

長野県産業教育振興会長 様

## 令和 4 年度 特別生徒研究助成 報告書

### 研究テーマ：マイコンカーの開発

長野県飯田OIDE長姫高等学校  
電子機械工学科 小木曾 太論

#### 1. 研究の動機

本校電気部では毎年マイコンカーの研究と製作に取り組んでいる。本校で取り組むマイコンカーは全国工業高等学校長協会主催のジャパンマイコンカーラリー大会 Advanced Class 競技規則に沿ったものであり、毎年同大会に挑戦している。近年、本校電気部は大会での成績が向上しており、安定して地区大会を勝ち抜いて全国大会に進出できるようになってきた。しかし、全国大会では上位への進出が難しい状況が続いている。今年度はタイムアップの要素としてライントレース制御の改善に絞って研究をおこなった。

#### 2. 研究内容

##### (1) ライントレースについての考察

ジャパンマイコンカーラリー競技規則によるコース規格を図 1 に示す。マイコンカーはコースの中心に引かれた白色（幅 20mm）と灰色（幅 40mm）を頼りにしてライントレース走行するのが一般的である。Advanced Class のマイコンカーでは、大多数のマイコンカーが「アナログセンサ」とも呼ばれるフォトインタラプタを用いて中心線の検出をおこなっている。このセンサは光の反射量を電圧信号に変換するもので、コース表面の色の变化を細かく検出することができる。本校でもこのセンサを用いてライントレースをおこなっている。

フォトインタラプタ（アナログセンサ）とコースとの間隔を一定（3mm 程度）に保ちながら、アナログセンサをマイコンカーの進行方向に対して横方向へ移動させるとき、コース面の色とアナログセンサ出力電圧の A/D 変換値の関係を模式的に図示したものが図 2

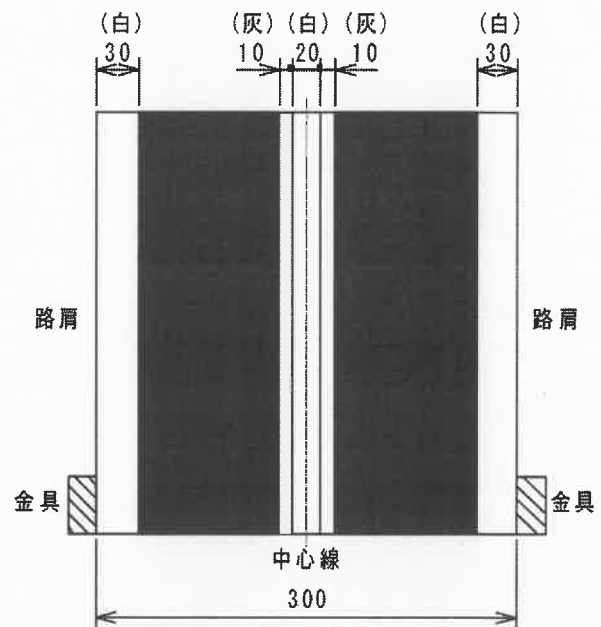


図 1 ジャパンマイコンカーラリーのコース規格  
(競技規則より)

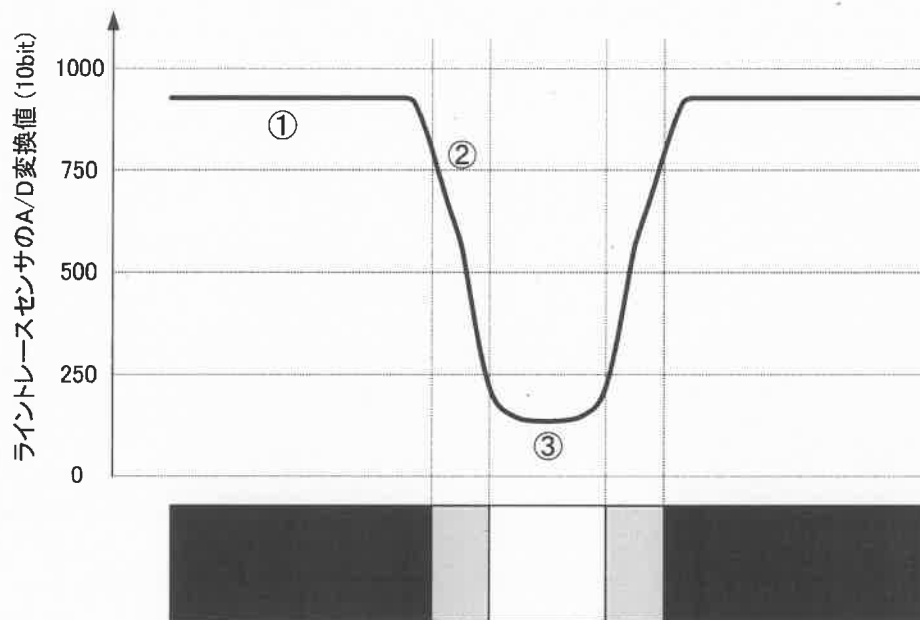


図2 コース面の色とライトレーサセンサ（アナログセンサ）出力の関係

である。コース面からの光の反射が少ない黒色部分（①）ではアナログセンサの出力電圧が高くなり、A/D変換値は1023に近い値となる（A/D変換の分解能を10bitとした場合）。黒色から灰色に差し掛かる部分（②）ではコース面からの光の反射が徐々に増加するため、アナログセンサの出力電圧は低下し始め、これに伴ってA/D変換値も低下していく。更に白色に差し掛かる部分（③）ではコース面からの光の反射が最大に達し、これに伴ってA/D変換値が最小となる。コースの中心を超えてアナログセンサを更に移動させていくと、コースの色が次第に暗くなるに連れて真逆の特性でA/D変換値が上昇すると予想できる。

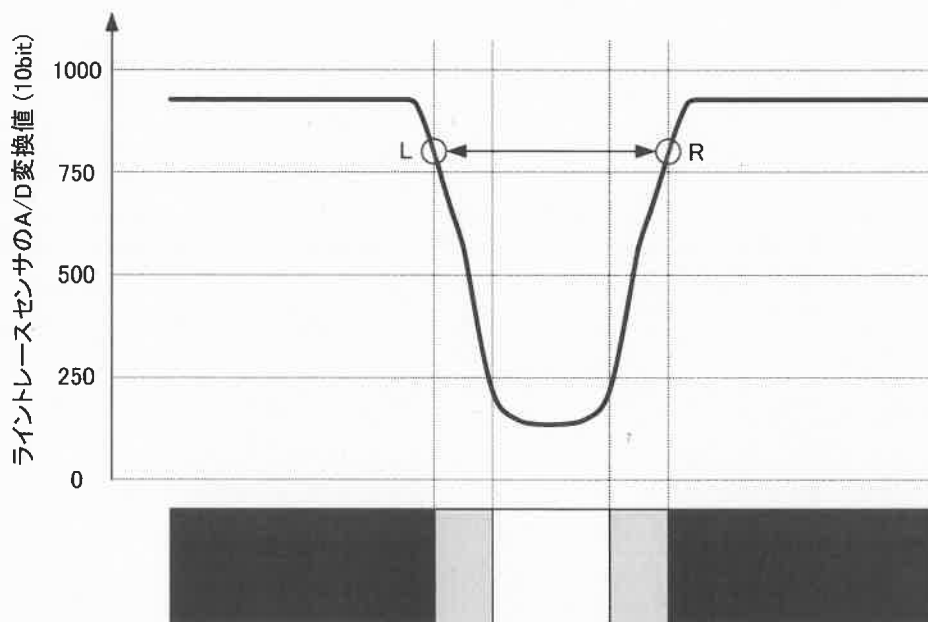


図3 センサがコースの中心にある状態（センサ間隔40mm）

Advanced Class のマイコンカーで使用するセンサ基板には、左右に1つずつアナログセンサを配置するのが一般的である。両アナログセンサの間隔は、センサの位置がちょうど黒色と灰色の境目となる40mmで設計することが広く知られている。図3は、アナログセンサを40mm間隔で配置し、センサがちょうどコースの中心を捉えている（左右にずれていない）状態を示したものである。このとき左のセンサ（L）と右のセンサ（R）のA/D変換値は等しくなり、比例制御によるライトレースでは制御量が発生しない（ハンドル制御のサーボモータは動かない）。

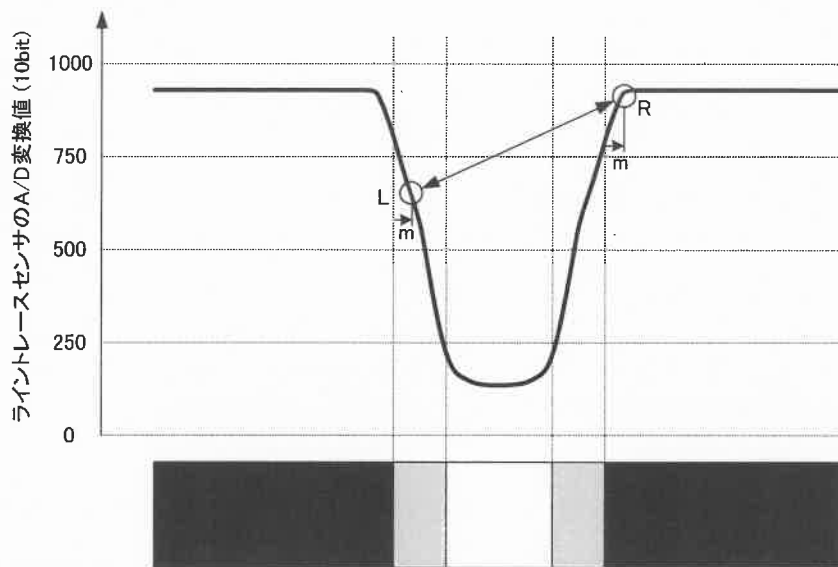


図4 センサがコースの中心から右に変位した場合（センサ間隔40mm）

図4は、図3の状態からセンサ基板が右へ距離 $m$ だけ変位した状態を示している。左センサ（L）は変位に伴って灰色の領域へ入るためA/D変換値が低下し、右のセンサ（R）は黒色の領域に入るためA/D変換値は上限近くまで上昇する。左右のセンサ出力は平衡を失うため、両センサの出力が平衡する（図3の状態になる）ようにサーボモータには左へハンドルを切る信号が出される（比例制御による）。

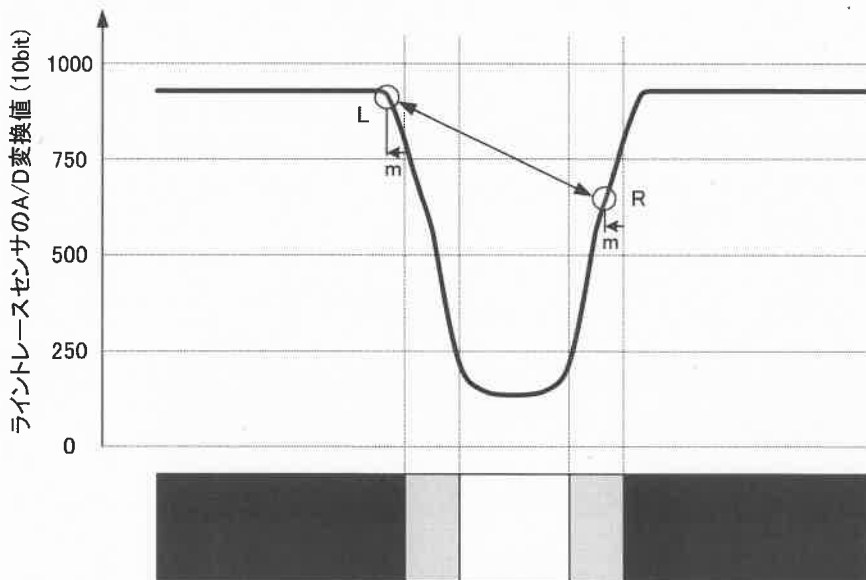


図5 センサがコースの中心から左に変位した場合（センサ間隔40mm）

図5は、図3の状態からセンサ基板が左へ距離mだけ変位した状態を示している。左センサ(L)は黒色の領域に入るためA/D変換値は上限近くまで上昇し、右のセンサ(R)は変位に伴って灰色の領域へ入るためA/D変換値が低下する。左右のセンサ出力は平衡を失うため、両センサの出力が平衡する(図3の状態になる)ようにサーボモータには右へハンドルを切る信号が出される(比例制御による)。

このように、アナログセンサを40mmの間隔で配置して比例制御によるライントレースをおこなうと、センサの位置が中心から右もしくは左へわずかに変位ただけで左右のセンサ出力は平衡を失うことがわかる。その結果、サーボモータはセンサの平衡状態に戻ろうとしてほぼ常時右もしくは左への回転を繰り返すことになる。このことは、たとえ直線を走行している場面であってもセンサ基板が細かく振動しながら走行することを示している。

本校のマイコンカーは、直線からカーブに進入する際、左右センサの平衡状態が急激に失われることに注目してカーブに差し掛かったことを検出している。しかし、センサ間の距離を40mmとした場合には、上記のようにセンサがほぼ常に左右どちらかに変位した状態にあるため、センサの平衡状態がわずかに崩れただけではカーブに進入したかどうかを判断できない。そこで、直線走行中の左右のセンサが極力平衡状態を維持できるように、センサの配置を変更することにした。

## (2) センサ配置の変更とその効果

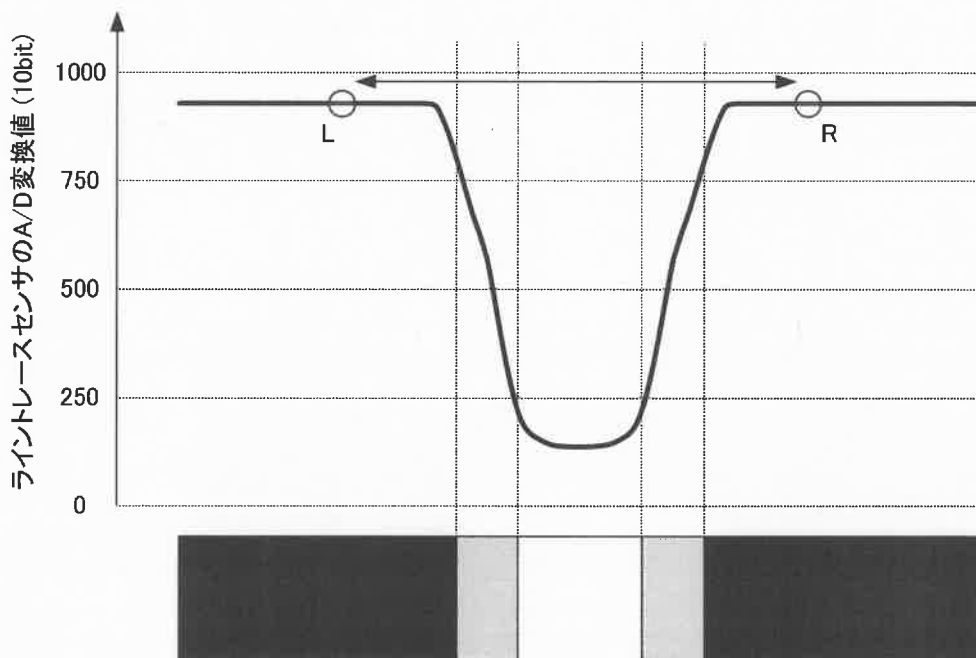


図6 センサの間隔を広くしたセンサ配置 (センサ間隔 45mm)

図6は今年度新たに製作したセンサ基板のセンサ配置を示している。左右のセンサの間隔は45mmとしている。このセンサ間隔では、コース上にセンサ基板を置いたとき、左右のセンサがともに黒色の上にある。両センサの出力はほぼ同じ値となり、平衡した状態となっているため、比例制御をおこなってもサーボモータへの制御信号はほぼ発生しない。

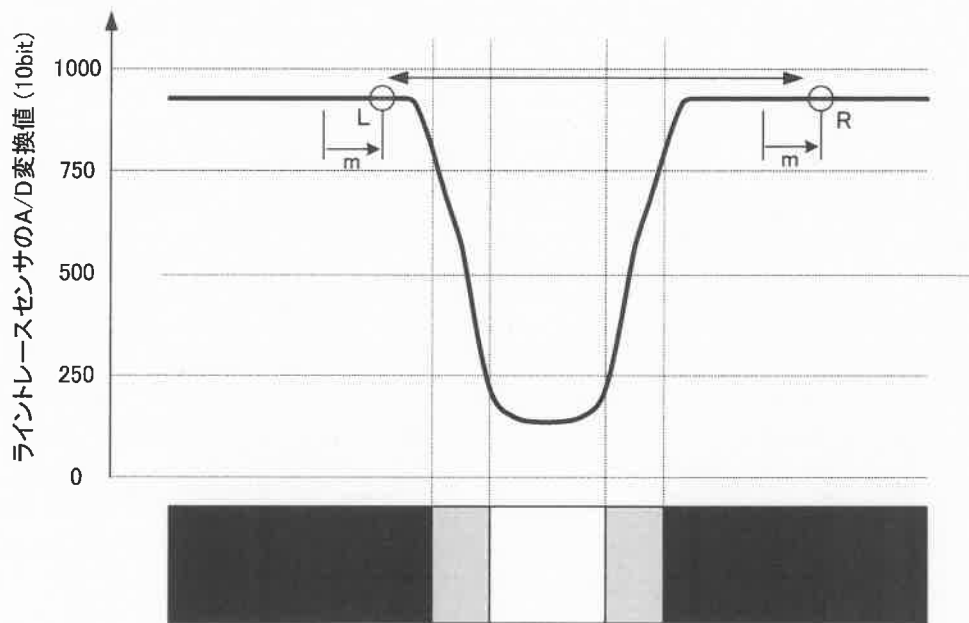


図7 センサが右に変位した場合 (センサ間隔 45mm)

図7は、図6の状態からセンサ基板が右へ距離 $m$ だけ変位した状態を示している。センサの間隔を40mmとした図4の状態では、センサがわずかに右へ変位しただけで左右のセンサの均衡が崩れたが、図7を見ると同じように距離 $m$ だけ右へ変位したにも関わらず左右のセンサの均衡は保たれている。

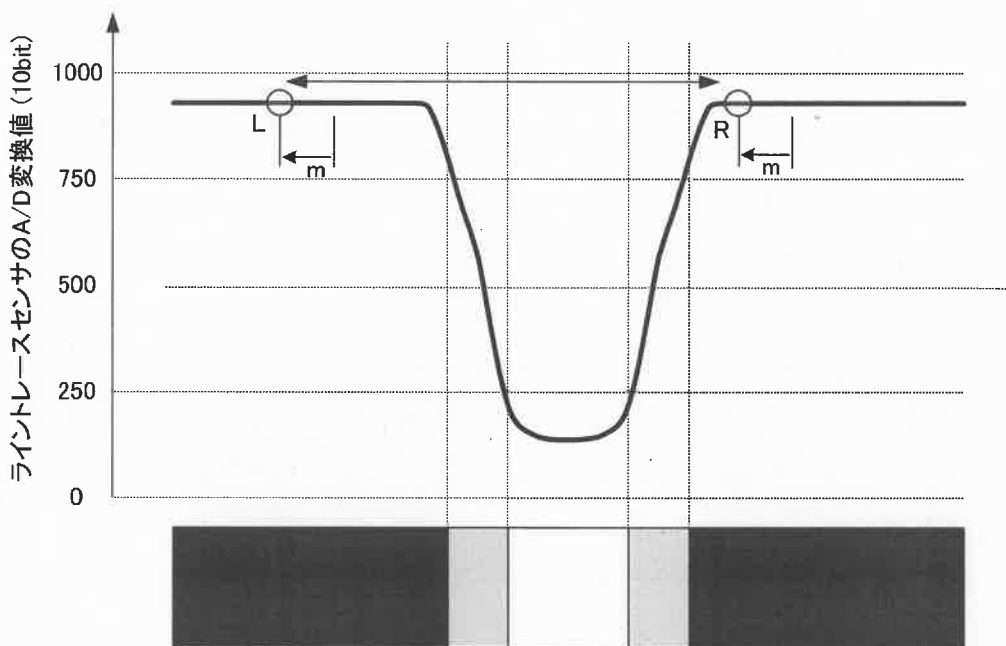


図8 センサが左に変位した場合 (センサ間隔 45mm)

図8は、図6の状態からセンサ基板が左へ距離 $m$ だけ変位した状態を示している。図7の場合と同様に、センサの位置が左に変位したにも関わらず左右のセンサの均衡は保たれている。図7および図8のような状態であっても、このセンサの配置であれば比例制御によるサーボモータの回転はほぼ発生せず、静かなライトレースになることがわかる。

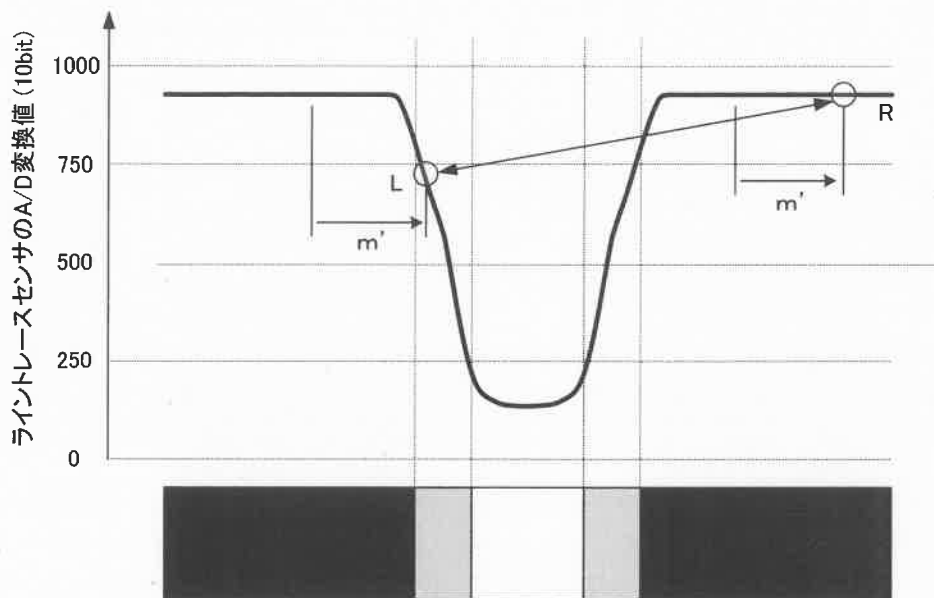


図9 センサが右に大きく変位した場合（センサ間隔 45mm）

図9は、図7の状態より更に大きくセンサ基板が右へ距離 $m'$ だけ変位した状態を示している。図7のようにセンサ基板がわずかに右へ変位しただけでは左右のセンサの平衡は維持されるが、図9のようにセンサ基板が大きく右へ変位すると左センサ（L）は変位に伴って灰色の領域へ入るためA/D変換値が低下し始める。その結果、図9のように左右のセンサの平衡状態は崩れ、比例制御によるライントレースでは両センサの出力が平衡するようサーボモータを左へ切る信号が出される。

このことから、左右のセンサの間隔を広めに設計することで直線走行時等のライントレースが安定し、必要な場面では比例制御によるライントレースが可能であることがわかる。この考えに基づいて実際に基板を設計・製作し、走行テストをおこなった。

### (3) 新しいセンサ基板の設計・製作と走行結果

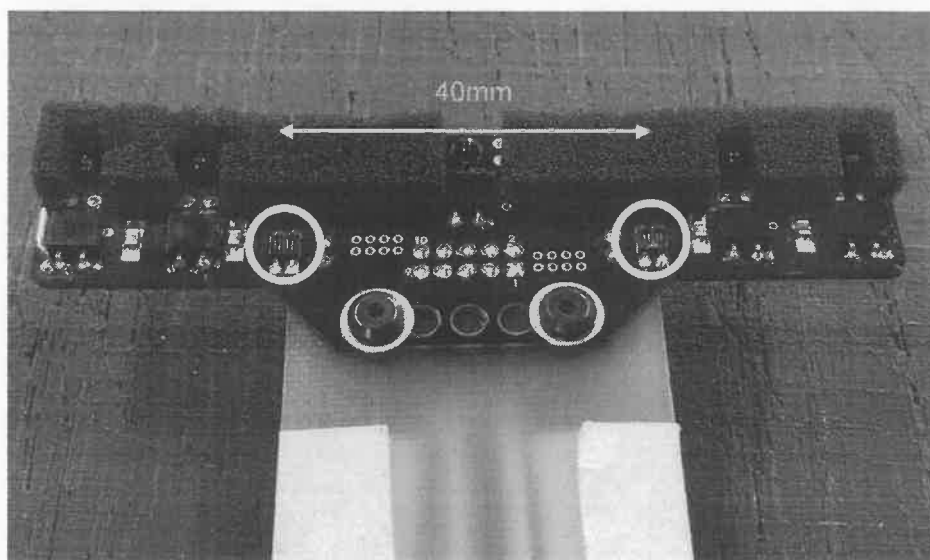


図10 市販のセンサ基板（センサ間隔 40mm）

図10は、(株)日立ドキュメントソリューションズより販売されている「アナログセ

ンサ基板 TypeS」を組み立てた状態である。この基板上的アナログセンサは左右の間隔が40mm となるように設計されている。

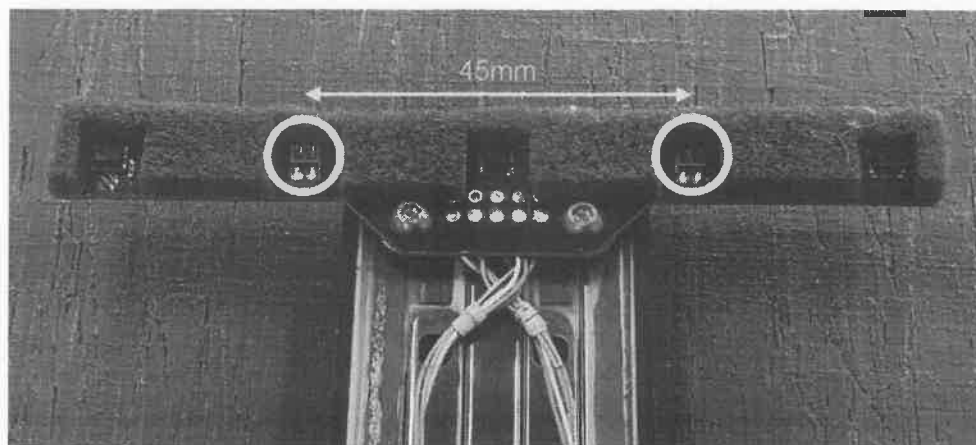


図 1 1 新規に設計・製作したセンサ基板（センサ間隔 45mm）

図 1 1 は、今回新規に設計・製作したセンサ基板で、アナログセンサの左右の間隔は45mm となっている。

図 1 2 は、新しいセンサ基板を搭載したマイコンカーが右カーブに進入する瞬間を示している。このとき、センサ基板部分は既にカーブへ進入し始めている。コース中心の灰色、白色のラインに対して、センサ基板は図の右側（進行方向に向かって左側）へ変位を始めている。右側のアナログセンサは黒色から灰色を超えて白色部分近くまで到達しており（黄色の○印部分）、左右のアナログセンサの出力値は図 9 に示した状態よりも大きな不平衡となっている。従って、このとき比例制御によりサーボモータには大きな右回転信号（PWM）が発生してハンドルを右に切ることができる。

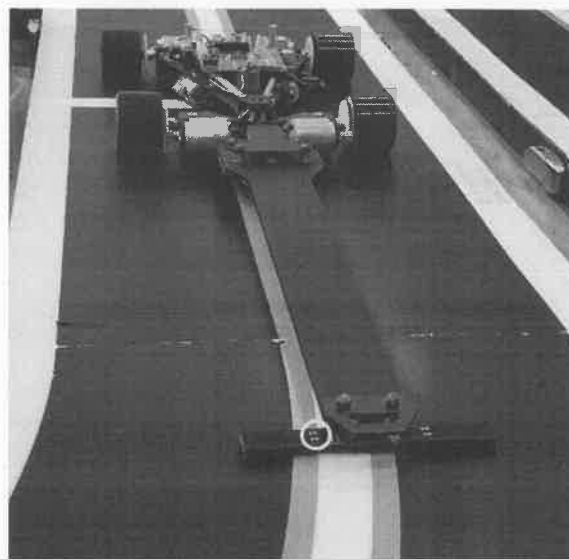


図 1 2 右カーブに進入するマイコンカー

図 1 3 は、新しいセンサ基板を搭載したマイコンカーが直線を走行している時の状態である。左右のアナログセンサは黒色の上に位置しているのが分かる（黄色の○印部分）。従って、図 6, 図 7, 図 8 に示したとおり、この状態では左右のアナログセンサの値が平衡しており、比例制御によるサーボモータの動作はほとんど発生しない。

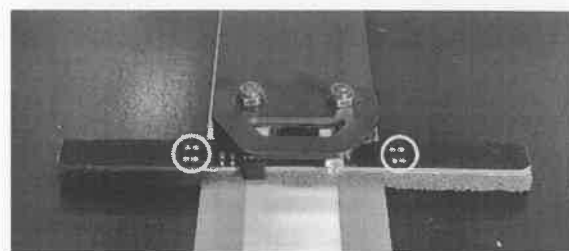


図 1 3 直線走行時のセンサ位置

表1 直線からカーブに進入する時の実際の走行データ

No.	ハンドル切角 (A/D変換値) 正：右 負：左	左センサの値 (A/D変換値)	右センサの値 (A/D変換値)	サーボモータの PWM 正：左 負：右
1	-4	246	237	-1
2	-3	245	241	-2
3	-2	244	240	-1
4	-2	245	238	-4
5	-2	245	233	-7
6	-2	245	233	-9
7	-1	243	241	-4
8	-2	247	232	-18
9	1	246	192	-59
10	9	246	195	-100
11	19	246	199	-32

表1は、新しいセンサ基板を搭載したマイコンカーが直線からカーブに進入した時の実際の走行データである。走行中、10ms 間隔で、ハンドルの切角（中心を0とした分解能8bitのA/D変換値、正の値：ハンドル右、負の値：ハンドル左、-255～+255）、左アナログセンサの値（分解能8bitのA/D変換値0～255）、右アナログセンサの値（分解能8bitのA/D変換値0～255）、サーボモータに加えた電圧（PWMデューティ比、正の値：左回転、負の値：右回転）を記録した。

データNo. 1～7までは、マイコンカーが直線を走行している。この間、左右のアナログセンサの値の変化は少なく、ステアリングモータのPWM値も小さいことが確認できる。このことから、直線走行ではライトレースが極めて安定していることが分かる。

データNo. 8～11では、徐々に右カーブへ進入している。No. 8のデータでは、右センサの値が232へ低下し、サーボモータのPWM値が-18に急上昇している。更に、No. 9、No. 10のデータでは右センサの値が急激に低下する（黒色から灰色、白色の領域に進入している）のと同時に、サーボモータのPWM値が最大で-100（全速右回転）まで上昇しているのが分かる。

以上のことから、新しいセンサ基板はその狙い通り直線走行の安定性を高め、カーブではコースを追従して走行できることが分かった。

### 3. まとめ

新しいセンサ基板は、2023年1月に開催されたジャパンマイコンカーラリー全国大会から使用を開始した。この大会の予選走行で、2回の走行ともに本校のマイコンカーが最速のタイムを記録した。前年11月に開催されたジャパンマイコンカーラリー北信越地区大会では僅差で敗れた相手も上回る記録となった。このことから、新しいセンサ基板はマイコンカーの安定化と高速化に一定の効果があったと思われる。今後は、左右のセンサ距離を更に広くした場合の考察などを加えながら、ライトレースセンサとしての完成度を向上させていきたい。