファジィ化することにした。

また、プロダクションルール、メンバシップ関数および推論結果などの確認が容易に行える 謔、に、グラフィック表示機能などを付加した。

2) ロードヒーティング用ファジィ制御システムの試作開発

作成したライブラリにより、鋼板パネルを用いたロードヒーティング用ファジィ制御システムの試作開発を行った。本システムの構成を図2に示す。

ロードヒーティングの制御では、状況に応じた温度管理が重要な技術要素となる。そこで、ファジィ推論を、①基準路面温度推論部、②路面温度制御部の2段階に分けるとともに、降雪と水分の有無により制御パターンを融雪、凍結防止、予熱制御モードに分類した。すなわち、図に示す6種類のセンサデータから制御モードの選択および基準温度推論を行った後、この結果に基づいて路面温度の制御を行うことにした。

i) 基準路面温度推論部

基準路面温度推論部では、環境条件に対し適正な路面温度を求めることを目的とした。このため、路面温度、外気温度、風速、降雪、水分のデータから、メンバシップ関数とそれぞれの制御モードに対応したプロダクションルールを設定する

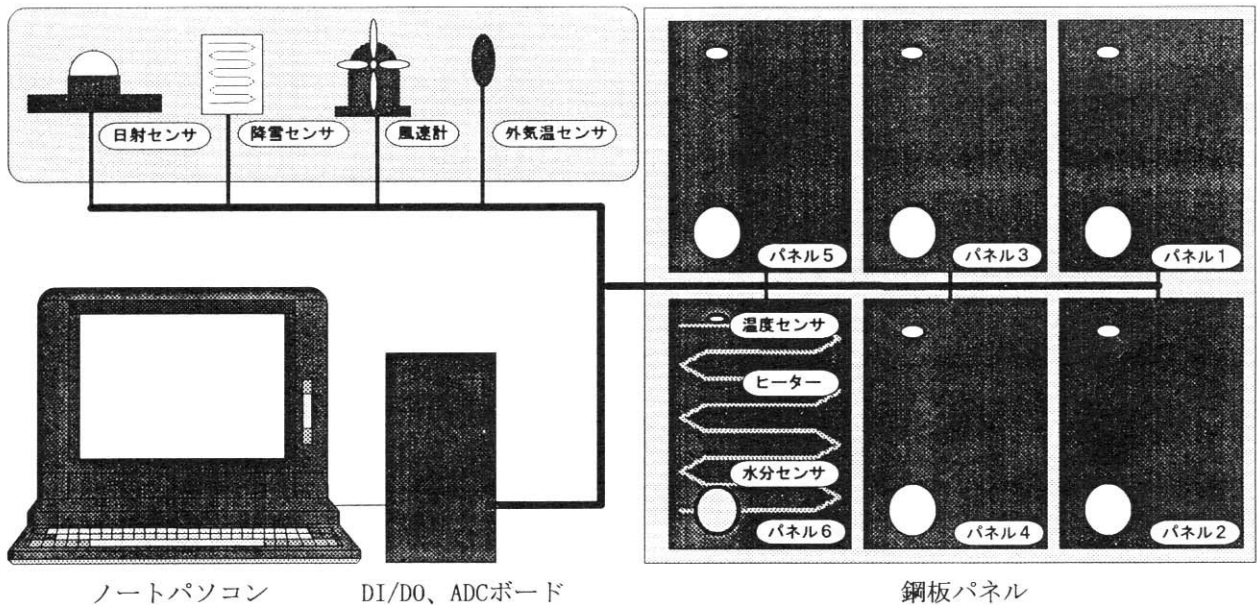


図2 鋼板製パネルを用いたロードヒーティングファジィ制御システム

ことにより、基準路面温度の推論を行った。図3にメンバシップ関数を示す。また、表2および表3に、それぞれ制御モードの種類とプロダクションルールを示す

表2 制御モードの種類

制御モードNo.	降雪	水分	機能
モード1	有	有	融雪1
モード2	有	無	融雪2
モード3	無	有	保温、融雪
モード4	無	無	予熱、保温

なお、推論結果を検証するため、これらの設定に基づいたシミュレーションを行った。この結果、各制御モードにおいて想定した基準路面温度に推論されていることが確認できた。

ii) 路面温度制御部

路面温度制御部では、基準路面温度推論結果に基づいて路面温度の制御を行うことを目的とした。入力条件として、基準路面温度と現路面温度の差、路面温度変化率および外因を設定して温度制御を行った。外因は、外気温度と基準路面温

度の差、日射、風速データから算出した。

制御タイミングチャートを図4に示す。このように、路面温度制御ではファジィ推論から求めた制御量に基づいて、それぞれ30秒間(1サイクル)におけるロードヒーティングON/OFFのデューティ比を設定した。また、1つの基準路面温度推論結果に対して5分間に路面温度制御を10回繰り返すことにした。図5および表4に、それぞれメンバシップ関数とプロダクションルールを示す。

3. 屋外融雪試験および結果

3.1 屋外融雪試験の構成

屋外融雪試験では、個々の鋼板パネルに水分センサと路面温度センサを設置し、共用として外気温度センサ、降雪センサ、風速計および日射計を取り付け、制御装置に信号を取り込む構成とした。制御装置には、ファジィ制御部の他に制御性の比較用として四要素制御部を設置した。

また、ヒータを内蔵した鋼板パネルを6枚(No.1~No.6:図2参照)用意し、ファジィ制御部はパネルNo.1,4,5,四要素制御部はパネルNo.2,3,6を制御対象とした。写真1に制御装置の全景を示す。このように、制御装置中央部右側から四要素制御装置、インターフェイスボード、ファジィ制御用ノート型パソコンが設置され、その上部には7個の電力積算計が並んでいるのが見える。パネルの設置状況を写真2に示す。

なお、各センサのデータをデータロガーに記録するととも

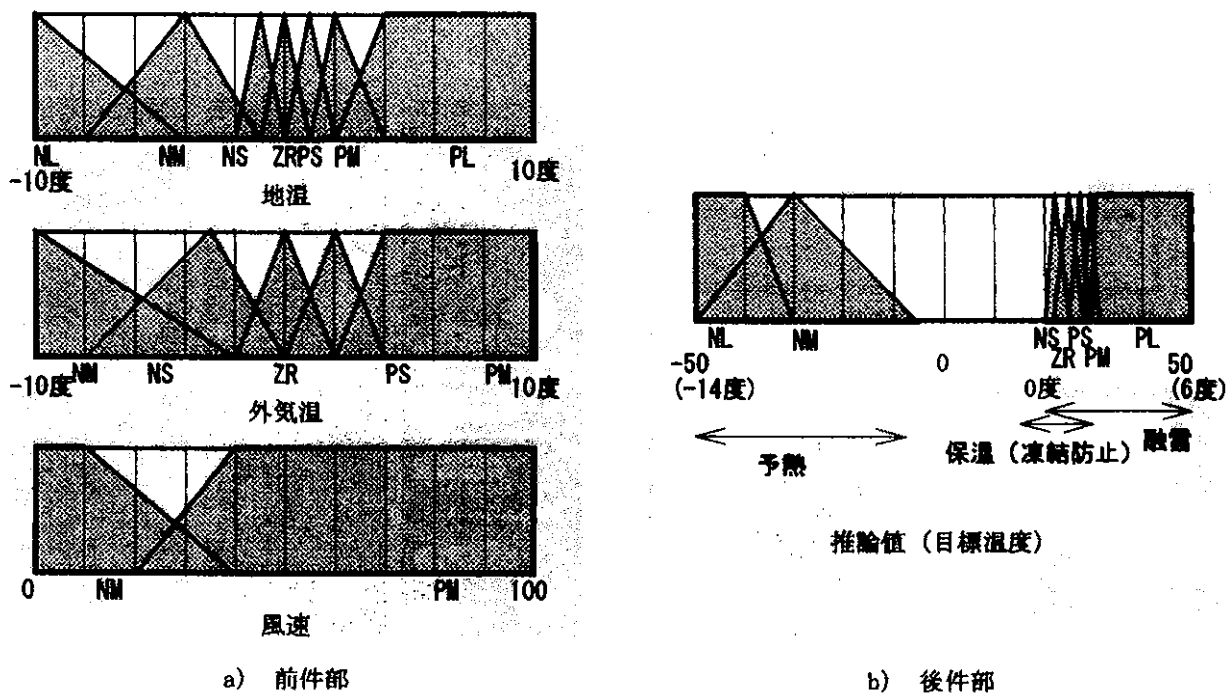


図3 基準路面温度推論部のメンバシップ関数

表3 基準路面温度推論用プロダクションルール

1) 第1制御モード (降雪, 水分 有)

前件部				後件部
地温	外気温	日射	風速	推論
PL	HI	HI	HI	ZR
PM	PM	HI	HI	ZR
PM	PS	HI	HI	ZR
PM	ZR	HI	HI	PS
PM	NS	HI	HI	PS
PM	NM	HI	HI	PM
PS	PM	HI	HI	ZR
PS	PS	HI	PM	PS
PS	PS	HI	NM	ZR
PS	ZR	HI	PM	PS
PS	ZR	HI	NM	PS
PS	NS	HI	PM	PM
PS	NS	HI	NM	PS
PS	NM	HI	HI	PM
ZR	PM	HI	PM	PM
ZR	PM	HI	NM	PS
ZR	PS	HI	HI	PM
ZR	ZR	HI	HI	PM
ZR	NS	HI	PM	PL
ZR	NS	HI	NM	PM
ZR	NM	HI	PM	PL
ZR	NM	HI	NM	PM
NS	HI	HI	PM	PL
NS	HI	HI	NM	PM
NM	HI	HI	HI	PL
NL	HI	HI	HI	PL

2) 制御モード2 (降雪 有)

前件部				後件部
地温	外気温	日射	風速	推論
PL	HI	HI	HI	NS
PM	HI	HI	PM	ZR
PM	HI	HI	NM	NS
PM	PM	HI	PM	ZR
PS	PM	HI	NM	NS
PS	PS	HI	HI	ZR
PS	ZR	HI	PM	ZR
PS	ZR	HI	NM	ZR
PS	NS	HI	PM	PS
PS	NS	HI	NM	ZR
PS	NM	HI	HI	PS
ZR	PM	HI	PM	ZR
ZR	PM	HI	PM	ZR
ZR	PS	HI	PM	ZR
ZR	PS	HI	NM	ZR
ZR	ZR	HI	PM	PS
ZR	ZR	HI	NM	ZR
ZR	NS	HI	PM	PS
ZR	NS	HI	NM	PS
ZR	NM	HI	PM	PM
ZR	NM	HI	NM	PS
NS	HI	HI	PM	PL
NS	HI	HI	NM	PM
NM	HI	HI	PM	PL
NM	HI	HI	NM	PM
NL	HI	HI	HI	PL

3) 制御モード (水分 有)

前件部				後件部
地温	外気温	日射	風速	推論
PL	HI	HI	HI	NS
PM	HI	HI	HI	NS
PS	PM	HI	HI	NS
PS	PS	HI	HI	ZR
PS	ZR	HI	HI	ZR
PS	NS	HI	HI	PS
PS	NM	HI	HI	PS
ZR	PM	HI	HI	ZR
ZR	PS	HI	HI	ZR
ZR	ZR	HI	PM	PS
ZR	ZR	HI	NM	PS
ZR	NS	HI	PM	PM
ZR	NS	HI	NM	PS
ZR	NM	HI	PM	PM
ZR	NM	HI	NM	PM
NS	PM	HI	HI	ZR
NS	PS	HI	PM	PS
NS	PS	HI	NM	PS
NS	ZR	HI	PM	PM
NS	ZR	HI	NM	PS
NS	NS	HI	PM	PM
NS	NS	HI	NM	PM
NS	NM	HI	HI	PM
NM	HI	HI	PM	PL
NM	HI	HI	NM	PM
NL	HI	HI	HI	PL

4) 制御モード4

前件部				後件部
地温	外気温	日射	風速	推論
PL	HI	HI	HI	NL
PM	HI	HI	HI	NL
PS	HI	HI	PM	NL
PS	HI	HI	NM	NL
ZR	HI	HI	PM	NL
ZR	HI	HI	NM	NL
NS	HI	HI	PM	NL
NS	HI	HI	NM	NL
NM	PM	HI	HI	NL
NM	PS	HI	HI	NL
NM	ZR	HI	PM	NL
NM	ZR	HI	NM	NL
NM	ZR	HI	NM	NL
NM	NS	HI	PM	NL
NM	NS	HI	NM	NL
NM	NM	HI	PM	NM
NM	NM	HI	NM	NL
NL	PM	HI	HI	NL
NL	PS	HI	PM	NL
NL	PS	HI	NM	NL
NL	ZR	HI	PM	NL
NL	ZR	HI	NM	NL
NL	NS	HI	PM	NL
NL	NS	HI	NM	NL
NL	NM	HI	PM	NM
NL	NM	HI	NM	NL

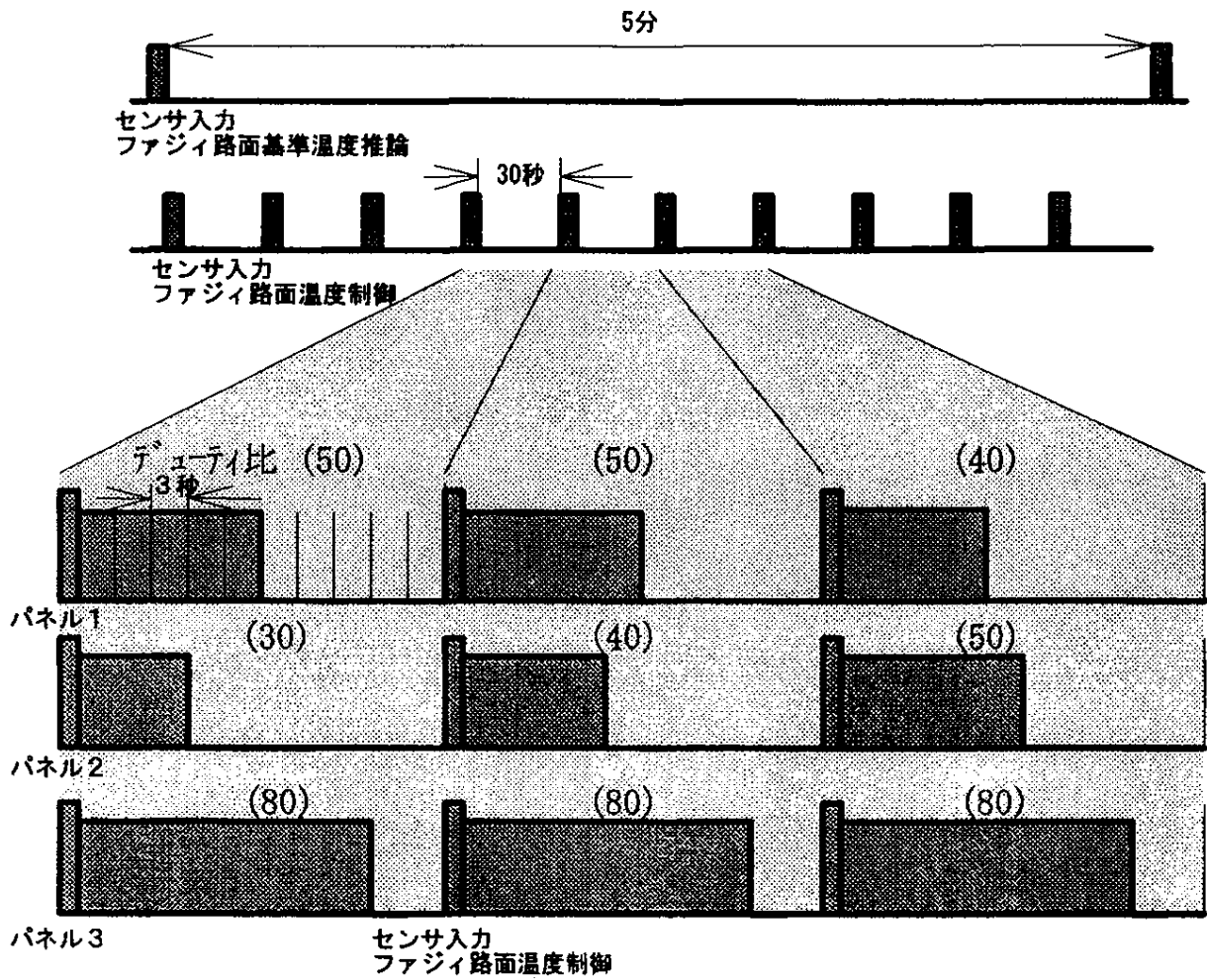


図4 ロードヒーティングファジィ制御タイムチャート

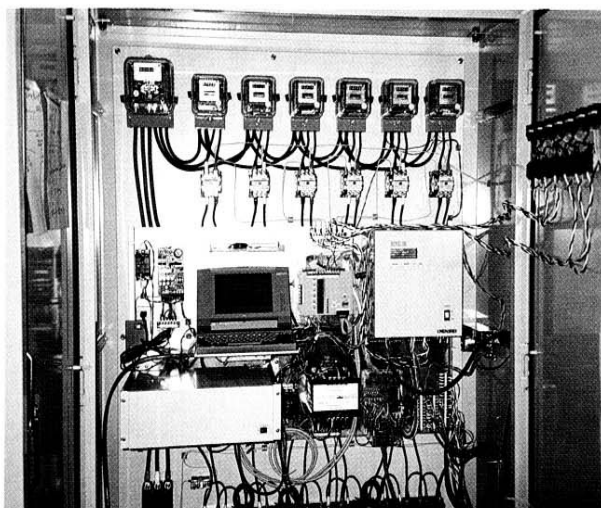


写真1 制御装置の全景

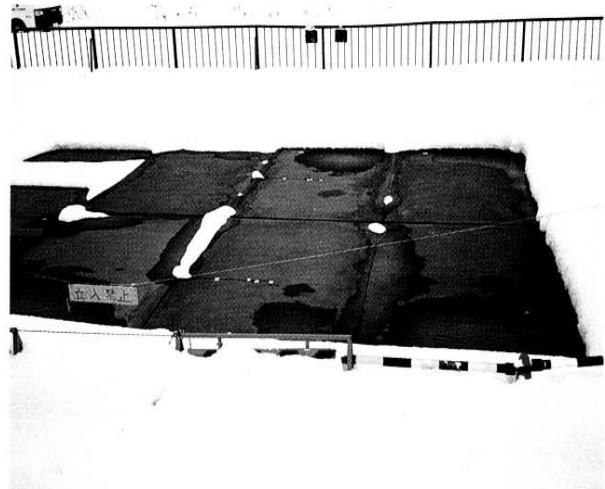


写真2 鋼板製パネルの設置状況

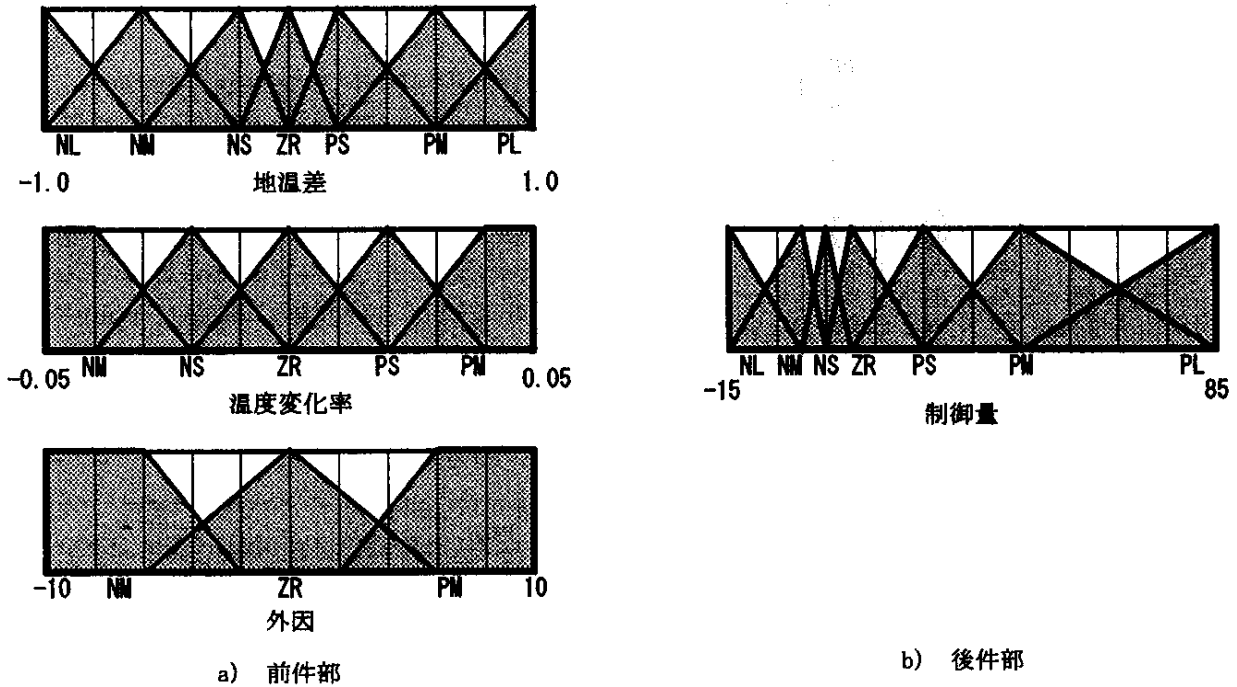


図5 路面温度制御メンバシップ関数

に、パネルの融雪状況をVTRに記録した。

3.2 屋外融雪試験の結果

本研究では適切なファジィ制御用メンバシップ関数、プロダクションルールおよび制御パラメータを見出すため、試験を行いながらこれらの評価・検討を行ってきた。

現在、最適なメンバシップ関数およびプロダクションルールを求めるため、データ解析を進めており、この結果については次報で報告する予定である。そこで本報においては試験データの中から、それぞれの評価項目においてファジィ制御による顕著な傾向が現れた部分を抽出して紹介する。

なお、本ファジィ制御システムでは、基本的に降雪や水分が検出され路面温度が基準温度より低い場合には、積極的に加熱制御を行うことによって路面温度を基準温度である1℃前後の温度に維持する。また、降雪や水分が検出されない場合や路面温度が比較的高い場合には、加熱制御は極力行わないようにして省エネ化を図っている。

1) 2方式における消費電力量

図6は降雪時における路面温度の制御状態と消費電力量を示した例であり、四要素制御のパネルNo.3(添字"4E")とファジィ制御のパネルNo.4(添字"FZY")の時間的な変化を比較している。

まず、図に示す日は、午後から夜にかけて降雪が続いた。このように、降雪が継続している間は、ファジィ制御、四要素制御とも路面温度が基準路面温度である1℃前後に維持さ

れているのが分かる。しかし、このように同様な傾向を示しているにもかかわらず電力量は四要素制御に比べ、ファジィ制御のそれが半分程度になっている。

これは、各センサ情報を基に加熱制御のためのデューティ比を的確に変化させることができたことに起因するものと思われる。ただし、降雪初期においては融雪が遅れる傾向がみられ、夕方頃においては一時的にはあるが若干の解け残り状態も見受けられた。よって、電力量は若干増加することになるが、降雪初期においては基準路面温度を少し高めに設定することが必要ではないかと思われる。

2) 鋼板パネルに対する制御性

図7は、ファジィ制御における基準路面温度、ヒータ加熱制御量および路面温度の関係を示した例(パネルNo.1)である。このように、最初は路面温度が低いこともあり、降雪、水分センサの出力で加熱制御(融雪)を始め、20分間で4℃程度の路面温度上昇が確認できる。

また、その後においても降雪あるいは水分が検出され、かつ路面温度が基準温度より低いときには、積極的な加熱制御を行い、基準路面温度を維持している状況が認められる。

なお、午前8時以降は日射の影響により、基準路面温度より路面温度が高くなっているが、この場合は当然ながら加熱制御は行われぬ。このように、鋼板パネルは従来のアスファルト路面等に比べ、高い昇温性能を有しており、制御性も良好であることが認められた。

表 4 路面温度制御用ファジィルール

温度差	前件部		後件部
	変化率	外因	結論
PL	HI	HI	PL
PM	HI	HI	PM
PS	PM	PM	NS
PS	PM	ZR	NM
PS	PM	NM	NM
PS	PS	PM	NS
PS	PS	ZR	NS
PS	PS	NM	NM
PS	ZR	PM	NS
PS	ZR	ZR	NS
PS	ZR	NM	NS
PS	NS	PM	ZR
PS	NS	ZR	ZR
PS	NS	NM	ZR
PS	NM	PM	PS
PS	NM	ZR	PS
PS	NM	NM	PS
ZR	PM	PM	NL
ZR	PM	ZR	NL
ZR	PM	NM	NL
ZR	PS	HI	NM
ZR	ZR	HI	NS
ZR	NS	PM	NS
ZR	NS	ZR	NS
ZR	NS	NM	NS
ZR	NM	PM	ZR
ZR	NM	ZR	ZR
ZR	NM	NM	ZR
NS	PM	HI	NL
NS	PS	HI	NL
NS	ZR	HI	NM
NS	NS	PM	NS
NS	NS	ZR	NM
NS	NS	NM	NM
NS	NM	PM	NS
NS	NM	ZR	NS
NS	NM	NM	NM
NM	PM	HI	NL
NM	PS	HI	NL
NM	ZR	HI	NL
NM	NS	HI	NM
NM	NM	PS	NS
NM	NM	ZR	NM
NM	NM	NM	NM
NL	HI	HI	NL

3) 鋼板パネルの熱容量の相違による影響

図 8 は熱容量の違うパネルの制御結果の例である。パネル No.1 の方がパネル No.4 よりも厚い鋼板を使用しているため、熱容量も大きい。

この図から、両パネルともほとんど同様な路面温度に制御されており、熱容量の相違が制御性へ与える影響は小さいと言える。なお、パネル No.1 の路面温度が午前 3 時頃から低下しているが、これは、パネル No.4 の方が水分検出により加熱制御されているのに対し、パネル No.1 の方は水分を検出していないため加熱制御が行われていないことによ

る。

4) 鋼板パネルのヒータタイプの相違による影響

図 9 はヒータタイプの違うパネルの制御結果の例である。パネル No.1 は一般的なカーボンヒータ、パネル No.5 は面状ヒータを使用している。

この図から、両パネルの水分センサがほぼ同時期に水分を検出している場合には、両方とも基準路面温度通りに制御されており、ヒータタイプの相違による制御性への大きな影響は見受けられなかった。

5) センサの制御への影響

これらの制御事例から、パネルの熱容量やヒータの特性による路面温度制御性に関する大きな相違は認められなかった。また、本ファジィ制御では、降雪および水分の検出が加熱制御へ積極的に関与していることが確認できた。

しかしその反面、図 8 および図 9 から分かるように、それぞれのパネルにおける水分センサの検出状態にばらつきが見受けられた。この要因として、パネル上の水分の有無、分布状態ばかりではなく、水分センサが適切に水分を検出していない場合があることが確認された。

ロードヒーティングの制御においては、使用されるセンサの適否が制御性能を大きく左右すると言っても過言ではない。よって今後は、効果的・効率的なロードヒーティングを実現するため、センサの選定についても十分配慮する必要があるものと思われる。

4. 考察

屋外融雪試験の結果、センサ情報により良好な基準温度が推論され、路面温度が適正に制御されていることが確認できた。また、路面状態もおおむね融雪されており、電力消費も比較的安く抑えられていることが確認できた。

しかし、降雪状態によっては、完全に解けずに残る場合が見受けられた。その原因としては、次のような点が考えられる。

- ①制御量の立ち上がりが、従来制御法（四要素制御）にくらべて遅い。
- ②降雪が終了した時点で、基準路面温度が急激に低くなる。
- ③水分センサにおいて、計測時のヒータ加熱量が適正でなかった。

ここで、①および②に関しては、降雪時間が短いときや外気温が低いときなどに、路面温度が十分に上がりきらないうちに降雪センサおよび水分センサが OFF となるため、モードが予熱モードに切り替わることによるものと思われる。特に、①については、降雪初期において路面温度が基準路面

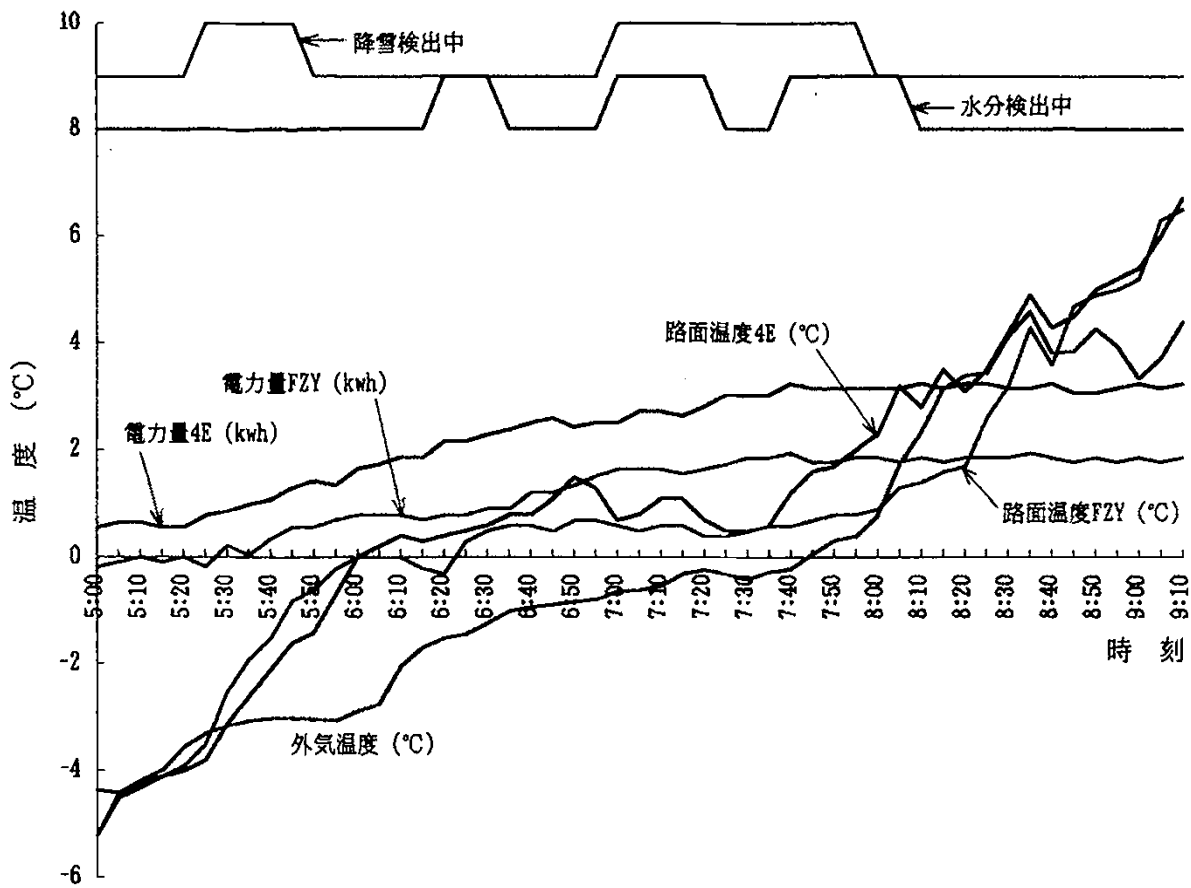


図6 路面温度の制御状態と消費電力量の例

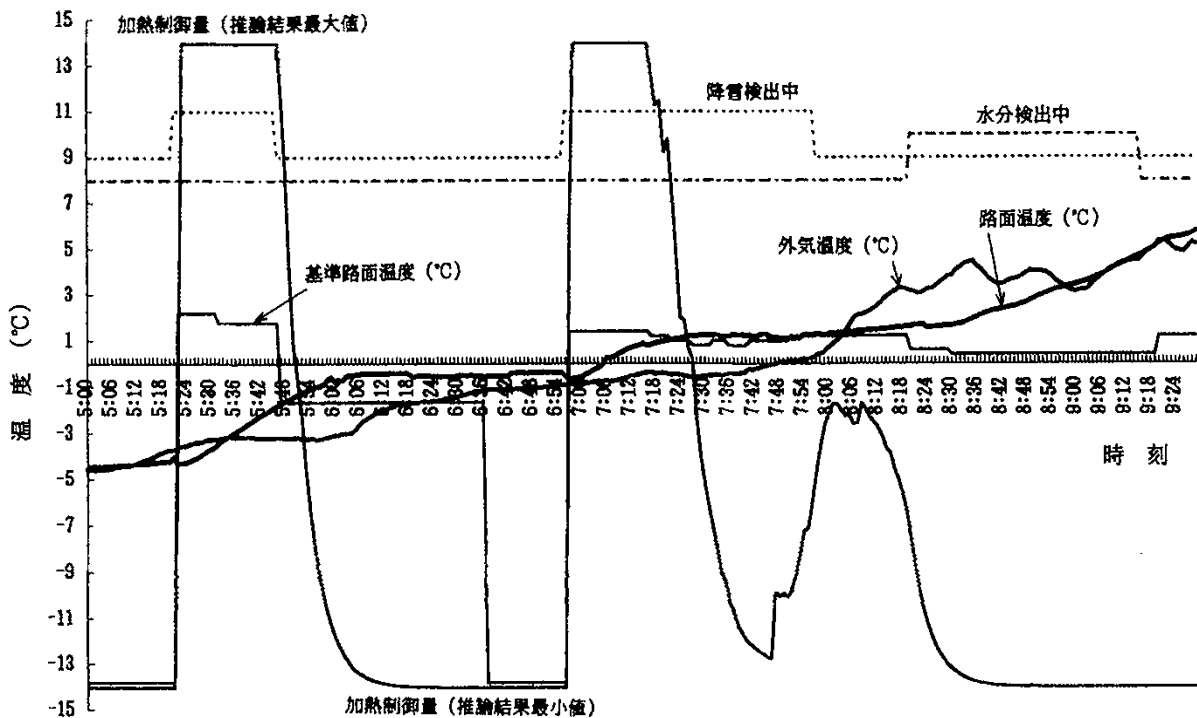


図7 ファジィ推論結果に基づく加熱制御の例

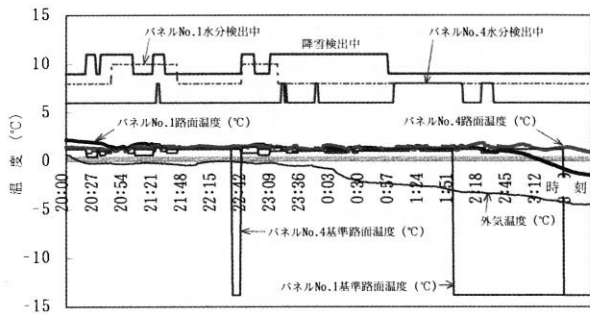


図8 熱容量の違う鋼板パネルの制御例

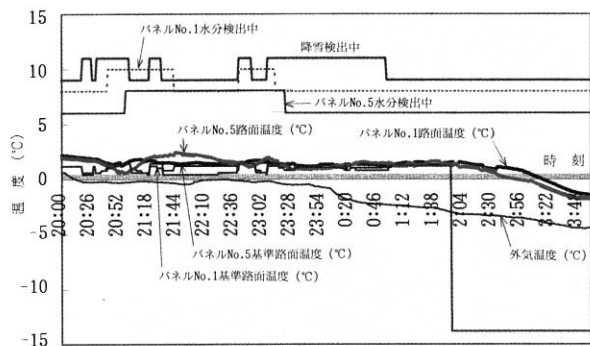


図9 ヒータタイプの違う鋼板パネルの制御例

温度より高い場合に、立ち上がりの遅れが顕著になることは容易に想像できる。

このような問題を解決するには、基準路面温度推論処理の分解能を上げることにより、さらに精度の高い制御を行う必要がある。そこで、今後、プロダクションルール同様にメンバシップ関数についても、各制御モード毎に分割し最適化を図ることで分解能を上げることを検討していきたい。また、詳細なデータ解析を行うことによりプロダクションルール、メンバシップ関数、制御パラメータの最適化を図ってきたい。

次に、③に関しては、水分センサ用ヒータの加熱量の設定が低いため、外気温度が低い場合には水分センサ表面が凍結したり、逆に加熱量の設定が高い場合には、積雪があるにもかかわらず水分センサ表面だけが乾燥状態になる現象が見受けられた。この場合は、降雪や水分があっても予熱モードになるため、制御量は小さくなってしまふ。このようなことから、今後、路面水分の検出方法の検討や水分センサへの依存度を少なくした積雪状態の検出方法の検討を行う必要がある。

一方、適切な加熱制御を行うには、日射および風速の影響についても十分考慮する必要がある。しかし、日射については使用した日射計の構造上の理由から、検出窓が積雪によって遮光され測定不良になることがあった。また、風速につい

ても短時間に大きく変動するため、制御パラメータとしての使用や定量的に風速の影響を評価することが困難であった。

このようなことから、日射と風速のデータについては、今回はプロダクションルールなどに積極的に活用できるまでに至らなかった。よって、今後は日射計の代用として太陽電池などの採用およびこれらのデータの取り扱い方法についても、検討を進めていきたい。

また、構造的な面からは、施工およびセンサの取付け状態などの影響と考えられるが、鋼板パネル毎に異なる特性がみられた。たとえば、同一の加熱制御の場合でも3枚のパネルの路面温度に相違が見受けられた。このため、今後はそれぞれのパネルの特性に適したメンバシップ関数、プロダクションルールおよびパラメータなどを設定することが必要であり、これにより、さらに効率の良い制御が可能になるものと思われる。

5. おわりに

パソコンを用いたファジィ制御システムを開発し、屋外融雪試験において鋼板パネル式ロードヒーティングの制御を行った。また、本試験では制御システムの機能・性能の評価を行うとともに、この作業と並行してデータロガーにより多量のデータの蓄積を図った。

この結果、メンバシップ関数、プロダクションルール、制御パラメータなどにおいて、さらに改善の余地が残されていると思われるが、比較的効率の良い省エネ型ロードヒーティング制御システム実現の可能性が得られた。

そこで、今後はこれらのデータの統計処理および解析を行うことにより、最適なメンバシップ関数およびルールの構築を図っていきたい。さらには、制御システムをできるだけハードウェア化することにより、高速なファジィ推論による高度なロードヒーティング制御システムの実現へ向けて開発を進めていきたい。

参考文献

1. 寺野, 浅井, 菅野: ファジィシステム入門 (昭和 62), オーム社
2. 水本雅晴: ファジィ理論とその応用 (1989), サイエンス社
3. 長尾信一ほか: ファジィ制御による多機能乾燥システムの開発 (第1報), 北海道立工業試験場報告, No.290, 139-155 (1991)
4. 高橋裕之ほか: ファジィ制御による多機能乾燥システムの開発 (第2報), 北海道立工業試験場報告, No. 290, 157-163 (1991)
5. 岡 喜秋ほか: 鋼板を使用したロードヒーティングシス

テムの開発,北海道立工業試験場報告, No.294 (1995),
投稿中

6. 北口敏弘ほか：鋼板を使用したロードヒーティングシステムの実証化試験およびその解析, 北海道立工業試験場報告, No.294 (1995), 投稿中