

自動車の自動運転のための通路パターン認識

野崎 武敏

機械技術研究所

【要 旨】

近年、自動車の自動運転に関する話題が、テレビや新聞あるいはインターネット等で紹介されるようになった。トヨタ自動車や日産自動車が、東京オリンピックが開催される2020年の実用化を目指して、一般道路や高速道路での実験を行っている。

海外では、中国が鄭州市内で自動運転バスのテスト走行を実施した。また、ダイムラー社は大型トラックの公道での走行許可を世界で初めて取得した。自動車の自動運転技術は着実に進展し、近い将来、その実用化が実現されようとしている。

このような一般道路や高速道路での自動運転の構想は、今から約50年前の昭和40年代初め頃、機械技術研究所の前身である機械試験所の東村山分室にあった小さな研究室で既に芽生えていた。それまで主流だった誘導ケーブルを用いた自動運転技術（その当時は自動操縦技術と呼んだ。）に代わって、「人工の目」と云うべき「通路パターン認識装置」を自動車に搭載し、それで前方の状況を判断しながらハンドルやアクセル、ブレーキを自動的に操作して安全に走行させようという構想であった。

通路パターン認識装置等を搭載した自動運転の実証実験は一般道路では出来なかったため、分室の敷地内のテストコースに、ガードレールや駐車中の車あるいは行止りなど一般の道路環境に存在する状況を模擬した道路環境を形成して走行実験を行った。模擬環境の形成には、実験の安全性を考慮してゴム製のラバコーンを使用した。

自動運転車の回避走行や車線変更、状況に応じた加減速等の各動作が確実に行われ、通路パターン認識による自動運転の技術的な可能性が実証された。従来の誘導ケーブル方式が一本の車線に沿ってのみ走行するのとは違って、回避走行など人間の運転に似た動作を示すことから、運転知能を持った自動車という意味で「知能自動車」と呼んだ。

実証実験が成功した時は大きな喜びと充実感を感じた。同時に通路パターン認識の難しさも痛感し、その当時は実際の道路環境内での実用化などは夢のまた夢であった。40年以上経った今、技術は遥かに進歩し自動運転は正に実現しようとしている。

1. はじめに

自動車の自動運転の様子が、最近、テレビや新聞等で時々紹介されている。筆者は、今から40～50年ほど前に同じような研究に携わったことがあるため、それらの報道等を目にするたびに当時を思い出し、懐かしさを感じると共に技術の進歩に驚いている。

自動車の自動運転については、1950年代～1970年代に国内外の企業や大学等で盛んに取組みがなされた。その代表的な方式は誘導ケーブル方式である。道路に埋設された誘導

ケーブルに電流を流して磁界を形成させ、それを自動車のバンパーに装着された磁界検出コイルで検出しながら、誘導ケーブルに沿って走行する方式である。走行環境は障害物の無い安全性が保証されたテストコースであり、走行モードは誘導ケーブルに沿って走行することであった。

それから半世紀近く経った現在、走行環境は高速道路や一般道路が対象になった。走行モードは車線に沿って走行するだけでなく、車線変更や先行車両との車間距離の保持、また先行車両の追越しなど、その走行機能は目覚ましい進歩を遂げた。

最近の報道によれば、国内ではトヨタ自動車や日産自動車等が、いずれも東京オリンピックが開催される 2020 年の実用化を目指して、高速道路の入口から出口までの合流、車線変更、分流などの自動運転を公開した。また、非自動車メーカーまでもが興味を持つようになり、例えば DeNA はベンチャー企業と共同で一般道路（藤沢市の特区）での自動運転を公開した。いずれは運転手無しの自動運転タクシーを開発したいとしている。

海外に目を転ずると、中国のバスメーカーが鄭州市内で自動運転バスのテスト走行を実施して 32km の距離を安全に走行し、現在、市内を走るための法的手続き中とのことである。またドイツのダイムラー社は、2015 年 5 月に世界で初めて公道走行の認可を得たという自律走行型大型トラックを公開し、長時間走行が多い運転手の負担軽減につながると期待されているとのことである。

このように高速道路や一般道路を対象にした自動運転が実現されつつあるが、その構想自体は近年に始まった事ではない。誘導ケーブル方式が華やかになりし頃の昭和 40 年代前半に、同じような構想が機械技術研究所の前身である機械試験所（本所：東京都杉並区井荻）の東村山分室（東京都東村山市）における小さな研究室で既に芽生えていた。

それは運転手に代わって、前方の道路環境の状況を認識しながらハンドルやアクセル、ブレーキを自動的に操作して安全に走行させようという構想で、研究テーマとして採用され基礎的な取組みが始められていた。それまで主流であった誘導ケーブル方式に代わる全く新しい構想の自動運転方式の船出であった。一般道路を無人で走行する姿を想像し、それを運転知能を持った自動車と云う意味で「知能自動車（Intelligence-Car）」^{〔注 1〕}と研究グループ内で名付けた。

2. 研究環境と技術動向

2. 1 恵まれた研究環境

新たな構想に基づく研究テーマが認められ、若手研究者が興味と意欲を持って取り組むことが出来た背景には、次の三つの要因があった。

一つ目は、自動車交通の急成長に伴う当時の社会問題が、この研究を推進する気運を生み出したことである。すなわち車両の保有台数が年々増加し、昭和 49 年には 3,733 万台になり、昭和 30 年当時の約 20 倍に増加した。⁽¹⁾ また、高速道路網の建設が本格化し、昭和 40 年には名神高速道路、昭和 44 年には東名高速道路がそれぞれ全線開通した。

一方、交通事故も急増し、死者数の水準が日清戦争での日本の戦死者を上回る勢いで増加したことから、一種の戦争状態であるとして「交通戦争」と呼ばれた。このことは米国でも同様であり、1966年の米国議会では「走る棺桶」とまで揶揄された。この深刻な事態への対策と共に、自動車の排気ガスによる大気汚染対策も強く求められた。

このような社会的要請を踏まえて通商産業省工業技術院組織規定が一部改正され、昭和42年に当時の機械試験所に自動車安全公害部が新設された。自動車の安全走行や安全設計および排気ガス対策等に関する研究が開始され、その中の特別研究「自動車安全走行の制御系の研究」（昭和42年度～昭和44年度）のサブテーマとして本研究が開始された。

二つ目は、研究体制として自動車の自動運転に関する高い研究実績を有する先輩研究者が多数在籍していたことである。昭和37年度から開始された特別研究「自動操縦機構の研究」において、誘導ケーブル方式の自動運転システムをはじめ、パラメトロンを応用した追突防止装置や交通制御系など高い研究成果を上げた。^{(2),(3)} 自動運転システムについては、昭和42年3月に当時茨城県筑波郡谷田部町の(財)自動車高速試験場にあった5.5km/周のテストコースで時速100km/hの自動走行に成功した。また昭和43年4月には、「自動操縦車に対する誘導システムの研究」により第18回自動車技術会学術賞を受賞した。

三つ目は、実験環境に恵まれていたことである。東村山分室の敷地内に自動車試験道路（テストコース）があり、1周2,013m、直線路730m、幅員6mの周回路と、その内側には凹凸路、基準路、旋回広場等が整備され、自動車に関する種々の走行実験を行うには極めて好都合な環境であった。

2. 2 自動運転に関する国内外の技術動向（開発当時）

自動車の移動目的は、道路環境内を安全かつ迅速に移動することである。そのための自動運転システムは、図1に示すように自動運転車と道路環境の二つの要素からなり、前者は更に次の三つの機能で構成される。すなわち、

- (1) 移動目的の達成に必要な道路環境の状況を認識するための「認識機能」。
- (2) 認識情報と移動目的から行動を判断し、自動車を制御するための「制御機能」
- (3) 制御動作に基づいて実際に走行するための自動車の「移動機能」

これらの三つの機能のうち、最も重要な機能であり技術的にも難しいのは(1)の「認識機能」である。

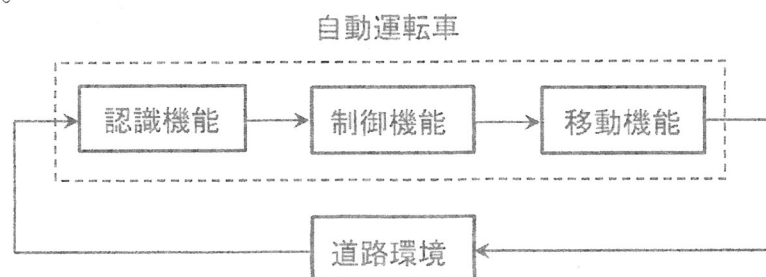


図1 自動車の自動運転システムの構成

表1は、その認識機能に着目して1935年～1975年までの自動車の自動運転に関する国内外の関連技術を整理したものである。

着想としては既に1940年前後にあった¹⁾。しかし研究として取り上げられるようになったのは1950年代に入ってからである。それ以降の経緯を、1950年代、1960年代、1970年代の三期に分けて展望すると、その変遷は次のように要約される。

1950年代は、自動運転に対して主として興味的思考で各種の方式が提案され、研究された時期である。海外では、RCA(米国)のV.K. ZworykinやL.E. Floryによる誘導ケーブル方式²⁾、WE社(米国)のY. Chuらによるレーダ方式³⁾などの研究がある。また日本では、関東学院大学の大串によって磁気ピックアップ方式⁴⁾、鐘紡の浅井らによって磁気吸引方式⁵⁾が提案された。このように1950年代は、いわば自動運転方式に対する模索の時期であったと言える。

1960年代には、種々の方式の中から特に誘導ケーブル方式が、実用的思考のもとに各方面で取り上げられた。海外では、GM社(米国)のH.M. Morrisonらによる実験⁶⁾、RCA

表1 自動車の自動運転技術に関する研究の流れ

	外 国	日 本
1935	(米)：光電センサ方式	
1940	特許(米)：誘導ケーブル方式 ¹⁾	
≈		
1950		関東学院大学：磁気ピックアップ方式 ⁴⁾ 鐘紡：磁気吸引方式 ⁵⁾
	RCA(米)：誘導ケーブル方式 ²⁾ WE(米)：レーダ方式 ³⁾	
1960	GM社(米)：誘導ケーブル方式 ⁶⁾ RCA(米)：誘導ケーブル方式 ⁷⁾	機械試験所：誘導ケーブル方式 ⁹⁾
	オハイオ大学(米)：誘導ケーブル方式 ⁸⁾	トヨタ社：誘導ケーブル方式 ¹⁰⁾
1970	道路研究所(英)：誘導ケーブル方式 ¹¹⁾ コンチネンタルゴム社(西独)：誘導ケーブル方式 ¹¹⁾	日本自動車研究所：誘導ケーブル方式 ^{12), 13)}

の L. E. Flory らによる実験⁷⁾、オハイオ大学の R. E. Fenton らによる実験⁸⁾ などがある。また日本では、機械試験所で車速 100km/h の無人走行に成功し⁹⁾、トヨタ社では同車速で連続 1 時間の走行実験に成功した¹⁰⁾。このように 1960 年代は、誘導ケーブル方式が自動運転の代表的な技術として確立された時期と言えよう。

1970 年代には、誘導ケーブル方式が本格的に実用化の方向で研究されるようになった。磁界検出器など自動運転用の各種装置の改良が進み、具体的な実用例も現れ始めた。海外では、道路研究所（英国）で着脱容易な簡易型自動運転装置が開発され、コンチネンタルゴム社（西独）ではタイヤの耐久試験用の自動運転車が開発された¹¹⁾。また日本では、日本自動車研究所で ESV 試験に使用する自動運転装置の研究が進められた。^{12), 13)}

3. 基本の考え方と判別内容

道路環境に対する認識機能の実現に向けて、次の三つを考慮した。

一つ目は、従来の誘導ケーブル方式等に代わる新しい自動運転方式の開発を目指した。従来方式を一般道路や高速道路に適用する場合には、目標コースを設置するための工事やコスト等の問題が生じる。そこで道路環境に専用の特別な工夫をすることなく、既存の道路環境を前提にした自動運転技術の開発を目標にした。

二つ目は、自動運転車が移動目的を達成するためには、道路環境に対して何を認識することが必要かと云う問題であった。一般の道路環境内では、表 2 に示すような多くの内容を認識する必要があるが、その実現は極めて困難である。そこで、道路の形状に関わる認識のみに限定し、他の物性や法規に関する認識は取り上げなかった。

道路環境は、一般にガードレールや縁石あるいは駐車中の自動車など種々の物体で道路幅が制限される。いま、自動運転車が自己の車輪で乗越えて走行できる「限界高さ」より大きな物体を「障害物」と定義すれば、自動運転車にとって移動目的を達成するために最も重要な判別内容は、障害物の「有・無」の判別である。ガードレールや縁石や駐車中の車などに対して、障害物であるか否かを判別できれば十分であって、その種類を判別する必要はない。

三つ目は、道路環境に対するセンサーの選択である。安全かつ迅速な移動を実現するためには、自動運転車のかなり前方における障害物の判別が可能であること、また自動運転車へ搭載するために小型軽量であること等を考慮して、センサーとして光を情報媒体とする TV カメラを使用した。

表 2 道路環境の構成要素

形 状	曲線部、道路幅、路面の凹凸など
物 性	固さ、摩擦係数など
法 規	交通信号、標識、表示など

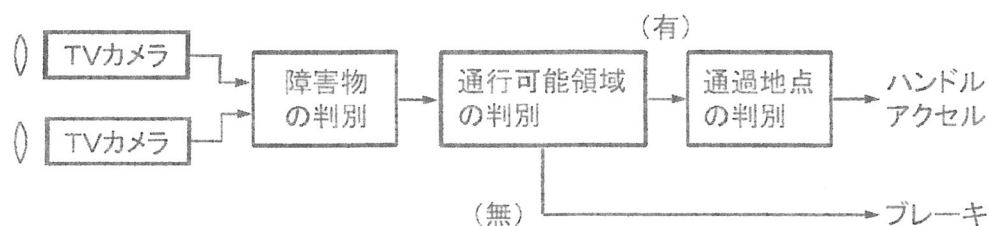


図2 通路パターン認識における判別内容

以上の基本の考え方に基づいて、通路パターン認識として必要な判別内容は、図2に示す「障害物の判別」、「通行可能領域の判別」、「通過地点の判別」の三つである。なお、これらの判別は自動運転車の前方に定められた「認識領域」と呼ばれる特定の範囲に対してのみ実行される。

障害物の判別とは、先に述べたように自動運転車の前方における障害物の「有・無」を判別することである。次の通行可能領域の判別とは、前段の障害物の判別結果と自動運転車の大きさ（車幅）を基準にして、認識領域内に通行可能なスペースが有るか否かを判別することである。そして通過地点の判別とは、もし通行可能領域が存在する場合には、車両に対する「左側通行」の交通規則と、左側の障害物に接近し過ぎないための空間的な「安全スペース」を考慮して通過地点を決定し、現在の向きとの「コースずれ」を指示することである。

このように本判別は、自動運転車の前方の道路環境（通路）を安全に走行できる通路であるか否かの二つに分類することから、「通路パターン認識」と呼んだ。

4. 判別のための情報処理

図3は、通路パターン認識装置のプロトタイプを示したものである。本装置を室内に設置し、屋外に認識対象としての種々の障害物等を配置して、判別のための情報処理手法に関する実験を行った。

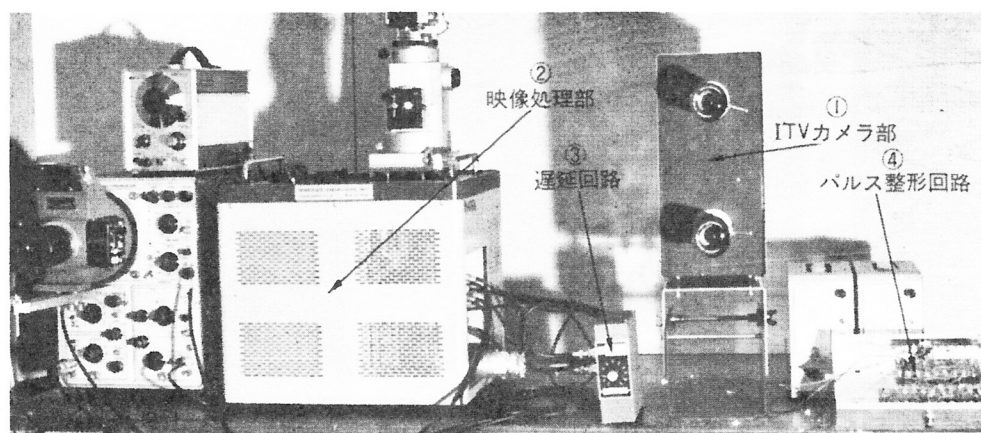


図3 通路パターン認識装置のプロトタイプ（机上実験用）

4. 1 明暗変化点とその分布の特徴

障害物の判別で重要なことは、物体のどのような特徴に着目して判別するかと云うことである。

道路環境内の物体表面は、太陽やヘッドライトなどの照明によって明暗が複雑に変化している。その明暗情報は、天候や照明の方向などで変化するため信頼性が低い。しかし、明暗が急激に変化している点を「明暗変化点」と呼ぶと、その情報は遥かに信頼性が高い。そこで障害物の判別では、明暗変化点の分布に着目する方法を採用した。

図4と図5を用いて明暗変化点について説明する。図4 (a) はTVカメラによる前方空間の映像であり、同図 (b) は中央の縦の白線で示される走査線上の映像信号である。また、図5 (a) は図4 (a) の微分画像であり、図5 (b) は図4 (b) の微分信号である。そして、この微分信号の中で特に振幅の大きい箇所が、実空間の明暗変化点に対応する。すなわち明暗変化点は、信号上では微分処理で容易に抽出される。ここでの信号処理では、微分信号の中でも特に振幅の大きな信号のみを矩形パルスに変換して抽出した。

道路環境内の物体に対して、図6に示すように路面に垂直な平面内の明暗変化点の分布を考えると、一般に次のような特徴が見出される。

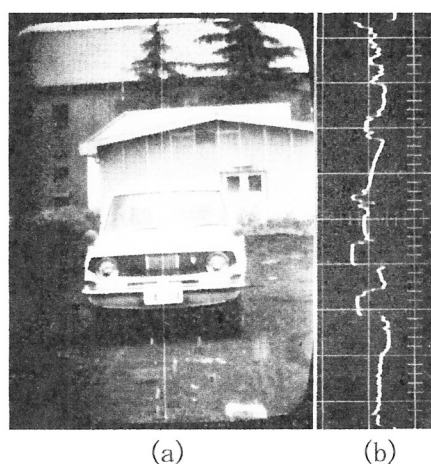


図4 モニター映像と映像信号

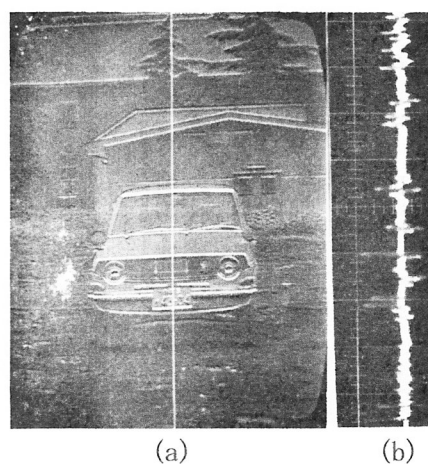


図5 微分映像と微分信号

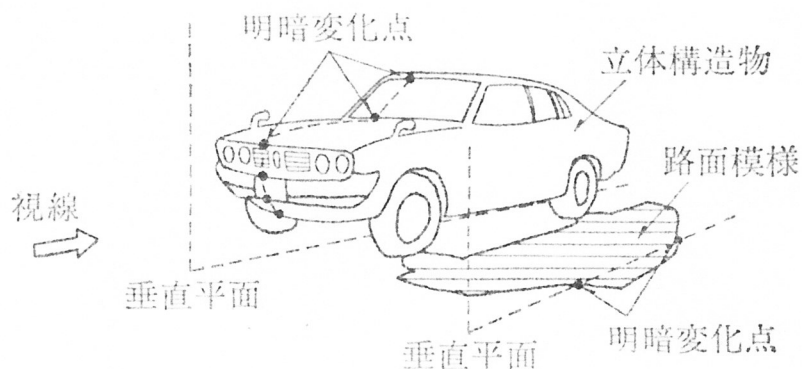


図6 立体構造物と路面模様における明暗変化点の分布

特徴A：自動車やガードレール等の「立体構造物」では、明暗変化点は一般に高さ方向に複数個分布している。

特徴B：路面上の影や白線等の「路面模様」では、明暗変化点は路面に沿って分布し、高さ方向には分布しない。

さらに前者の場合、大きな立体構造物では一般に高さ方向に広い範囲で明暗変化点が分布するが、小さな立体構造物では高さ方向の分布範囲が狭い。

4. 2 「障害物の判別」における情報処理

障害物の判別では、図7に示す自動運転車の前方の「認識領域」と呼ぶ所定領域に分布する明暗変化点に対して、上記の特徴に着目した信号処理を行う。

第1段階では、上下の2台のTVカメラの前方空間に分布する明暗変化点を抽出する。図8に示すように、各TVカメラの走査は同期しており、走査の方向は下から上方向である。このことを実際の道路に当てはめれば、左右方向に同一箇所を手前から遠方に走査していることになり、それらの映像信号を微分処理することによって、走査線上の空間内に分布する明暗変化点が抽出される。

第2段階では、認識領域内の明暗変化点を抽出し、その個数から立体構造物の「有・無」を判別する。2台のTVカメラは上下に間隔を置いて水平に設置されているため、同一地点の映像は信号上で互いに時間的にずれる。その時間的ずれは、TVカメラに近いほど大きく遠方になるほど小さく無限遠点ではゼロである。従って、一方の映像信号を遅延すれば、遅延時間に相当する前方距離の映像は信号上で重なる。従って認識領域までの距離に相当する遅延処理をすれば、認識領域での明暗変化点が信号上で重なり抽出される。

第3段階では、認識領域内における障害物の「有・無」を判別する。前段で抽出された明暗変化点の間隔は対象物の大きさに相当し、それは映像信号上の時間幅に置き換えられる。従って、自動運転車の限界高さに相当する時間幅を基準にして、前段で抽出された明暗変化点の間隔を比較すれば障害物の「有・無」が判別される。

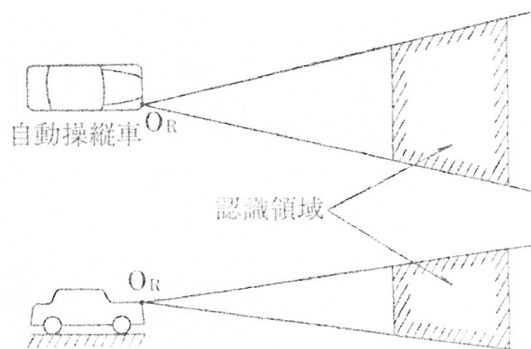


図7 認識領域 [注2]

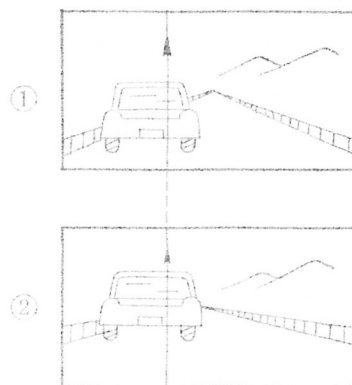


図8 上下のTVカメラの走査方向

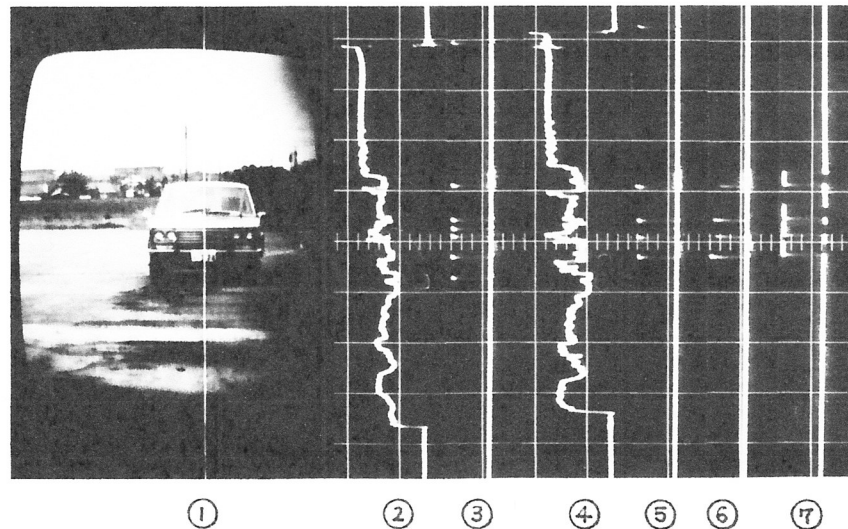


図9 自動車を障害物として判別した例

図9を用いて、信号処理の例を紹介する。①は下のTVカメラのモニター映像であり、その輝線に沿った映像信号が信号②である。信号③は、信号②を微分処理し、その中で特に振幅の大きい波形のみを矩形パルスに整形して得たパルス列信号であって、TVカメラ前方の道路環境に分布する明暗変化点を意味している。なおここでは簡単のため、「明⇒暗」に急激に変化している点だけを明暗変化点と考え、パルス信号として抽出している。

また、信号④は上のTVカメラの映像信号を遅延した信号である。それを微分処理し波形整形したのが信号⑤であり、それと信号③との論理積が信号⑥である。信号⑥のパルスは遅延時間に相当する認識領域内の明暗変化点を意味し、複数パルスの発生は立体構造物の存在を意味している。

次に信号⑥を、限界高さに相当するパルスで波形整形して信号⑦に変換する。信号⑦で複数のパルスが生じたことは、そこに限界高さ以上の物体すなわち障害物が存在することを意味する。もし、限界高さ以下の物体であれば、パルスは生じても高々1個である。従って、パルス数の「単・複」から障害物の「有・無」が判別される。

4.3 「通行可能領域の判別」と「通過地点の判別」における情報処理

以上の情報処理を、図9①のモニター映像の全走査線に対して実行すれば、認識領域内の障害物の左右方向の分布が判別される。それに基づいて、図2に示した通行可能領域の判別と通過地点の判別が実行される。⁽⁴⁾

認識領域までの距離は遅延時間を変えることで任意に設定できるが、最適な距離は自動走行システムの安定性を考慮して選定されなければならない。すなわち、認識領域までの距離は近すぎても遠すぎても不安定になり、ほぼ最適な距離がある。またそれは自動運転車の車速によっても異なる。それらの詳細は文献に譲る。⁽⁵⁾

5. 自動運転の実証実験

5. 1 実験車

実験では、ハンドル操作やアクセル操作を容易にするため、パワーステアリングが装着されたトルコトンバータ式の車を使用した。当時としては最新型であった。

図 10 に、フロントフェンダーの上部に取り付けられた 2 台の TV カメラを示す。上下に 20cm の間隔で水平に設置されている。TV カメラは、現在のような CCD カメラはまだ存在せず、撮像管式のものであった。自動車に搭載するため小型かつ耐震性が必要なことから、主に工業用に広く使用されていた静電集束、静電偏向型の TV カメラを使用した。解像度が低く残像も強かったため、走行実験では不都合な面があった。

図 11 は、実験用に定めた認識領域の諸元である。認識領域は自動運転車の挙動に大きな影響を及ぼすことから、その選択は非常に重要である。ここでは、通路パターン認識装置の障害物に対する認識性能と、実験車の制御性を考慮して選定した。⁽⁶⁾

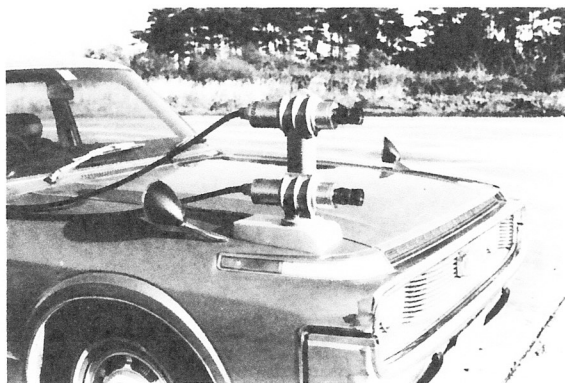


図 10 実験車に取付けられた TV カメラ

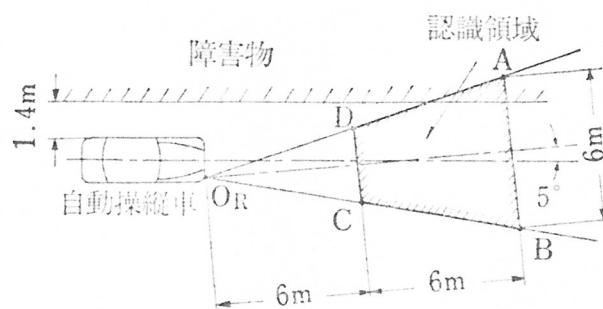


図 11 認識領域の諸元 [注2]

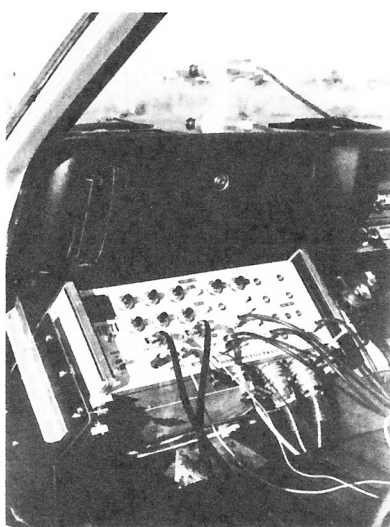


図 12 助手席に搭載された
通路パターン認識装置



図 13 実験車の内部

図 12 は、助手席に搭載された通路パターン認識装置である。図 3 に示したプロトタイプを車載用に改良したもので、電源は 24V のバッテリーを使用した。

図 13 に実験車の内部を示す。通路パターン認識装置のほか、ハンドルやアクセル等の操作装置やペンレコーダ等の実験データ記録装置等が搭載されている。

ハンドル操作には直流サーボモータを使用し、アクセル操作はエンジンの絞弁を直接に直流サーボモータで操作する方式とした。ブレーキ操作には真空倍力装置等を用いた。

5. 2 実験のための模擬道路環境

自動運転の実証実験は、分室の敷地内のテストコース内で行った。実験では安全性を考慮し、障害物としてゴム製のラバコーンを路面上に配置して専用の模擬道路環境を形成した。ラバコーンは、高さが 45cm で、表面には黒地の上に幅 10cm の黄色の横縞を 10cm の間隔で 2 本つけたもので、通路パターン認識装置がラバコーンを障害物として確実に判別できるように配慮した。

図 14 に、実験に使用した模擬道路環境の状況を示す。同図(a)はテストコース内の補助路であり、そこにラバコーンを並べて実験のための道路環境を形成した。代表的な環境として、次の二つを選んだ。

- (1) 直線形状の道路環境：図 14(b)に示すように、ラバコーンを一直線に配置した環境で、ガードレールや縁石などが設置された状況を模擬した。
- (2) パルス形状の道路環境：図 14(c)に示すように、直線形状の道路環境の一部に凸部を持たせてガードレールわきに駐車中の車などを模擬した。

なお、実験車の進行方向の終端部は、ラバコーンを道路幅方向に配置して行止りとした。

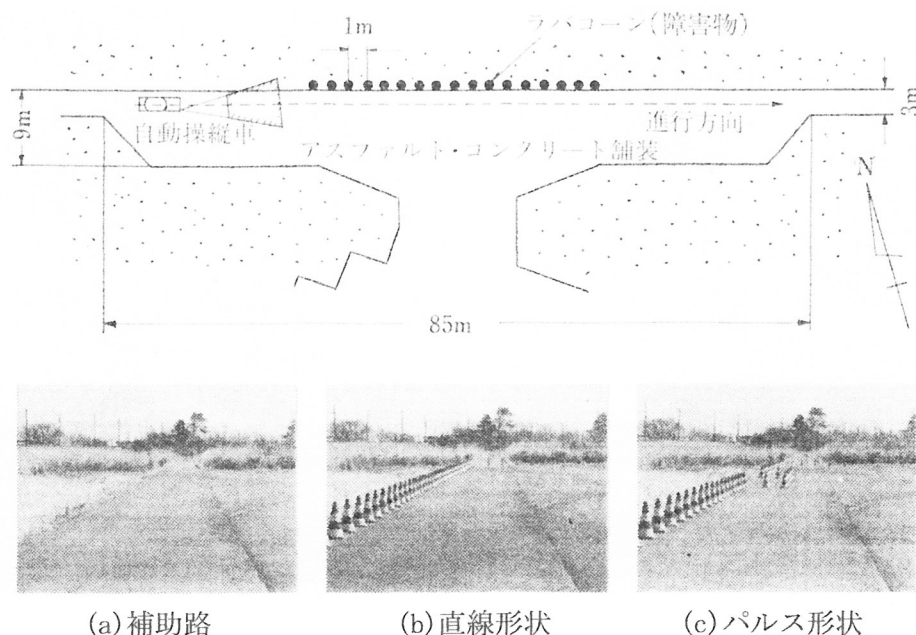
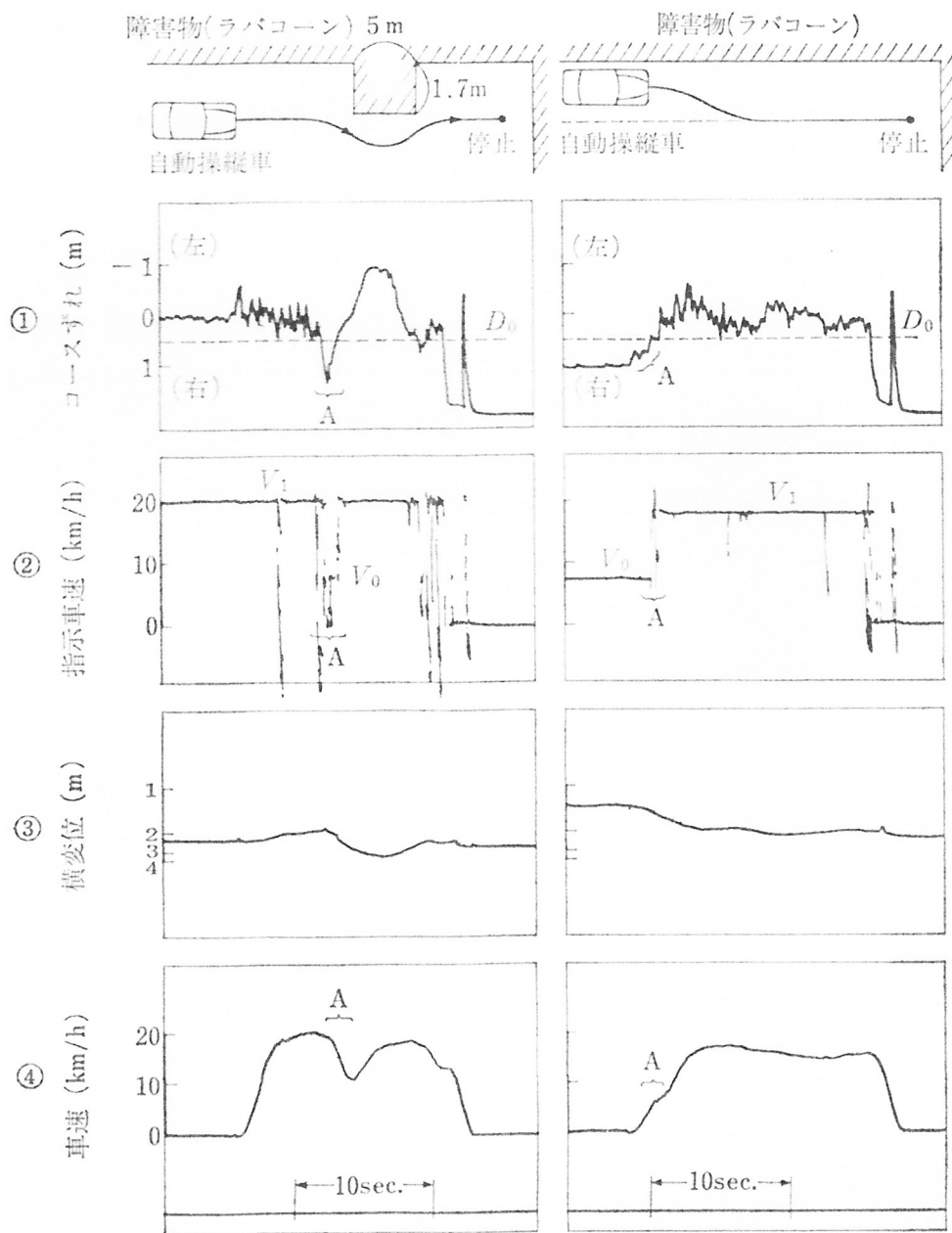


図 14 自動運転の実証実験に使用した模擬道路環境 [注 2]

5. 3 実証実験の結果

図 15 は、図 14 で示したパルス形状と直線形状の各模擬道路環境に対する実験データの一例である。データの記録にはペンレコーダを使用した。

同図①は通路パターン認識装置からのコースずれの信号であり、この信号に基づいてハンドルが操作される。また、②は车速の指令信号であって、ハンドルを切る場合すなわち記号 A の箇所に対しては低速 V_0 を指示し、直進走行のようにハンドルを切る必要が無い場合は高速 V_1 を指示するようにした。



(a) パルス形状の道路環境

(b) 直線形状の道路環境

図 15 実証実験における走行データの例 [注2]

また、③と④はいずれも実験車の走行結果を示したものである。すなわち、③はハンドル操作の結果としての実験車の横変位、そして④は指示車速に基づく実際の走行車速をそれぞれ示している。ハンドル操作の箇所Aでは、減速動作が確認される。ここで実験車の横変位の測定は、誘導ケーブルを路肩に敷設し、それに交流電流を流して磁界を発生させ、それを実験車の前後バンパーに取り付けた磁界検出コイルで計測した。

これらの実証実験の結果、パルス形状の凸部の箇所を走行する際に減速しながら回避し、行止りでは停止する様子が確認された。また直線形状の道路環境では、安定な車線変更の動作が確認された。実験車を障害物に接近して横付けし、走り始めると右へ車線変更しその後は障害物に対して一定の安全スペースを確保して走行している様子が確認された。

実証実験が成功した時期は、そのことが昭和 51 年の機械研ニュース⁽⁷⁾に紹介されているから、おそらく前年の秋も深まった頃と思われる。いろいろの課題があったが、成功した時は少なからず達成感を感じた。

6. 通路パター認識における課題

通路パターン認識における大きな課題は、道路環境の条件によっては誤った判別をすること、すなわち「錯覚」をすることである。その種類は、大別して次の二つである。

- (1) 障害物が存在するにも拘わらず、障害物が無いと判別する場合。
- (2) 障害物が存在しないにも拘わらず、障害物が存在すると判別する場合。

いずれの場合も、認識対象の道路環境における明暗情報が種々の条件によって複雑に変化することが最も大きな原因である。

前者の場合は、天候等による照明変化や対象物の形状や色彩等の単純さなどの原因で、複数の明暗変化点が抽出されないことが最も大きな原因である。

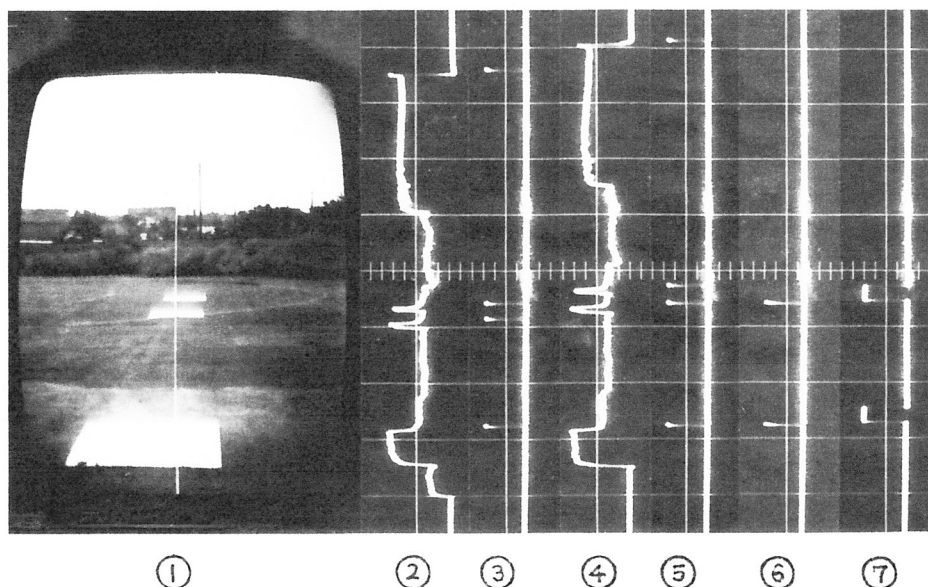


図 16 錯覚の例（路面上の模様を障害物として判別をしている。）

また後者の場合は、例えば路面の鮮明なマーク等の模様によって、結果として複数の明暗変化点が抽出されることが大きな原因である。その他、道路環境内の全く異なる対象から抽出された明暗変化点が、遅延処理によって偶然重なり、認識領域内の明暗変化点として処理され、結果として障害物と錯覚する場合がある。

その例を図 16 に示す。信号⑥に示すように、道路環境内の場所が全く異なる路面模様の明暗変化点が、遅延処理によって偶然に抽出された結果である。

自動車の自動運転では道路環境の認識は必要不可欠であるが、同時に認識対象である道路環境の複雑さの故に、認識方式に拘わらず上記のような錯覚の問題が生じる。それを如何に解決するか、あるいは減少させるかが最大の課題であると考えている。

7. おわりに

昭和 40 年代前半から始まった一般の道路環境等での自動運転技術の構想は、約 8 年の研究を経てテストコース内での実証実験で終了した。実験は成功して技術的な可能性は示されたが、同時に錯覚の問題など環境認識の難しさも明らかになった。

その後、この研究は別の研究グループに引き継がれ、機能アップや性能アップの研究がなされた。^{(8),(9),(10)} そして現在では、「1. はじめに」でも紹介したように国内外の一流自動車メーカーをはじめ、非自動車メーカーまでもが自動車の自動運転システムの開発に必死に取り組んでいる。

筆者が携わった頃の構想がいろいろの形で継承され、関連技術の目覚ましい進歩と相まって 40～50 年前には想像もつかなかった程に進展した。苦労した研究成果は今や見る影もないが、少なくとも構想そのものは現在も継承されており、その構想の萌芽の時期に研究の一端に携わることが出来たことに、大きな誇りと喜びを感じている。

本研究は、機械試験所の特別研究「自動車安全走行の制御系の研究」(昭和 42 年度～昭和 44 年度)、引き続き行われた特別研究「自動車安全走行の制御系」(昭和 45 年度～昭和 48 年度)、そして機械技術研究所の特別研究「人間－自動車－道路環境システムの安全性(1)」(昭和 49 年度～昭和 50 年度)の中で得られた成果の一部である。

本研究の実施期間中、多くの方々にご指導、ご助言、ご支援等を賜った。

まず研究の実施に当たっては、自動車安全公害部・菊池英一部長(故人)、同部交通システム課・松本俊哲課長(故人)、同部運動制御課・矢田恒二課長、猪俣真三郎主任研究官(故人)、鈴木康夫主任研究官、谷田部照男主任研究官、広瀬武志主任研究官、大山尚武主任研究官、池田喜一研究官、その他の多くの皆様からご指導やご助言等を頂いた。

また実験等では、芝浦工業大学や玉川大学の多くの研修生に多大なご協力を頂いた。

さらに本論文をまとめるに当たっては、東京工業大学・松島皓三助教授、長谷川健介教授、森政弘教授、梅谷陽二教授、小林彬助教授にご指導を賜った。

ここに重ねて深く感謝の意を表します。

【参考文献と注】

●参考文献の番号は両括弧付きと片括弧付の2種類があり、それぞれ次の通りである。

- (1) 平成 17 年警察白書
- (2) 松本俊哲：パラメترونによる交通制御系、自動車技術、Vol.18, No.3 (1964)
- (3) Y.Oshima, E.Kikuchi, M.Kimura, S.Matsumoto : Control System for Automatic Automobile Driving, Proceedings of IFAC Tokyo Symposium (1965)
- (4) 野崎、松本、谷田部、池田：安全走行のための通路パターン認識、機械技術研究所報告第 78 号 (1973)
- (5) 野崎：前方注視による自動車の自動操舵システムの特性、計測自動制御学会論文集、Vol.12、No.6 (1976)
- (6) 野崎：障害物の認識機能をもつ自動車の自動操縦に関する基礎的研究、機械技術研究所報告第 99 号、(1978)
- (7) 走行実験に成功 インテリジェンス・カー：機械研ニュース、No.4 (1976)
- (8) 広瀬：両眼視による立体障害物認識手法、計測自動制御学会論文集、Vol.19、No.8(1983)
- (9) S.Tsugawa et al. :An Intelligent Vehicle with Obstacle Detection and Navigation Function, Proc. IECON '84 (1984)
- (10) 谷田部、広瀬、津川：ビジョンシステムを持つ車両の自律走行制御、計測と制御、Vol.40、No.11 (1991)
- 1) U. S. Patent No.2317400
- 2) V. K. Zworykin & L. E. Flory : Electronics Guides Your Car, Electronics, April (1959)
- 3) Y. Chu and P. N. Buford : Land Vehicle Guidance by Radar, IRE, National Conventional Record (1959)95/112
- 4) 大串：自動車の自動操縦、科学朝日、Vol.15, No.13 (1955)48/51
- 5) 浅井、土生：無人電動運搬車、自動制御、No.3 (1955)55/56
- 6) H. M. Morrison, A. F. Welch and E. A. Hanysz : Automatic Highway and Driver Aid Developments, SAE Trans. (1959)
- 7) L. E. Flory, G. W. Gray, R. E. Morey, W. S. Pike and C. O. Caulton : Electronic Techniques in a System of Highway Vehicle Control, RCA Review (September 1962)293/310
- 8) R. E. Fenton, R. L. Cosgriff, K. W. Olson and L. M. Blackwell : One Approach to Highway Automation, Proceedings of the IEEE, Vol.56, No.4 (April 1968)556/566
- 9) 参考文献(3)に同じ。
- 10) 三木、牧野、永井、長谷川：自動車の無人走行に関する研究、トヨタ技報、Vol.20、No.1 (1968)64/78
- 11) 松本：欧米の自動操縦車をたずねて、自動車技術、Vol.25、No.1 (1971)

- 12) T. Ito, M. Furumata, F. Harashima, H. Inaba and S. Matsumoto : An Automatic Driving System of Automobiles by Guidance Cables, SAE Paper 730127
- 13) 古俣、伊藤、原島、稲葉、松本：自動操縦装置について、自動車技術、Vol. 28、No. 5 (1974)

●〔注〕について

〔注1〕：「知能自動車 (Intelligence - Car)」の命名は、昭和40年代前半頃のグループ内討論の中で持ち上がった。その頃、既に人工知能と云う言葉があつて先端的イメージが強かったことから命名については容易に賛同が得られた。一方で、そもそも「知能」とは何かという議論になり、その定義について文献調査が行われた。

種々の定義の中から、アメリカの心理学者ウェクスラーの定義、すなわち「知能とは、目的的に行動し合理的に思考し、その環境を効果的に処理するための個人の集合的なないし総体的能力」を見出し、これが知能自動車の知能に当てはまるのではないかと考えられた。

しかし、そのままでは表現が余りにも高度かつ難しいため、自動車に相応しい簡易な表現を検討した結果、「知能とは、合目的的に行動する能力」と定義することで議論は収まったように記憶している。

すなわち知能自動車は、道路環境内を安全かつ迅速に走行することを移動目的とし、通路パターン認識の機能によりその目的を達成すべく走行（行動）できる車であることから、簡易の定義を十分に満足している。

〔注2〕：図中の「自動操縦車」は「自動運転車」と読み替える。

著者略歴

昭和43年4月：通産省工業技術院機械試験所に入所、自動車安全公害部に配属、特別研究「自動車安全走行の制御系の研究」に従事。

昭和45年4月：特別研究「自動車安全走行の制御系」に従事。

昭和49年4月：特別研究「人間－自動車－道路環境システムの安全性（1）」に従事。

平成2年6月：機械技術研究所企画室長

平成5年4月：機械技術研究所ロボット工学部長

平成10年7月：岐阜県科学技術振興センター所長

平成12年7月：機械技術研究所首席研究官

平成15年3月：産業技術総合研究所定年退職

受理日：2016年4月8日