

# 特集 ACCシステム用スキャン式レーザレーダの開発\*

## Development of the Scanning Laser Radar for ACC System

大杉 啓治  
Keiji OSUGI

宮内 邦宏  
Kunihiro MIYAUCHI

古居 信之  
Nobuyuki FURUI

宮越 博規  
Hironori MIYAKOSHI

In recent years, the development of the ACC (Adaptive Cruise Control) system with the aim to improve driving convenience and comfort, is progressing. To put this ACC system in practical use, the elimination of unexpected acceleration or deceleration caused by incorrect detection is highly demanded. From 1997, the Laser Radar ACC system has been produced for the domestic version of the Lexus LS400. It provides high recognition capability with a two-dimensional scanning technology at an affordable price. This paper introduces the Laser Radar with a high-performance two-dimensional scanning technology.

**Key words :** Laser Radar, ACC, Adaptive Cruise Control, Laser Diode, Radar Cruise, Cruise Control, Laser, Radar

### 1. まえがき

近年、車両の多機能化と交通量の増大により、ドライバの運転負荷は大きく増大している。これに対し、ドライバの負荷軽減と利便性の向上を狙ったACC (Adaptive Cruise Control) システムの開発が進んでいる。そして、このシステムを実用化するためには、先行車を正確に検知し、誤認識で生じる、思わぬ加速や減速を無くすることができる高性能の前方認識センサが強く望まれていた。われわれは、1997年より、前方認識センサとしてレーザレーダを用いたACCシステムを、レクサス (LS400) 国内バージョンにて量産化した。

これに採用されたレーザレーダは、2次元スキャンシステムを用いることにより、高い認識性能を低コストで実現している。本論文では、この2次元スキャン技術を用いたレーザレーダと、その適用例について述べる。

### 2. システム構成

システム構成をFig. 1に示す。

システムは、従来のクルーズシステムとほぼ同じで、新たにレーザレーダ、車間制御ECU、車間時間切替SW及び表示器が追加されたものである。

レーザレーダは、フロントバンパ下部に設置され、車間制御ECUは右側フェンダ内部に、車間時間切替SWはハンドル内に、表示器はメータ内に設置されている。表示器には、Fig. 1に示すように、システムの状態が表示されている。

\* 2001年3月20日 原稿受理

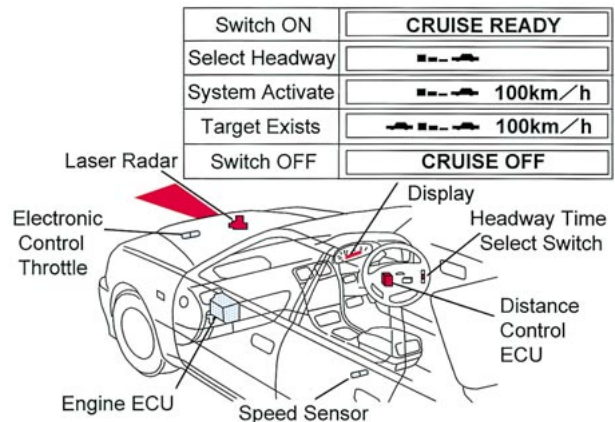


Fig.1 System configuration

### 3. システム動作概要

Fig. 2に示したACCシステムの動作概要を簡単に述べる。

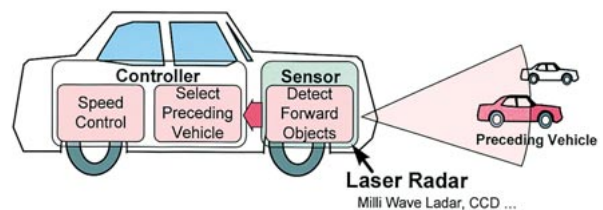


Fig.2 System control algorithm

まず、前方認識センサにより、前方の物体を検知し、距離、相対速度、位置などを計測し、移動物、停止物を判断する。コントローラは、センサの計測結果を基にして、制御の対象とすべき先行車を選定する。そし

て、その選定した先行車に対して、ドライバーが選択した車間距離を目標に車速を制御する。

ここで、ACCシステムを成立できるかどうかは、先行車をいかに正確に検出できるかにかかっており、正確な認識性能を備えた前方認識センサが必要である。

前方認識センサとしては、レーザレーダ、ミリ波レーダ、画像センサ、超音波センサなどがあるが、コストや要求性能に対する技術的な実現性を考慮し、現状では、スキャン式レーザレーダが、最適であると判断し開発に着手した。

#### 4. スキャン式レーザレーダ

##### 4.1 設計仕様の前提条件

ACCシステムに必要な検知性能の前提条件について説明する。システムの使用範囲を日本の高速道路に限定した。日本の高速道路環境の特徴をFig. 3とFig. 4に示す。

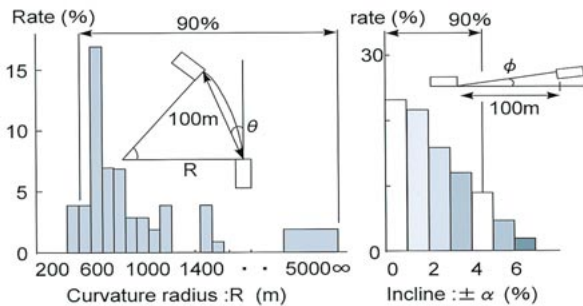


Fig.3 Structural characteristics of Japanese expressways

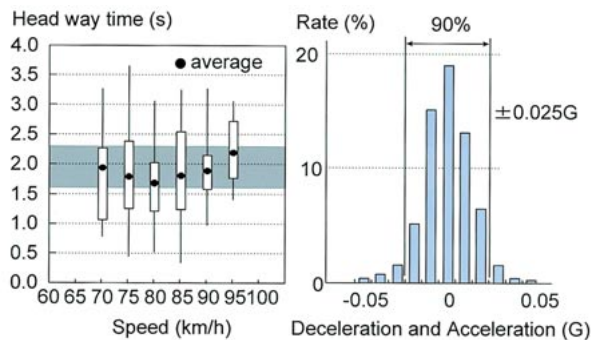


Fig.4 Traffic characteristics of Japanese expressways

前方認識センサの上下と左右の検知エリアの角度を決める必要がある。これらの値を求めるためには、高速道路の構造の仕様に基じた路面の最小カーブ半径と最大傾斜角度のデータが必要である。

日本の高速道路上の全カーブの半径と全上り下りの傾斜角度の90%は、それぞれFig. 3に示すように、R

350m以上及び4%以内に分布している。従って、これをカバーする検知エリアが必要と考えた。

次に、われわれは、ほぼ定速で流れている交通状況における最高速度や最低速度、車間時間、加減速度データを収集した。そして、このデータに基づきセンサの最低検知距離を決定した。以下に、最低検知距離の決め方について説明する。(Fig. 4参照)

日本の高速道路の法定速度は50~100km/hに規制されている。車間時間の平均値は2秒程度であるが、場合によっては、約3秒程度になる場合もある。“加減速”テーブルに示されているように、加減速度の90%は±0.025Gの範囲内に分布している。それ故に、このような変化の緩やかな交通状況において、追従制御での使用を前提にすれば、前方検知センサの検知距離は遠方までは必要でない。車間時間3秒に対応可能な、約100mあれば十分である。しかしながら、道路交通状況は国ごとに異なるので、これらの仕様は、それぞれの国の状況に応じて見直す必要がある。

##### 4.2 光学設計

今回レーザレーダを開発するにあたって、認識の正確さに加えて、小型化が強く求められた。

全体積の中で、受光部分が最も大きな体積を占めている。従って、これを小型化するためには、受光側に戻ってくるパワー密度を大きくしなければならぬ。レーザレーダの光学系における、発光ビーム形状、発光パワー、受光面積などの関係をFig. 5に示す。その実現手段としては、次の2つの方法がある。

発光パワーを上げる

出射ビームを絞りパワー密度を上げる

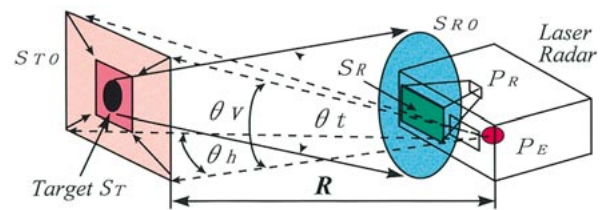


Fig.5 Principle of optical system

今回、信頼性の面からこの方法は採用しなかった。Fig. 6に示すように、出射ビームを2次元でスキャンさせる方式を採用することにより、出射ビームを細く絞り、パワー密度をあげることを可能とした。

$$P_R = k_E \cdot k_R \cdot P_E \cdot \frac{S_T}{S_{TO}} \cdot \frac{S_R}{S_{RO}} > P_O$$

$$P_R = k_E \cdot k_R \cdot P_E \cdot \frac{S_T}{R^2 \cdot \tan v \cdot \tan h} \cdot \frac{S_R}{R^2 \cdot \tan^2(t/2)}$$

$$S_R = \frac{P_O}{k_E \cdot k_R \cdot P_E} \cdot \frac{R^4 \cdot \tan^2(t/2) \cdot \tan v \cdot \tan h}{S_T}$$

where

- $k_R$  : Reception efficiency
- $k_E$  : Emission efficiency
- $P_R$  : Light reception power
- $P_E$  : Light emission power
- $S_T$  : Target area
- $S_R$  : Light Collecting lens area
- $S_{TO}$  : Light emission area at target
- $S_{RO}$  : Light reception area at sensor
- $P_O$  : Necessary light reception power
- $R$  : Range to target
- $v, h$  : Departure angle
- $t$  : Reflection angle of target

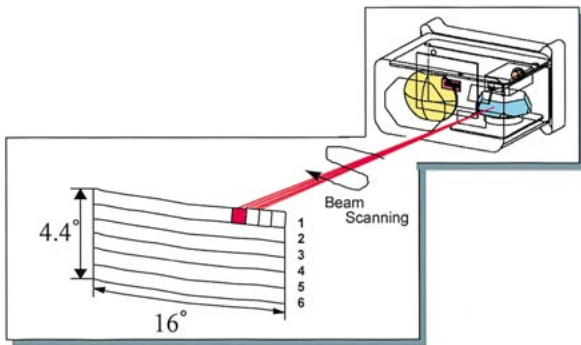


Fig.6 2-Dimensional scanning

#### 4.3 2次元スキャン方法

2次元スキャンは、DCモータとポリゴンミラーを使用した簡単な構成で実現した。左右方向へのビームのスキャンは、ポリゴンミラーの回転により行っている。また、上下方向へのビームの偏向は、ポリゴンミラーの各面の傾斜角度をあらかじめ変えておくことにより実現した。( Fig. 7 )

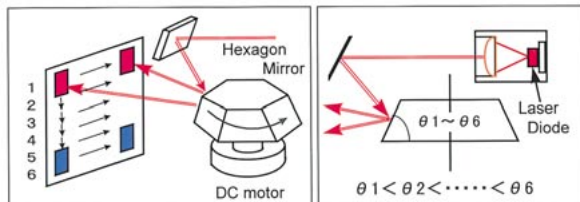


Fig.7 Scanning method

#### 4.4 物体認識方法

認識ロジックの概略について述べる ( Fig. 8 ).

本センサでは2次元のビームスキャンにより、前方を上下・左右に630点のメッシュ状に切り出し、前方からの反射データを検出する。まず水平方向において検出された各反射データをその距離、方向により同一物体と判断できるデータごとにグルーピングする。

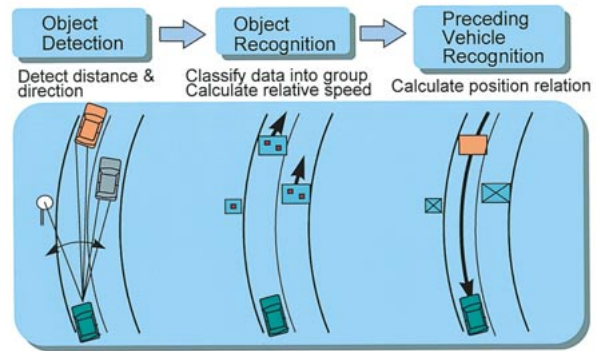


Fig.8 Recognition method

次に上下方向において各水平方向ごとのグループデータに対し、同様のグルーピングを行う。更にこれらグルーピングされた物体の相対速度を演算し、移動物が停止物かを判定する。続いてステアリングセンサの操舵角データに基づき推定される自車の走行車線との位置関係の情報にも付加する。

2次元認識の実施例をFig. 9に示す。このような状況では、水平方向6面がそれぞれグルーピングされ、次に上下方向にもグルーピングされると同時に相対速度が演算され、移動物、停止物が判定される。

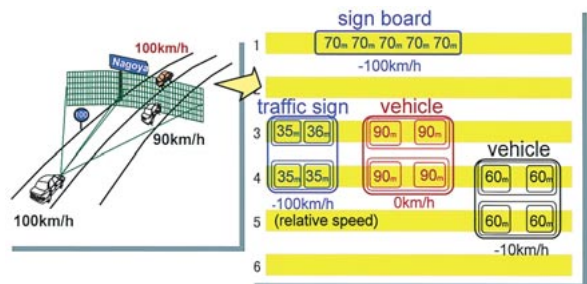


Fig.9 Scanning data sample

#### 4.5 回路

レーザーダの回路のブロック図をFig. 10に示す。スキャナーは、DCモータにより一定速で回転している。CPUは、この回転に合わせてレーザーダイオードを発光させる。反射光は、受光レンズによりフォトダイオード上に集光され、電気信号に変換される。この



信号は、アナログ回路にて増幅され、時間間隔を計測するLSIに入力される。CPUは、時間計測用LSIの計測データを基にして距離を算出し、認識を行っている。

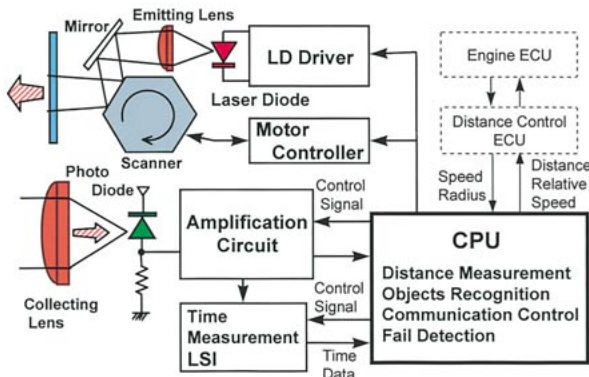
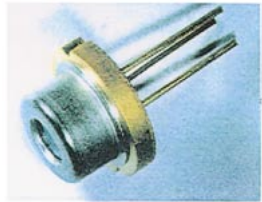
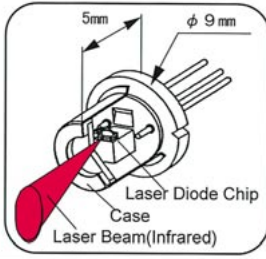


Fig.10 Block diagram of the laser radar

本レーザレーダを開発する上での鍵となるハード技術は、レーザダイオードと、時間計測用LSIである。

これらの部品は、レーダの性能を左右する重要な部品であるため、自社開発をすることにした。レーザダイオードと時間計測用LSIの概要及び仕様を、それぞれFig. 11及びFig. 12に示す。

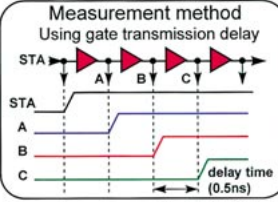




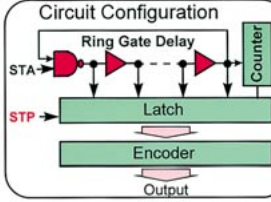
Items	Specifications
Optical power output	15 W
Wavelength	850 nm
Operation temperature	-30 ~ 85 °C
Life time	10000 hr
Package size	φ 9 mm

Fig.11 Laser diode

**Measurement method**  
Using gate transmission delay



**Circuit Configuration**



Items	Specifications
Resolution	0.5 ns
Time measurement range	0 ~ 2 μs
Element	Std. CMOS

Fig.12 Principle of the time interval measurement

レーザダイオードは、物体検出性能や品質を決定する重要部品である。そして、市場では、われわれの要求性能とコストを満足できるものが無かったため、自社開発を行った。今回開発したレーザダイオードは、低電流で、ハイパワーを実現し、長寿命を確保している。更に、レーザビームの形状は、レンズにマッチングしやすいようなデバイス構造に設計しており、安定した発光性能を備え、高品質なレーダの認識性能を実現した。

時間間隔を計測する方法としては、1 ns以上の分解能を持つ超高速カウンターで直接計測する方法や、ミラー積分を使う方法、分解能の低いカウンタで複数回計測し平均化する方法など種々の方法がある。しかし、それらの方法は、コストや精度に問題があり量産品への採用は困難と考えた。そこで、独自技術として、ゲートの遅延時間を使いより高精度で計測可能な時間計測用LSIを開発した。

本LSIを採用することにより、1発光ごとの距離計測精度が向上したため、平均化が不要となりレーザダイオードの発光回数の低減ができ、長寿命化が可能となった。また、同時に、高精度のレーダ認識も可能となった。

#### 4.6 レーザレーダの構造と仕様

今回開発したセンサの内部構造と仕様をFig. 13に示す。

Items	Specifications
Detection Range	120 m
Detection Angle	Azimuth : ±8°
	Elevation : 4.4°
Resolution (H)	0.15°
Detection Cycle	10 Hz (100ms)
Body Size	W102×H60×D80

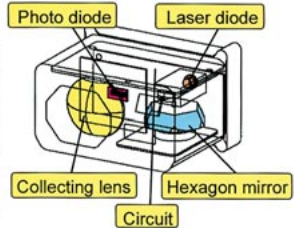


Fig.13 Construction and specifications of the scanning laser radar

#### 4.7 2次元レーザレーダの優越性

2次元スキャンを採用した目的として、小型化以外に、認識性能の向上がある。Fig. 14に示すように、従来の1次元スキャンでは、今まで難しかった上り坂や下り坂での見失いの低減や、路上の案内板と、その下の車両との識別や、移動物と判定しやすい白線データの除外が可能となった。

Fig. 15に走行距離1000kmでの1次元スキャンと2次元スキャンでの見失い、誤検知回数を評価した結果

を示す。上記のような状況などで見失い、誤検知が大幅に低減されている。

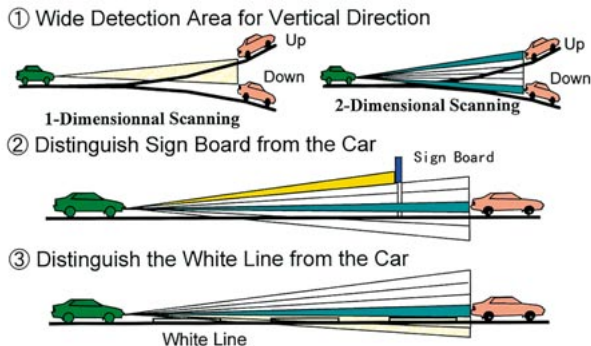


Fig.14 Special feature of two dimensional scanning laser radar

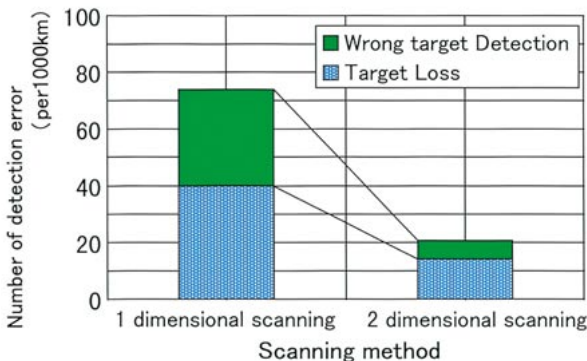


Fig.15 Comparison of detection error between one and two dimensional scanning

5. 適用例

今回開発したレーザレーダは、トヨタのレクサス(L S 400) 1998年モデルの国内版、及び、その後のニューモデルであるプログレにも採用された。

これらの車両に採用されたACCシステムの構成を Fig. 16 に示す。

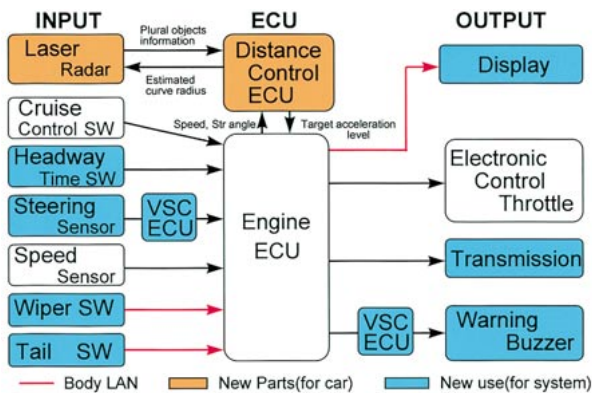


Fig.16 System configuration

ACCシステムを実現するために、新規に追加された部品は、レーザレーダと車間制御ECUの二つのみである。その他の部品は、他のシステムで既に有るものと共用化した。例えば、ステアリングセンサの信号は、VSCで使用している信号を共用化した。

次に、システム動作の概略を説明する。レーザレーダは、車間制御ECUから送られてくるカーブ半径を基に、自車の前方にあると思われる複数の物体を選択し、それらの情報(相対位置や相対速度など)を車間制御ECUに送る。

車間制御ECUは、操舵角データをVSC-ECUからエンジンECUを経由して受信し、カーブ半径を演算する。これをレーザレーダに送信する。レーザレーダからは、複数の前方物体の情報を受信し、自車速とそれらの情報から先行車を決定する。選定された先行車に対し、車間距離を制御するための目標加減速度を演算し、そのデータをエンジンECUに出力する。また、同時にシフトダウンや接近警報のタイミングも演算し出力している。

エンジンECUはクルーズアクチュエータとして目標加減速度に応じ電子スロットルを制御するとともにECT(Electronic Control Transmission)を制御しシフトダウンを行う。また、VSC(Vehicle Stability Control)-ECUとも通信を行い、ステアリングセンサデータを受信するとともに車間制御ECUから受け取った接近警報要求をVSC-ECUに送信し、VSC-ECUのブザーを吹鳴させる。

6. 疲労度の評価

フリッカ試験でACCとCC(Conventional Cruise Control)の疲労度の比較も行った。フリッカ試験は人間の疲労度を評価する手法の一つで光のちらつきに対する視認応答性で評価する。Fig. 17は、走行前と走行後でドライバが認識できるフリッカ周波数の変化を示している。

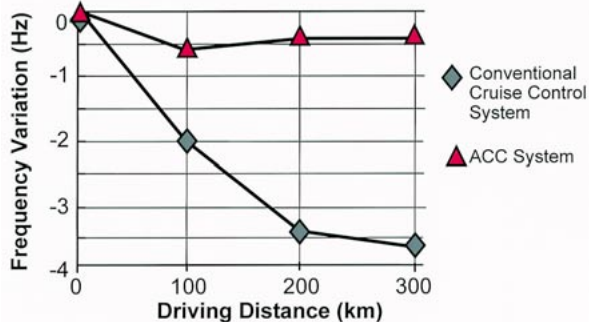


Fig.17 Comparison of fatigue level between ACC system and conventional cruise control system

従来のクルーズコントロールに比較し、ACCシステムではドライバの疲労度は走行300kmで、フリック周波数が 3.6Hz 0.4Hz まで低減できている。これは、従来は相対車速を認識するため、前方の車を注視し続ける必要があったのに対し、細かな認識はシステムに任せられ、更に視線を左右に動かす余裕ができるため、疲労度が少なくなったと考えられる。このように、本システムによりドライバーの負担軽減効果を十分得ることができた。

## 7. まとめ

ACC用前方認識センサとして、2次元スキャン型レーザレーダを開発した。スキャンを2次元化することにより、上下の検知エリアの拡大や、標識と車両との分離、白線の除外など、誤検知やロストが大幅に低減でき、認識性能の大幅な向上が可能となった。また、本レーザレーダは、実際にトヨタ セルシオ (LEXUS LS400の国内版) に採用され、1997年に量産化された。このACCシステムは、市場から大きな賞賛を得て、プログレ (1998年5月量産化された新モデル) に引き続いてマジェスタやエステイマなど他のモデルにも着実に採用が拡大している。

今後は、更に高性能化と低コスト化を進め、将来のACCシステムに備えていきたい。

## 8. 後書き

センサの開発に多大な協力をしていただきました、トヨタ自動車第2電子技術部、デンソー基礎研究所、IC部、開発部、電子技術部、品質管理部、その他関係部署の方々には厚くお礼を申し上げます。

## < 参考文献 >

- 1) N.Furui, H.Miyakoshi, M.Noda, K.Miyauchi, " Development of a Scanning Laser Radar for ACC " SAE SP-1332 No. 980615 p.71-76 ( Feb.1998 )
- 2) T.Watanabe, Y.Makino, Y.Ohtsuka, S.Akita and T.Hatori, " A CMOS Time-to-Digital Converter LSI with Half-Nanosecond Resolution Using a Ring Gate Delay Line ", IEICE, VOL. E76-C, No.12, p.1774-1779 ( Dec. 1993 )
- 3) M.Hashiguchi, " Preview Distance Control " Automobile Engineering, Vol.45. No.6. p.84-100 ( 1996 )

## < 著 者 >



大杉 啓治  
(おおすぎ けいじ)

ポデー機器技術3部  
現在、操作パネルの開発に従事。



宮内 邦宏  
(みやうち くにひろ)

ポデー機器技術2部  
現在、キーレスエントリーの開発・設計に従事。



古居 信之  
(ふるい のぶゆき)

トヨタ自動車株式会社 第5開発センター 第2電子技術部  
クルーズコントロールシステムの開発・設計に従事。



宮越 博規  
(みやこし ひろのり)

トヨタ自動車株式会社 第5開発センター 第2電子技術部  
クルーズコントロールシステムの開発・設計に従事。