

# 特集 ファジィ推論を用いたレーザレーダを利用した 路面状況検出システム

## A Road Surface Condition Sensing System Using Laser Radar and Fussy Inference

高木 聖和

Kiyokazu TAKAGI

Since 1996, I have been developing the road surface condition sensing system using Laser Radar for Advanced Cruise-Assist Highway System (AHS) committed from the Public Works Research Institute of the Ministry of Construction currently national institute for land and infrastructure management of ministry of land,infrastructure and transport. In this paper, I show the outline of the system and the inference algorithm. In addition, I have investigated the effectiveness of this sensing system for collecting road maintenance information. The result was also encouraging.

**Key words** : Road surface condition sensing system, Advanced Cruise-Assist Highway System (AHS), Laser Radar,

### 1. 概要

弊社は走行支援道路システム開発機構に1996年(平成8年)より参画し、走行支援道路システム(Advanced Cruise-Assist Highway System:以下AHS)向けに路面状況検出システムを開発してきている。路面状況は乾燥, 湿潤, 積雪, 凍結というように定性的な表現で示されるが, 車両制御で用いるには, 路面摩擦という定量的な値に変換して提供する必要がある。したがって, 「どの程度」乾燥なのか, 「どの程度」湿潤なのかを検出することが必要になる。「どの程度」その状態であるのかを数値化するにはファジィ推論が有効な手段である。

そこで, ファジィ推論を基本アルゴリズムに採用しセンサヘッドに, パルスレーザ光の行程時間差から距離を算出でき, かつ反射光強度を同時に計測できるレーザレーダを用いた路面状況検出システムを開発してきた。さらにレーザレーダの計測データを用い, 運転支援のみならず道路管理への適用可能性の検討についても言及する。

### 2. レーザレーダを用いた路面状況検出システムの概要

#### 2.1 システム概要

路面状況検出システムは, 乾燥, 湿潤などの路面状況をセンシングするシステムである。Fig. 1に示すよ

\* 2001年4月19日 原稿受理

うに, センシングした情報は, 車両に路車間通信などを用いて提供し, ドライバの注意喚起や走行制御など安全運転に寄与する。センサには, CCDカメラを用いたものや気象センサを用いたものなどが開発されており, 本システムではセンサにレーザレーダを使用している。

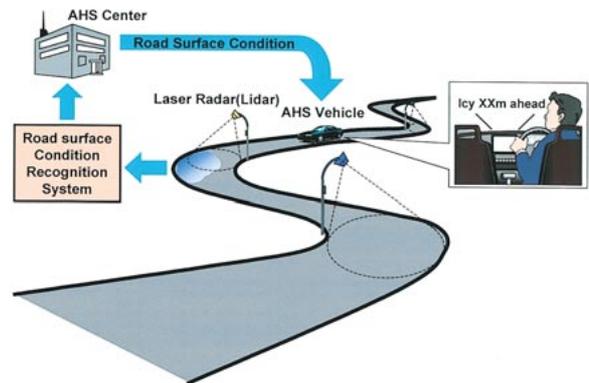


Fig.1 Road surface condition sensing system

このシステムは, レーザレーダ, 制御部, 判定部からなる。Fig. 2に示すように, レーザレーダはパルスレーザ光を路面に向けて照射し, レーザ光が路面で反射して再びレーザレーダへ戻ってくるまでの光の行程時間差と, 出射光と反射光の比として路面の反射強度を検出する。また行程時間差から, レーザレーダと路面との距離が算出できる。制御部はパルスレーザ光を

2次元に走査する．判定部で行程時間差，反射強度などの検出データから，路面状態を判定する．北海道中山峠に設置したセンサをFig. 3に示す．

ーダの検出精度に依存する部分が含まれるが，路面状態の変化にレーザレーダの検出精度が依存するため，両成分を分離することは原理上困難である．したがっ

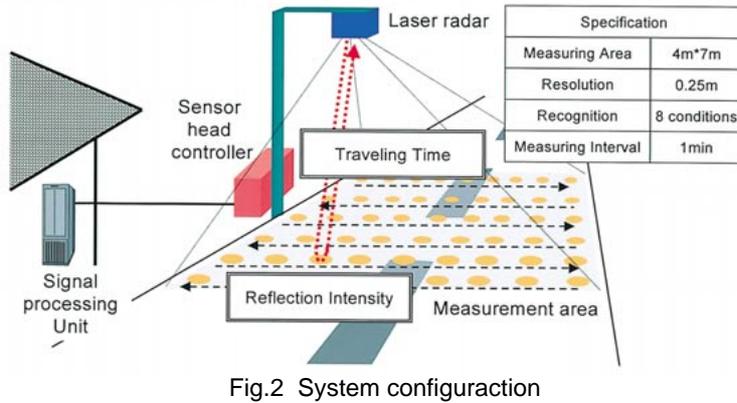


Fig.2 System configuration



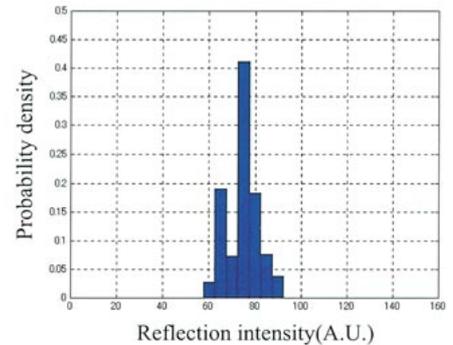
Fig.3 A sensor system installed at the Nakayama Pass, Hokkaido

レーザレーダは，パルスレーザ光の行程時間差からセンサと路面との距離を測定できるため，初期値からの変化を読み取ることで，わだち量や積雪量のような道路管理者向けの路面情報を同時に提供することが可能である．

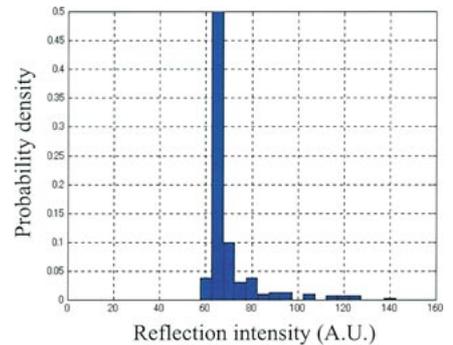
2.2 路面状態の判定アルゴリズム

乾燥・湿潤などの路面状態は，路面上の状態が常に均一でないため一意に決定しにくく，観測者の主観に依存する場合があることから，レーザレーダで検出したデータは，Fig. 4に例示するように路面状態に対してある分布を持っている．

この分布には，路面状態に依存する部分とレーザレ



(a) A dry road surface



(b) A wet road surface

Fig.4 Distribution of reflectivity degrees over road surfaces

て，この分布を検出精度も含めたその路面状態での度数分布として路面状態を判定することを検討した結果，ファジィ推論を基本アルゴリズムに採用することで，路面状態判別が可能であることが判明した．つまり，度数分布からファジィ確度としてメンバシップ関数を，特徴量からファジィルールを構成し，路面状態を判別する．(Fig. 5参照)

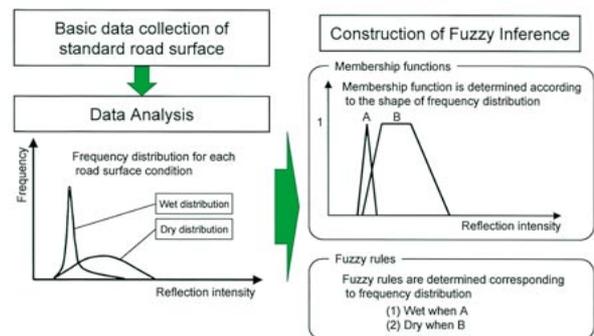


Fig.5 Fussy inference composition method

さらに、各種路面状態におけるレーザレーダの検出データを分析した結果、ファジィ推論で分離可能な状態は、乾燥 / 湿潤・水膜・氷膜 / シャーベット / 新雪 / 圧雪・圧雪氷板の5分類であった。また、圧雪・圧雪氷板のように、異なる路面状態であっても、検出データの特徴が同じ場合は、レーザレーダで検出可能な情報に加え、路面温度情報を追加することで判別できる。構成した路面状態判別アルゴリズムをFig. 6に示す。

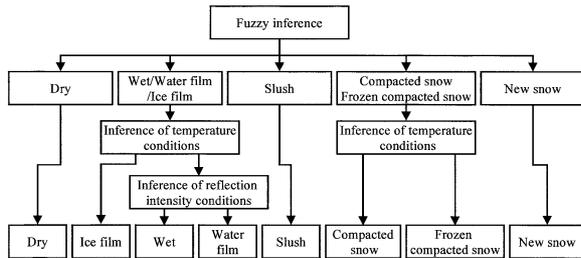


Fig.6 Road surface condition discrimination algorithm

以上の路面状態判別アルゴリズムに加え、光の行程時間差から算出した距離変化を時系列で測定することで、降雪量や積雪量が検出可能である。さらに、長期間にわたる計測データからわだち量まで検出できる。Fig. 7に道路管理情報検出の考え方を示す。

### 3. 土木研究所での実験結果

センサシステムを建設省土木研究所（現 国土交通省国土技術政策総合研究所）及び新潟試験所（現 独立行政法人 土木研究所に鑄型試験所）に設置し、試験走路内の路面状態及び、新潟における積雪状態の路面状態データを収集した。実験状況を Fig. 8 に示す。

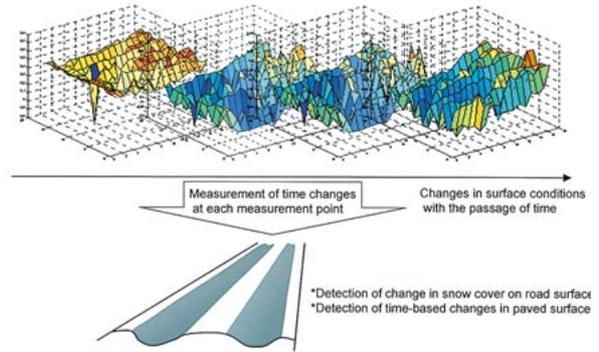


Fig.7 Concept of determination of road management information



Fig.8 Examples of experimental condition

土木研究所での実験データから、ファジィ推論アルゴリズムのメンバシップ関数、ファジィルールを Table 1 のように構成した。

構成したファジィ推論アルゴリズムを用いて、路面状態を判定した結果例を Table 2（次頁）に示す。

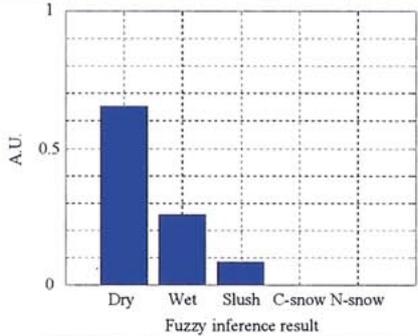
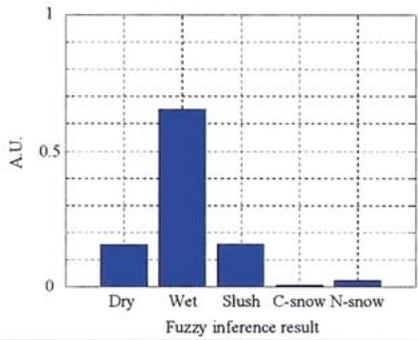
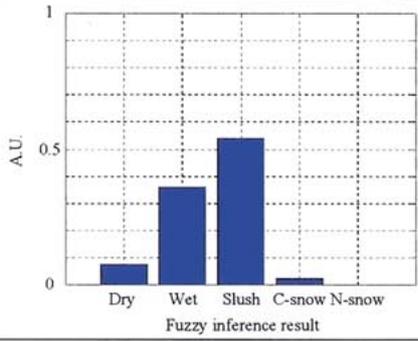
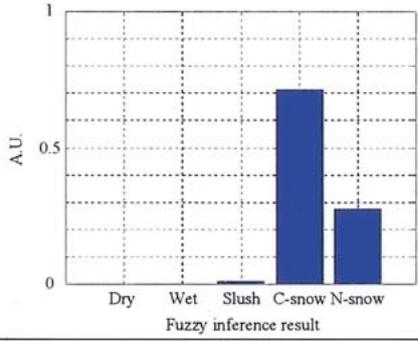
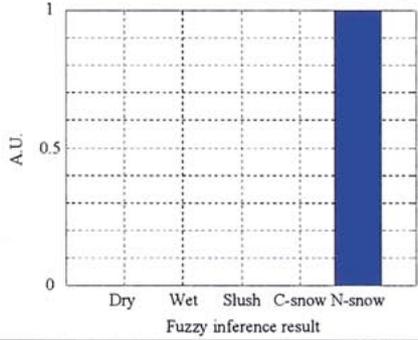
この結果はファジィ推論部による判定結果である。5状態の判定出力のうち、最大値を判定結果として出力するので、目視による判定と一致した結果が得られている。

さらに、ファジィ推論後の判別アルゴリズムも使用した最終判定結果を示す。この結果から、ファジィ推

Table 1 Composed fussy inference unit

Item	Difference in travel time	Reflection intensity
Membership functions		
Fuzzy rules	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. If (dist is mid) and (ref is mid) then (condition is dry)</li> <li>2. If (dist is mid) and (ref is strong) and (rad is center) then (condition is wet)</li> <li>3. If (dist is far) and (ref is weak) and (rad is outer) then (condition is wet)</li> <li>4. If (dist is near) and (ref is strongest) then (condition is n_snow)</li> <li>5. If (dist is near) and (ref is strong) then (condition is c_snow)</li> <li>6. If (dist is near) and (ref is mid) then (condition is slush)</li> <li>7. If (dist is near) and (ref is weak) then (condition is slush)</li> <li>8. If (dist is mid) and (ref is weak) then (condition is slush)</li> </ol>	

Table 2 Examples of recognition of road surface conditions by fuzzy inference

	Road surface conditions	Inference results												
Dry surface		 <table border="1"> <caption>Fuzzy inference results for Dry surface</caption> <thead> <tr> <th>Condition</th> <th>A.U.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dry</td> <td>0.65</td> </tr> <tr> <td>Wet</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>Slush</td> <td>0.10</td> </tr> <tr> <td>C-snow</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>N-snow</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Condition	A.U.	Dry	0.65	Wet	0.25	Slush	0.10	C-snow	0.00	N-snow	0.00
Condition	A.U.													
Dry	0.65													
Wet	0.25													
Slush	0.10													
C-snow	0.00													
N-snow	0.00													
Wet surface		 <table border="1"> <caption>Fuzzy inference results for Wet surface</caption> <thead> <tr> <th>Condition</th> <th>A.U.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dry</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>Wet</td> <td>0.65</td> </tr> <tr> <td>Slush</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>C-snow</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>N-snow</td> <td>0.05</td> </tr> </tbody> </table>	Condition	A.U.	Dry	0.15	Wet	0.65	Slush	0.15	C-snow	0.00	N-snow	0.05
Condition	A.U.													
Dry	0.15													
Wet	0.65													
Slush	0.15													
C-snow	0.00													
N-snow	0.05													
Slush surface		 <table border="1"> <caption>Fuzzy inference results for Slush surface</caption> <thead> <tr> <th>Condition</th> <th>A.U.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dry</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>Wet</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>Slush</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>C-snow</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>N-snow</td> <td>0.03</td> </tr> </tbody> </table>	Condition	A.U.	Dry	0.05	Wet	0.35	Slush	0.55	C-snow	0.02	N-snow	0.03
Condition	A.U.													
Dry	0.05													
Wet	0.35													
Slush	0.55													
C-snow	0.02													
N-snow	0.03													
Compacted snow surface		 <table border="1"> <caption>Fuzzy inference results for Compacted snow surface</caption> <thead> <tr> <th>Condition</th> <th>A.U.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dry</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Wet</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Slush</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>C-snow</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>N-snow</td> <td>0.30</td> </tr> </tbody> </table>	Condition	A.U.	Dry	0.00	Wet	0.00	Slush	0.01	C-snow	0.75	N-snow	0.30
Condition	A.U.													
Dry	0.00													
Wet	0.00													
Slush	0.01													
C-snow	0.75													
N-snow	0.30													
New snow surface		 <table border="1"> <caption>Fuzzy inference results for New snow surface</caption> <thead> <tr> <th>Condition</th> <th>A.U.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dry</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Wet</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Slush</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>C-snow</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>N-snow</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>	Condition	A.U.	Dry	0.00	Wet	0.00	Slush	0.00	C-snow	0.00	N-snow	1.00
Condition	A.U.													
Dry	0.00													
Wet	0.00													
Slush	0.00													
C-snow	0.00													
N-snow	1.00													

論を基本アルゴリズムに使用し、路面状態を8段階で検出できる可能性があることが判明した。(Fig. 9, Table 3参照)

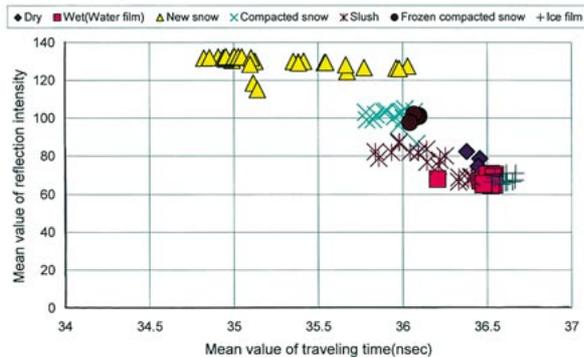


Fig.9 Final inference results

Table 3 Road surface conditions detectable with laser radar

Road surface condition	Dry	Wet	Water film	Slush	Compacted snow	New snow	Frozen compacted snow	Ice film
Detectable	○	○	△	○	○	○	○	○

Note: Discrimination of frozen road surfaces requires information on road surface temperature.  
Only the potential for discrimination of water films has been verified.

また時系列計測による積雪量検出結果をFig. 10に示す。

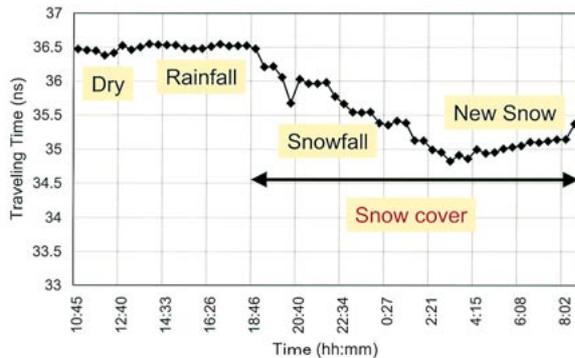


Fig.10 Results of measurement of changes in distance due to snow cover

この結果から、本システムは積雪量のような短期の距離変化の検出が可能で、さらに、わだち量のような長期間にわたる距離変化を検出することで道路管理者向けの情報を提供できる可能性があることが判明した。そして、レーザレーダを使用した路面状況検出システムの有効性が立証できた。

#### 4. まとめ

AHSの実用化に必須な路面状況検出システムの一つとして、レーザレーダを用いたシステムについて、概要と実験結果を示した。今後は以下の評価・検討を通して実用化に向けて努力していく予定である。

- (1) 実道における路面状況アルゴリズムの自動チューニング方法の確立
- (2) 時系列データ解析技術の適用による広域路面状況推定アルゴリズムの確立
- (3) 道路管理者に向けた舗装状況を含めた道路状態の同時情報提供技術の確立

なお、本研究は建設省土木研究所（現国土交通省国土技術政策総合研究所）の委託を受けて実施したものである。

#### <参考文献>

- 1) 高木ほか「レーザレーダを用いた路面状況検出システム」電子情報通信学会1998
- 2) 高木「レーザレーダを用いた路面状況検出システム」日本機械学会1999
- 3) 高木ほか「路面状況検出装置の開発」ITS世界会議1999
- 4) 高木ほか「ファジィ推論を用いたレーザレーダを利用した路面状況検出システム」ITS世界会議2000

#### <著者>



高木 聖和  
(たかぎ きよかず)

開発部 開発1室  
車載センサの研究開発に従事後、  
現在AHS向けに路面状況把握センサの研究開発に従事。