



自動運転今昔物語

—初期の自動運転システムで用いられた技術—

津川 定之(産業技術総合研究所)

1. まえがき

自動車を無人で走らせようという自動運転システムの最初の提案は、1939年に開催されたニューヨークの世界博でゼネラルモーターズが行った Futurama と名付けた未来の自動運転システムの展示であろう。1885年にガソリンエンジンで動く自動車が發明されて50年あまり後のことである。

自動運転に関する本格的な研究は、1950年代の米国で始まったが、その目的は、当初から明確で、オートメーションの導入による事故と渋滞の防止にあった。吹雪のフリーウェイで発生した悲惨な交通事故を知った、当時 RCA 副社長であったツボルキン(テレビの發明者)が提案したと伝えられる。

わが国では、おそらく米国からの影響で、1960年頃、当時の通商産業省工業技術院機械試験所(後の機械技術研究所、現在は産業技術総合研究所)で始められた研究が最初で

あろう。ちなみに1960年のわが国において、乗用車所有台数は現在の1%にも満たない46万台弱、乗用車年間生産台数は現在の2%の16.5万台であった。

筆者が機械技術研究所に入所したのが1973年で、爾来、自動運転をはじめとする先進車両制御安全システム(AVCSS: Advanced Vehicle Control and Safety Systems)の研究に従事している。モーターリンク編集担当者からの依頼に応えるべく、ここでは研究所に残された資料や筆者の経験に基づいて1960年代から1980年代前半までの自動運転システムで用いられたセンシングと制御の技術について紹介したい。

2. 1960年代の自動運転システム

1960年代に機械試験所で開発された自動運転システム(図1)では、車両の走行コースを示す誘導(inductive)ケーブルを路面に埋設し、このケーブルに交流電流を流し、

発生する交流磁界を車両前バンパ両端に装着した一対のピックアップコイルで検出し(図2)、コースずれを求めて操舵制御を行った。操舵量を求めるコンピュータはアナログコンピュータ(図3)で、制御アルゴリズムは、古典制御理論によるPD制御であった。現代制御理論は作られたばかりで車両制御への応用が始まったのは1970年代のことである。

前バンパの位置で測定したコースずれ情報だけで操舵を行うとコース追従特性が悪く、車両のヨー角も操舵制御に使う必要があった。当時はジャイロが容易には利用できなかったらしく、ヨー角は、後ろバンパにも一対のピックアップコイルを装着し、車両の前部と後部のコースずれから測定した。コース追従特性と乗り心地を両立させるためには現代制御理論による操舵制御の設計が必要であるという研究は、1990年代になって行われている。



図1: 1960年代の自動運転システム



図2: ピックアップコイルと誘導ケーブル



図3: 助手席のアナログコンピュータ

この自動運転システムは、1963年頃には 50-60km/h で、1967年には 100km/h で走行している。

3. 1970年代の自動運転システム

1960年代の誘導ケーブルを用いたシステムの欠点は、外部から給電が必要な設備を道路に設置する必要があった点である。このような欠点がない自動運転システムとして1970年代になってマシンビジョン（コンピュータビジョン）による自動運転の研究が機械技術研究所で始まった。日本名“知能自動車”，英語名“Intelligent Vehicle”をもつこの自動運転システム（図4）は、世界初のシステムであった。

知能自動車の研究は、マシンビジョンだけで自動運転を行った第1期（1970年代）と、デッドレコニング機能を追加した第2期（1980年代前半）に分かれる。知能自動車のマシンビジョンは、路面のレーンマーカではなく、路上の3次元物体を検出するものであり、第1期では、ガードレールを検出しそれに沿って走行する実験を、第2期ではマシンビジョンを障害物検出に使用し、デッドレコニングと走路の地図データベースを用いて目的地まで自動走行する実験を行った。

知能自動車のマシンビジョン（図5）はステレオで、視差に基づいて障害物の存在とそこまでの距離を検出した。図6はその検出結果で、走路中央のレーンマーカは検出されておらず、走路左側のガードレールが検出されているのがわかる。

まず、マシンビジョンから詳しく説明をしよう。1970年代では、現在のように画像をメモリに取り込んでコンピュータで処理を行う、ということは大型コンピュータでこそ可能になりつつあったが、やっと8ビットのマイクロプロセッサが出始めたところで、車上では到底不可能なことであった。知能自動車のマシンビジョンで採用したのはTVカメラからのビデオ信号を二値化し、ICを使った論理回路で直接に処理して障害物を検出する方式で、したがってこのマシンビジョンはリアルタイムで障害物を検出することができた。TVカメラは、CCDカメラではなく電子管式カメラで、その走査方式も通常の飛び越し（インタレス）走査ではなく、順次（プログレシブ）走査で、さらに走査方向も水平でなく垂直に改造して用いた。これらの改造は、すべて障害物検出アルゴリズムのためであった。

第1期の知能自動車では、障害物

の位置に基づいて操舵量を求めたが、その演算には8ビットのマイクロプロセッサ（モトローラ6800シリーズ）を用いた。複雑な数値演算は時間がかかるため、障害物の位置をキーワードとして操舵量を記憶させたテーブルを検索するテーブルルックアップ方式を用いた。プログラムは機械語で記述した。第1期の知能自動車は1978年に約30km/hで走行した。

第2期の知能自動車にもたせたデッドレコニング機能は、両後輪に装着したロータリエンコーダに基づくものであった。当時GPSはまだ存在しなかった。このロータリエンコーダは、車輪のブレーキドラム



図6：道路シーン（上）と検出されたガードレール（下）



図4：“知能自動車”



図5：知能自動車のマシンビジョン



図7：第2期知能自動車の内部

のフリンジに等間隔に 120 個の歯を削り、バックプレートに光電スイッチを装着して構成したものであった。ロータリエンコーダで計測した両後輪の速度から車両のキネマティクス（幾何学的関係）に基づいて車両の位置と方位を求めたが、そのコンピュータには、当時入手可能になり始めた DEC 製 PDP11 の LSI 版である LSI-11（16 ビット）を用いた。操舵制御アルゴリズムは、デッドレコニングと走路の地図データベースに基づくものを開発し、操舵量の演算にも LSI-11 を用いた。プログラムは、複雑な数値演算の部分は Fortran で、そのほかの部分はアセンブラで記述した。図 7 は第 2 期の知能自動車の内部で、LSI-11 を含むコンピュータ本体、CRT、磁気カートリッジテープ装置、走行軌

跡を記録するための XY プロッタなどが見える。第 2 期の知能自動車は、1984 年に障害物検出・回避を行いつつ指定された目的地まで約 10km/h で走行した。ここで開発した操舵アルゴリズムは、マシンビジョンで検出したレーンマーカに沿って走行する場合や、先行車に追従するプラトーンで走行する場合にも適用できるように拡張し、2000 年にデモを行った 5 台の自動運転車両を車車間通信で結んだ協調走行においても用いた。

4. あとがき

1960 年代のシステムは“本邦初演”であったが、1970 年代のシステムは“世界初演”であり、1979 年に筆者らが人工知能国際会議で発表した知能自動車に関する論文

は、現在でも引用される。また、米国では 1994 年まで ITS (Intelligent Transportation Systems) を IVHS (Intelligent Vehicle-Highway Systems) と称していたが、その由来は、IVHS の命名者であるミシガン大学の Kan Chen 教授（当時）によれば、知能自動車の英語名 “Intelligent Vehicle” に “Highway” を付加したものの由である。知能自動車は、その後世界各国で開発されたマシンビジョンを用いた自動運転システムの嚆矢となっただけでなく、ITS や AVCSS に与えたインパクトも小さくはなかった、と自負している。

この小論が若い学生諸君に温故知新の一助となることを筆者は願っている。