

農作業車両自律走行作業支援システムの開発

中西 洋介, 多田 達実, 桑野 晃希, 高橋 裕之, 三戸 正道
牧野 功, 野口 昇*, 石井 一暢*, 野村富士男**, 山下 和明**

Development of Agricultural Work Supporting System by Autonomous Traveling Control of Agricultural Vehicle

Yohsuke NAKANISHI, Tatsumi TADA, Kouki KUWANO
Hiroyuki TAKAHASHI, Masamichi MITO

抄 録

農作業および散布作業の自動化を目的とし、GPSおよび光ファイバジャイロFOGを使用した自律走行型農作業履帯車両を開発した。ここでは、急傾斜地における自律走行、CAN（Control Area Network：車載ネットワーク）バス通信による精密農法施肥作業、および任意経路走行試験を行った。さらに、雪上での融雪剤散布試験によって本法の有効性を実証した。

キーワード：自律走行、履帯トラクタ、GPS、FOG、精密農法、CAN

Abstract

The purpose of this investigation is to automatize the agricultural work. Work supporting system by autonomous traveling control of agricultural vehicle was developed, using Global Positioning System and fiber optic gyroscope.

In this research, the technique of autonomous traveling control in the steep sloped hill, Precision Farming work by Control Area Network and traveling along the arbitrarily curved path were carried out. Furthermore, the effect of this method was proved by the dispersion test of fusible powder for snow.

KEY-WORDS : autonomous traveling, crawler tractor, global positioning system, fiber optic gyroscope, precision farming, control area network

1. はじめに

農林水産省農林業センサスの調査によると、平成12年度の道内農業事業体数は69,841戸となっており、10年前と比較して27%減少している。また、後継者のいない農家の割合も7

* 北海道大学

**石狩造機株式会社

事業名：受託試験

課題名：大規模農業向け精密自律走行作業システムの開発研究

割に達し、早急なる農作業の自動化が求められている。一方、近年、欧米では環境問題対策・省エネルギー化を目的とし、圃場内地力マップ等のデータベースを参照しながら場所に応じて肥料・農薬等を調整散布する精密農法（Precision Farming）が実行段階に達しており先進的成果を挙げている。本研究は本道における圃場内農作業一般、さらには精密農法農作業（PF作業）の自動化を図ることを目的に、散布量調整機能付き作業機を搭載した農作業車両自律走行作業支援システムを開発するものである。なお、ここでは一般圃場内農作業はもとより四輪トラクタでは進入困難な急斜度丘陵地での農作業、さらには、雪上での融雪剤散布作業の自動化もその目的とし

ているため、傾斜地あるいは軟弱地盤上を安定して走行できる履帯駆動方式トラクタを自律走行型に改良した。

まず、自律走行型履帯トラクタの開発に関して記述し、次に車両の自律走行制御性に関して論ずる。はじめに、車両の自律走行制御用センサとしてリアルタイムキネマティックGPSおよび光ファイバジャイロを使用する場合の問題点を抽出し、同問題点を解決するための一つの手法を提案する。また、傾斜地走行試験結果を示した後、本研究で採用した任意経路追従アルゴリズムに関して記述する。最後に、車載ネットワーク（Control Area Network）を用いた自律走行農作業支援システムのシステム構成を示し、実証試験として行った同システムによるPF作業試験および融雪剤散布試験の結果を示す。

2. 試験車両および自律走行制御方法

2.1 センサおよび制御則

2.1.1 センサ

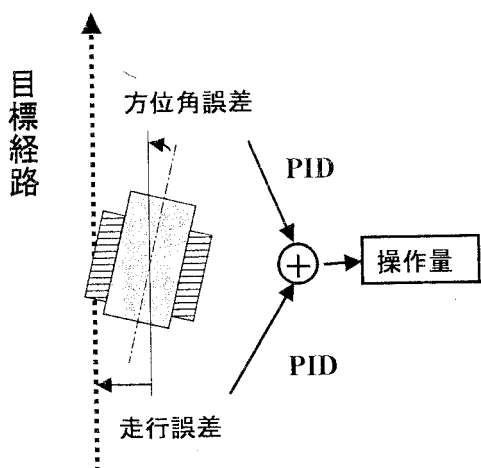


図 2.1 自律走行制御方法

図 2.1 に示すように、車両を目標とする経路にしたがって自律的に走行させるためには、逐次車両の位置および方位角（ヨー角）を計測し、目標経路からの走行誤差および方位角誤差が常に零となるように走行制御する必要がある。本研究では、車両位置計測用に高精度リアルタイム・キネマティック方式-GPS（Global Positioning System, Trimble社：MS750）を、また、方位角計測用に光ファイバジャイロ（Fiber Optic Gyroscope, 日本航空電子（株）：JD-108FD）を使用した。

自律走行試験に先立ち、これらセンサの性能確認試験を行った¹⁾。GPSに関しては1時間の定点測定の結果、最大±2cmの誤差が観察された。この誤差は高周波領域にあるため、車両方向操舵機構等のメカニカルな部分が高周波成分に追従できない。す

なわち、機構部がローパスフィルタの役目を果たすため、フィルタリング処理を行わずともGPS計測値を直接自律走行用フィードバック情報として使用可能である。

光ファイバジャイロ（FOG）に関しては、温度変化の少ない室内で静止させ、その出力を30分間計測したところ、最大約2度の温度ドリフトが観察された。同ドリフトが車両の自律走行制御性に及ぼす影響に関しては、第3章で詳述する。

2.1.2 制御則

走行制御は車両の自律走行制御方法として最も一般的な方法、すなわちGPSからの位置情報およびFOGからの方位角情報をフィードバック情報としてPID演算²⁾し、両者の演算結果の加算値を方向制御用アクチュエータへの操作量とする方法とした。

2.2 操舵機構

本試験車両には、様々な履带式車両で採用されている油圧式トランスミッションHST(Hydrostatic Transmission)が左右輪別々に設置されている。これら左右輪のHSTレバーを電気式DCモータで細かく位置決めすることで任意の速度および方向に車両を走行制御することができる。すなわち、レバー位置制御により簡便に車両の方向および速度が制御可能である。

自律走行制御を担うCPUは多数のポートにアクセスし、また演算処理にも相応の処理時間を必要とする。したがって、ここではCPUの負担を軽減するため、HSTレバー位置決め制御系をオペアンプ等のハードウェアで構成した。図 2.2 に設計・試作した位置決め制御回路ブロック線図を示す。レバー現在位置（角度）は、アブソリュート方式のロータリーエンコーダで検出され、差動増幅器で自律走行制御用CPUからのレバー位置指令と比較される。この差分はオペアンプで構成されるPID補償器を経た後、速度制御型サーボドライバへ入力される。図 2.3 にHSTに取り付けられたモータおよびロータリーエンコーダを示す。

図 2.4 に本回路による位置決め試験結果を示す。図中細線はレバーへの位置（角度）指令、太線はレバー角度を示す。図からステップ状の位置指令に対して約1秒の整定時間を要することがわかる。これは、主に小出力モータにて所定のトルクを得るために減速比を大きく取ったためである。当初、

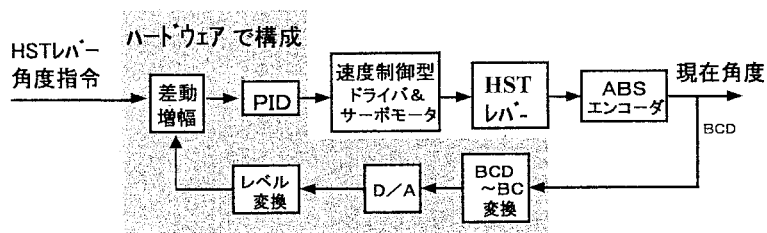


図 2.2 HSTレバー位置決めブロック線図

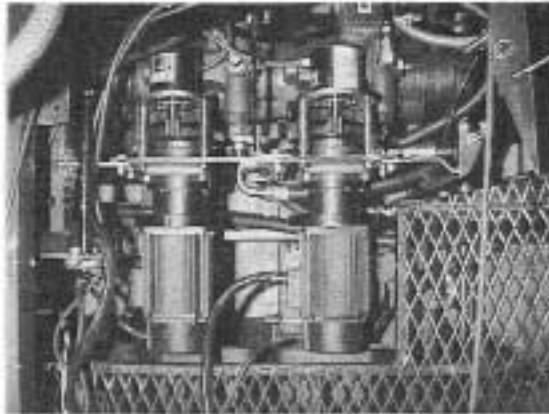


図 2.3 HSTおよびHST駆動モータ

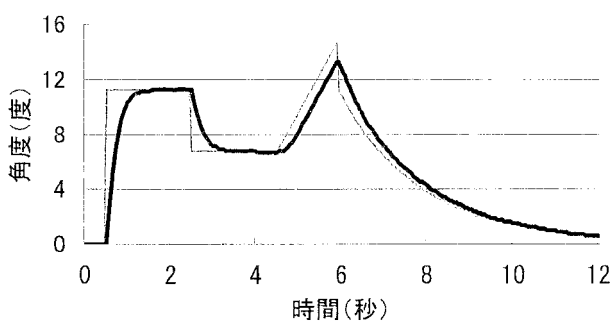


図 2.4 HSTレバー位置決め制御実験結果

HSTレバー位置決め制御系の応答性の悪さが、車両の自律走行制御性に与える影響が懸念されたが、実際に車両を自律走行させた結果、特に応答性に起因する不具合は観察されなかった。すなわち、応答性も含め、本位置決め制御回路にて不都合なく車両操舵が可能であることが確認できた。

2.3 試験車両

図 2.5 に本研究の予備試験として使用した小型自律走行履帯トラクタを示す。8馬力ガソリンエンジンを搭載し、最大車速は毎秒約300mmである。図 2.6 に本研究の実証試験として使用した履帯トラクタを示す。同トラクタは市販の融



図 2.5 8 P S 小型履帯トラクタ

雪剤散布機を自律走行制御可能となるように改良したものであり、25馬力ディーゼルエンジンを搭載し、最大車速は毎秒約3.9m（時速14km）である。



図 2.6 25 P S 市販履帯トラクタ

3. 自律走行制御試験

3.1 小型履帯トラクタによる走行制御性確認試験

高速で車重の大きい市販履帯トラクタを用いた走行試験に先立ち、軽量小型履帯トラクタで走行試験を実施し、走行制御にGPS・FOGを使用した場合の問題点を抽出し、自律走行制御アルゴリズムを確認した³⁾。

3.1.1 走行経路

走行制御性確認試験は車両を秒速250mmで走行させ、直線距離30mを畝幅2.5mで2往復させることにより行った。なお枕地旋回は履帯駆動方式車両の特徴を活かし、「90度超信地旋回（左右履帯を逆方向に駆動）」→「2m直進走行」→「同方向に90度超信地旋回」という手順で行った。

また、走行目標地点は走行開始地点に対する「相対位置」

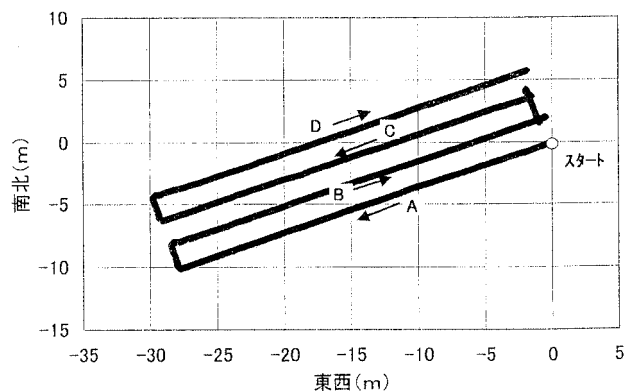


図 3.1 小型履帯トラクタ走行軌跡 (GPS計測値)

として設定した。すなわち、走行開始地点を原点とした東西南北座標（例：「東にX m, 北にY m」）で目標地点を設定した。

3.1.2 FOGドリフトの影響

本研究では車両方位角計測センサとしてFOGを使用している。FOGはS/N比および安定性が高い反面、その出力値に温度ドリフトを含む。また、FOG検出素子から直接出力される値は角速度であり、それをFOG内回路で積分して角度出力値を出力している。したがって、車両が旋回を繰り返すと積分誤差に起因する累積ドリフトがFOG角度出力値に加算される。そこで、これらのFOGドリフトによる誤差が自律走行制御性に与える影響を調べるため、FOG角度出力値をそのままフィードバック情報として利用して自律走行制御試験を行った。

図3.1に小型履帯トラクタを自律走行させた時のGPS計測値を示す。本試験では傾斜補正を掛けていないが、RTK-GPSの計測誤差が最大±2 cmであり、また試験場所がほぼ平坦であることから、図に示す計測結果は実際に車両が走行した軌跡と考えて良い。図3.2に、図3.1に示した直線経路B～Dにおける(a)方位角誤差、および(b)走行誤差を示す。ここで、

「方位角誤差」： FOG計測値と目標方位角φの差

「走行誤差」： 目標方向に対して直角方向の目標直線経路からのズレ量

である。またそれぞれの正負は、

(a)方位角誤差

正：右方向 負：左方向

(b)走行誤差

正：進行方向に対して右側 負：進行方向に対して左側としている。

経路B、C、Dへと進むにしたがって、方位角誤差は負方向へ、走行誤差は正方向へ漸増している。すなわち、方位角誤差とともに走行誤差も漸増し、最終直進走行区間である経路D（走行開始より8～10分経過）では、走行誤差が+350

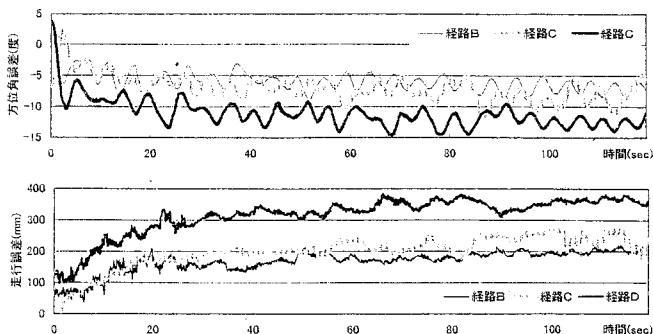


図3.2 直進走行制御性（FOGドリフト補正無）

mmとなっていることが分かる。走行誤差が正方向に漸増する現象は、

- ①FOGが負方向にドリフト
 - ②目標方向が真の目標方向より右方向であると誤認識し、右方向に走行
 - ③車両が計画経路の右側を走行し、正方向の走行誤差が発生
 - ④正の走行誤差により生ずる操作量により車両は左方向に走行
 - ⑤FOGが負の出力を出す
 - ⑥正の走行誤差による操作量と負の方位角誤差による操作量が釣り合って走行
- という流れで説明することができる。

この結果は、車両自律走行制御フィードバック情報としてFOGを使用する場合、その出力ドリフトは、目標経路からのオフセット走行誤差として走行制御性能に悪影響を及ぼすことを示すものである。これは畝列走行作業を想定した場合、時間がある程度経過すると作物を踏みつけながら走行することを意味する。

3.1.3 FOGドリフト補正アルゴリズム

前節の検討結果から、自律走行にGPSとFOGを使用する場合、FOGの出力ドリフトが原因となって走行誤差オフセットが発生することがわかった。物理的・数学的法則に則った手法、あるいはシステム同定技術⁴⁾により精度良く車両の数学モデルが得られる場合は、カルマンフィルタを用いてFOGドリフト成分の大きさを推定することが可能である⁵⁾。しかし、履帯トラクタは路面状態により大きく変化する「滑り」により方向転換を行うため、精度良い数学モデルを求めることは極めて難しい。そこで、本研究ではFOGの出力ドリフトを推定する別の方法を検討した。本手法は観測可能な走行

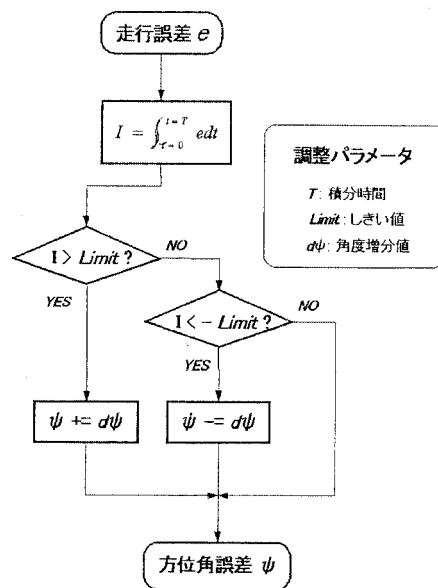


図3.3 FOGドリフト補正アルゴリズム

誤差から逆にFOGドリフト値を「推定」し、制御補償器へのフィードバック情報となる「方位角誤差」を修正するものである。

図3.3に同アルゴリズムを示す。現時点より過去T秒間の走行誤差の積分値Iと、適当に設定したしきい値Limitとを逐次比較し、積分値の絶対値がしきい値より大きければ、方位角誤差 ϕ を $d\phi$ だけ増加（あるいは減少）するものである。T, Limit, $d\phi$ の値はPIDゲイン同様試行錯誤により求める。

図3.4に直線経路B～Dにおける(a)方位角誤差、(b)走行誤差、(c)方位角誤差に対する「補正角」（ $d\phi$ の積算値）を示す。自律走行時には、「FOG計測値」-「目標方位角 ϕ 」+「補正角」で計算される値を方位角誤差としてPID補償器への入力としている。

本手法の動作を説明するために、経路Dスタート直後の約7～25秒区間の走行誤差に着目する。この間走行誤差は約+50mmを保っているため、走行誤差積分値は正値を保ちながら漸増し、やがてしきい値より大きくなる。走行誤差積分値が正値であることからFOGが負のドリフトを持っていると判断され、補正角が $d\phi$ （この場合 $d\phi = 1$ 度と設定している）ずつ増分されている。その結果、方位角誤差も増分され、「0度」に近づいている。25秒経過後に走行誤差が+50mmから0に向かってるのは、方位角誤差が0であるため、走行誤差によるPI効果が正常に働いたことによる。なお、50秒付近で走行誤差が±100mm、方位角情報が-8度となっているが、これは比較的大きな凸部に乗り上げたためである。

図によると最終的に「補正角」は15度となっている。すなわち、FOGの出力値に15度加算することによって、走行誤差±50mmの精度での自律走行制御が実現されていることになる。このようにFOGドリフトが著しく大きくなる場合においても、本手法を適用することにより走行誤差がオフセット

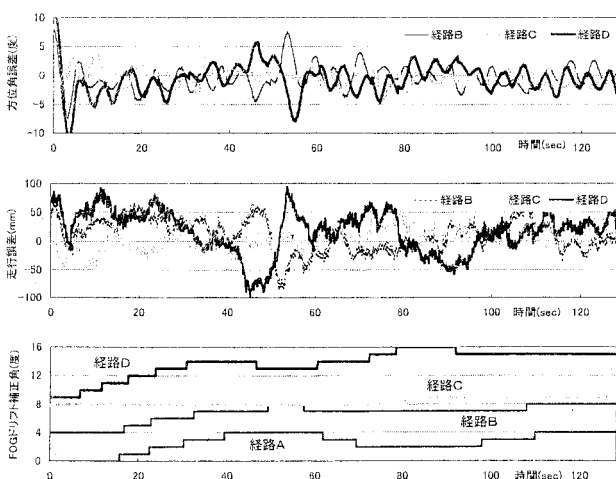


図3.4 FOGドリフト補正時の直進走行制御性およびドリフト補正角

すること無く自律走行できることが明らかとなった。

3.2 市販履帯トラクタによる走行制御性確認試験

小型履帯トラクタによる自律走行試験により、車両を自律走行させるためのシステム構成および走行アルゴリズムの基本特性を確認することができた。この結果を踏まえ、高速で車重の大きい市販履帯トラクタによる自律走行試験を行い、敵列作業時における枕地旋回制御方法、傾斜地走行時における傾斜補正方法等を検討し、また、実作業走行を想定した各種走行制御試験を行った。さらに汎用性ある走行作業計画立案のため、任意経路追従走行試験を行った⁶⁾。

3.2.1 走行制御パラメータの最適調整

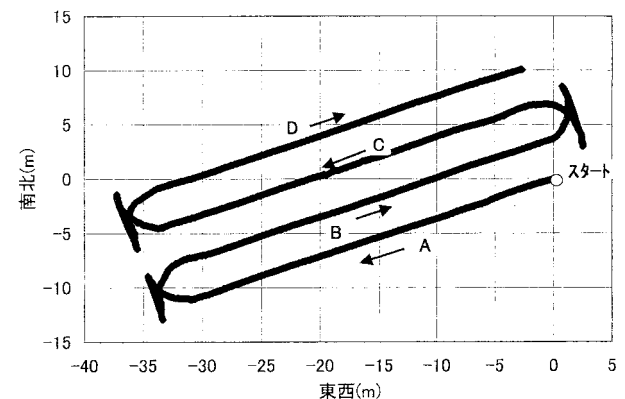


図3.5 市販履帯トラクタ走行軌跡（GPS計測値）

本研究による手法では、車両を自律的に走行させるために9個の走行制御パラメータを確定する必要がある。走行誤差・方位角誤差に対する各PIDゲイン計6個、およびFOGドリフト補正アルゴリズムにおける3個のパラメータである。以上9つの制御パラメータを最適調整することを目的に、起伏の少ない平地上で自律走行試験を行った。計画経路は直進距離約30mを幅幅3.5mにて2往復するものである。車速は実作業を想定し、秒速1mとした。

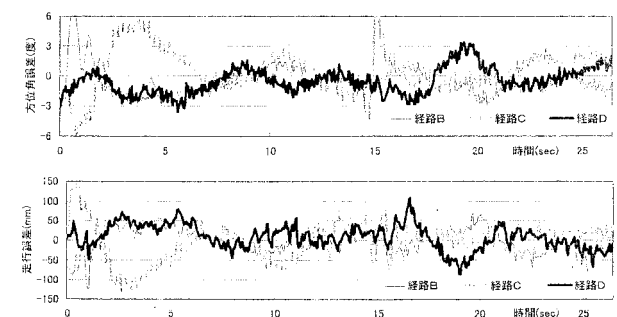


図3.6 直進走行制御性（市販履帯トラクタ）

図 3.5, 3.6 に試験結果を示す。なお, 図 3.6 中の経路 B, C, D は図 3.5 中の直線経路 B, C, D に対応する。いずれの経路においても走行誤差はほぼ±50mmの範囲内に収まり, 走行誤差にオフセットが認められない。これは FOG ドリフト補正アルゴリズムが適切に機能していることを意味する。

3.2.2 枕地旋回

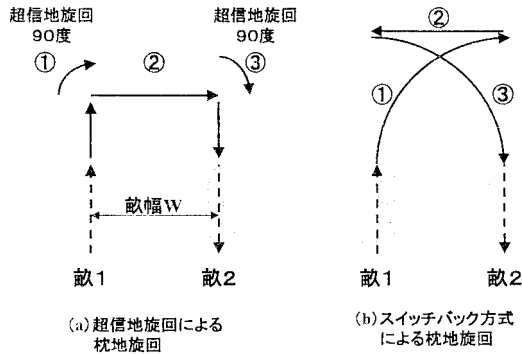


図 3.7 枕地旋回方法

初期の実験では, 図 3.7 の a に示すように小面積で枕地旋回を行うことを目的に, 履帯トラクタの機動性を活かした超信地旋回(左右輪を逆駆動する)を交えた枕地旋回を行った。しかし, 超信地旋回は制御が簡便である反面,
 ①履帯を横滑りさせるため, 地面から大きな摩擦反力を受ける。したがって, 大きな旋回トルクを必要とし, 特にホッパへの肥料満載時に旋回不可能となる,
 ②地面の状態(乾湿, 傾斜等)により車両回転中心が大きく変化する,
 等の欠点を有することが分かった。特に②の欠点は, 枕地旋回後に次敵へ大きくオフセット進入する可能性を示唆する。敵列へオフセット進入した場合, 車両はヨー方向に振動しながら走行し, オフセットの大きさ・敵列進入時の車両方向によっては振動収束までに多くの時間を必要とする。これは敵列進入時に敵列を踏破してしまうことを意味し, オフセット値は可能な限り小さな値とすることが望ましい⁷⁾。

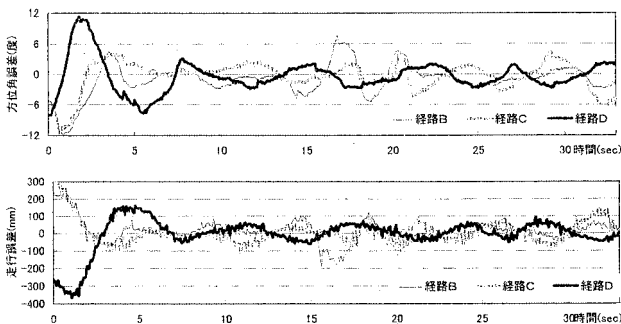


図 3.8 直進走行制御性(超信地旋回による枕地旋回)

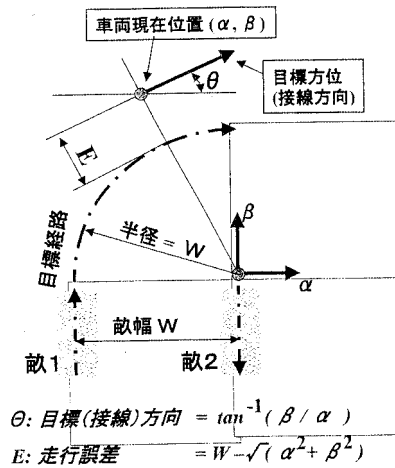


図 3.9 円弧経路での走行誤差および目標方位角

図 3.8 に超信地旋回を交えた枕地旋回による走行結果を示す。経路 D のスタート近くでは, 走行誤差約 -280mm であり, 敵列に対して左に 280mm オフセット進入したことがわかる。この時の方位角誤差が約 -8 度, すなわち敵列に対して左方に 8 度傾いた状態で進入しているために, さらに走行誤差が 350mm まで大きくなっている。その結果走行誤差が ±100mm 以内に収束するまでに約 6 秒間費やしている。今回の走行試験では, 地面の乾湿の違いにより最大 1 m 以上のオフセット進入が確認された。また, 傾斜角 15 度以上の傾斜地走行では, 次敵進入時のオフセット値が大き過ぎて自律走行不可能になる場合もあった。

以上より, 次敵進入時の走行誤差オフセット量を小さくするため, 制御方法は複雑になるが枕地旋回時においても円弧による目標経路を与えた。さらに, 図 3.7 の b に示すように, 旋回トルク軽減のため, 後進を含んだスイッチバック方式による枕地旋回を行うものとした。また, 図 3.9 に円弧目標経路追従時の目標方位および走行誤差計算方法を示す。表 3.1 は図 3.6 の直線経路(敵)進入時における走行誤差および方位角誤差である。表より, 走行誤差は全て 100mm 以内に収まっていることがわかる。すなわち, 枕地旋回時にも目標経路を与えることにより, オフセット無く次敵に進入し, その結果スタート近くでも敵列を踏破しない自律走行制御が可能となる。

表 3.1 直線経路進入時における走行・方位角誤差

	経路 B	経路 C	経路 D
走行誤差(mm)	- 69	34	3.2
方位角誤差(度)	- 3.8	- 0.2	- 4.3

3.2.3 傾斜地走行試験

牧草地(丘陵地)における施肥作業を想定し, 積雪前の一般スキー場(草地)にて傾斜地直進走行制御性を検討した。図 3.10 に示すように, 目標直進経路は「斜面および鉛直

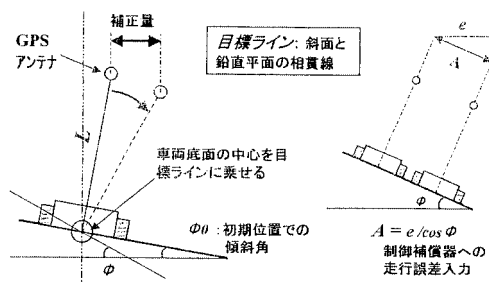


図 3.10 傾斜角補正方法

平面との相貫線」とし、車両底面のトレッド方向中心が常に上記相貫線をトレースするよう車両を制御した(図3.10)。ここでは簡便のためロール方向のみ補正をかけた。すなわち、車両底面からGPSアンテナまでの距離をL、ロール角を ϕ 、走行開始地点でのロール角を ϕ_0 、傾斜補正前走行誤差をE、 $\phi = \phi_0$ と仮定した場合の走行誤差をeとして、

$$e = E - L(\sin \phi - \sin \phi_0), \quad A = e / \cos \phi$$

で算出される値Aを制御量(直進制御補償器への走行誤差入力)とした。実験は、畝幅を3.5mとし、ピッチ方向傾斜角が極力小さな値をとる方向へ約80m、2往復させることにより行った。図3.11にGPS計測結果を、図3.12に最後の直進走行区間(2往復目の戻り)における傾斜補正前後の走行誤差EおよびAとその時のロール角およびピッチ角を示す。図においてロール角が短時間に急変動(3秒間で22度~33度間を急変動)する278秒地点では、走行誤差が+300mm以上となり、一時的に走行制御性が劣化していることが確認できる。これは車両が自重で「谷側」へ移動していることを意味する。しかし、ロール角が準静的に変動しているその他の区間においては、制御量であるAの値は±50mm以内に制御されている。なお、枕地旋回直後の268秒付近において車両が200mm以上谷側へ移動しているが、これは車両自身の動特性、傾斜角、路

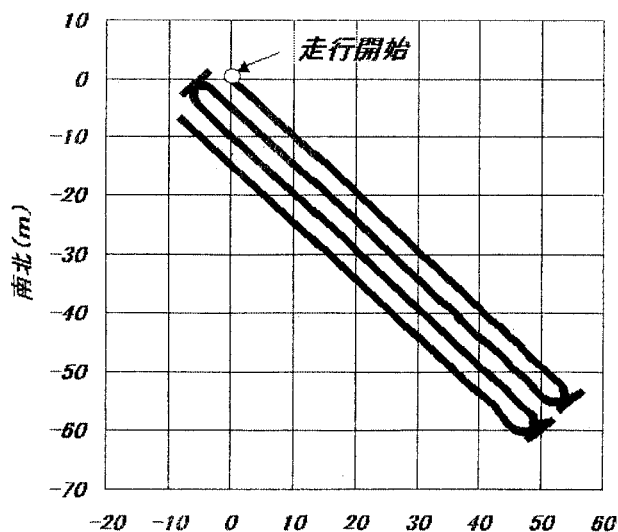


図 3.11 傾斜地(20~30度)走行時走行軌跡

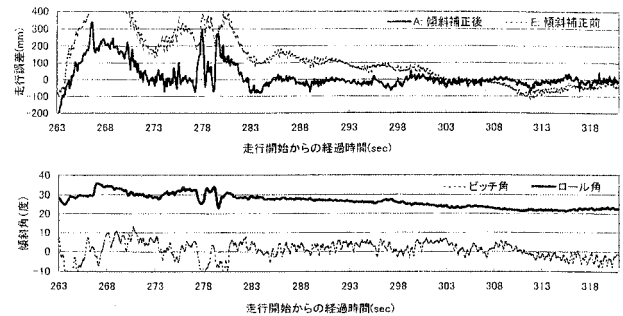


図 3.12 傾斜地における直進走行制御性

面状態等の理由により車両が枕地旋回円弧パスに追従できず、山側より約200mmオフセット進入したためである。

以上より、傾斜角20~30度の傾斜地においても、本制御手法にて安定して車両を自律走行制御できることが確認できた。

3-2-4 任意経路追従試験

畝列がある圃場で農作業を行う場合、枕地にて180度方向転換した後、畝列である直線に沿って車両を走行させればよい。しかし、起伏の激しい丘陵地にて施肥等の作業を行う場合、車両を等高線に沿って走行させることが望ましく、作業計画経路は曲線で、かつ任意に設定可能とする必要がある。また、平地においても作業計画経路は、畝列作業のように直進、枕地旋回、直進の繰り返しのみではなく、任意に設定可能とした方が、障害物回避が可能となる等汎用性を飛躍的に向上させることができる。

ここでは曲線作業計画経路を細かい点群で構成し、個々の点毎に局所座標系を設定し、図3.13aに示すように逐次GPSデータを同座標系に変換した。一方、FOGはその出力レンジが±180度であり、半回転を超過した時点で出力に不連続点が発生する(+180度→-180度)。ここではFOG出力レンジを±90度に変換し、図3.13bに示す目標方位角 $\Sigma \alpha_i$ との差を取ることによって方位角誤差を算出した。なお、図中 α_i はお互いに隣合う局所座標系y軸が成す角度であり、 $\Sigma \alpha_i$ はその累積値である。図3.14に任意経路追従試験結果を示す。いずれも雪上における走行試験結果である。

上記点群座標変換方法およびFOG出力レンジ補正方法を適用し、車両に任意に設定した曲線作業計画経路を与えて自

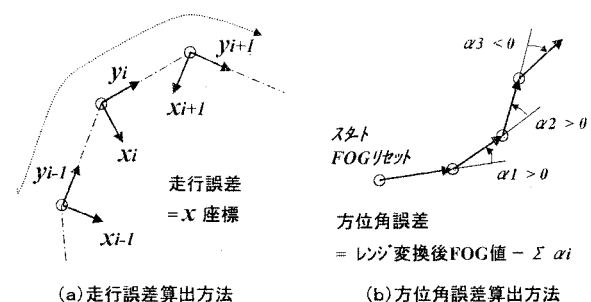


図 3.13 点群目標経路での走行・方位角誤差算出方法

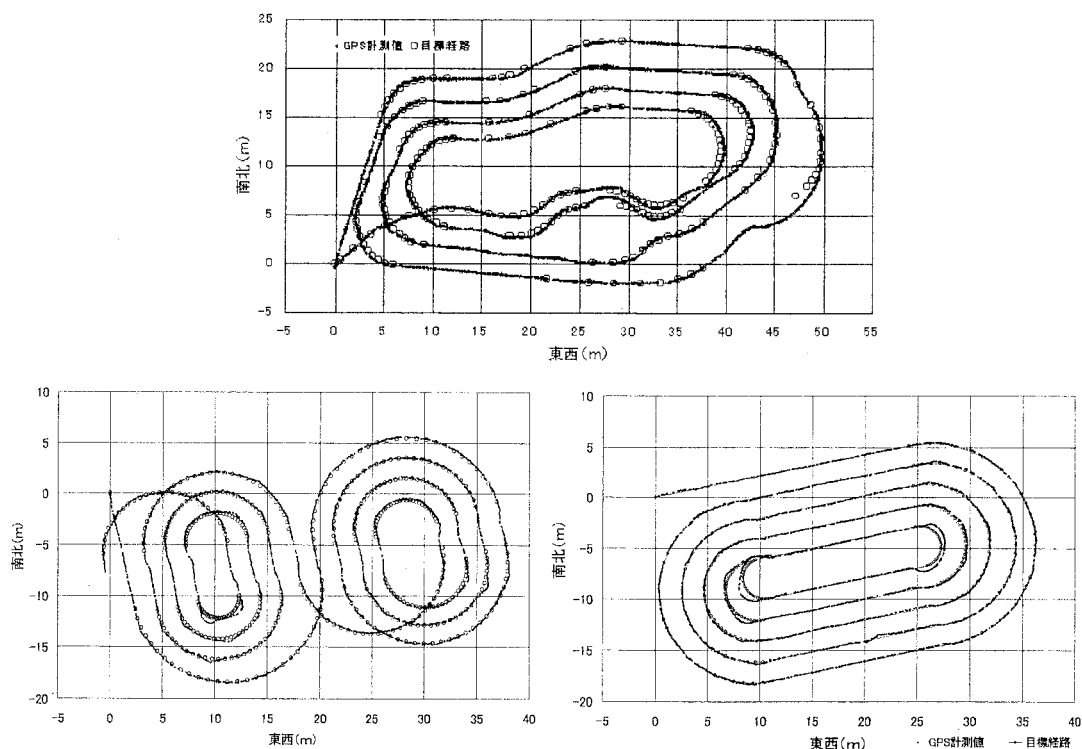


図 3.14 任意経路追従走行試験結果

律走行させたところ，最小曲率半径を 3 m 以上に，また a_i を 8 度以下に設定すれば，実用上問題なく車両を追従させることができた。

4. CANバス通信による自律走行作業支援システムの開発

自律走行しながらPF作業を行うためには，自律走行制御，車両油圧電気系統制御，PFマップ処理，散布量調整制御，安全保証機能制御等の処理を行う必要がある。これらの処理は複数のコンピュータ（以下PC）に分担させるのが効率的であり，個々のPCにIDを割付けてローカルなネットワークを構成することで，汎用性・拡張性を高めることができる。ここでは汎用的なCANバスシステム（Control Area Network）により，これら複数台のPC間データ通信を行った。CANは自動車・産業機械用通信プロトコルとして，既に欧州では，自動車等に普及している。通信速度が 2 Mbps と高速であり，一般的なシリアル通信と比較して電源・エンジンノイズに強く，省配線化を図ることができる等，様々なメリットがある。本研究では，独自にCAN ID および通信プロトコルを設定し，PC間通信を行った。

図 4.1 に車両制御システム構成図を示す。システムの安全性を高めるため，制御システム全体はノイズ・振動等に強いシーケンサに管理させた。すなわち，シーケンサに走行の

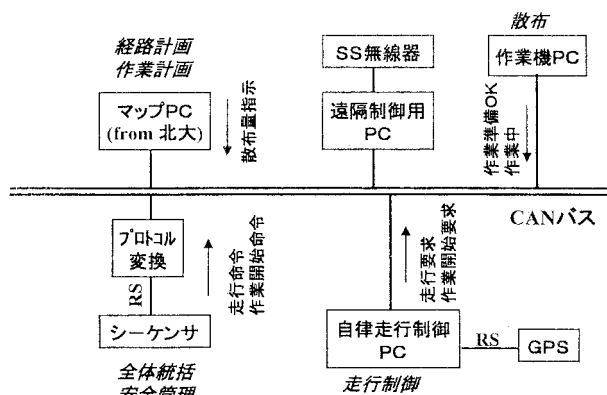


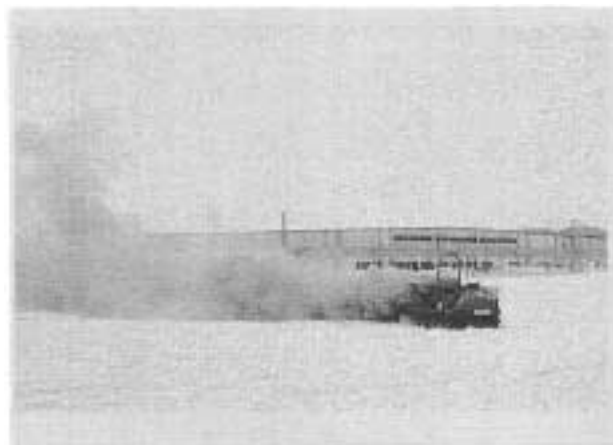
図 4.1 車両内CANバスシステム構成

要となるエンジン制御の他，各PCの状態を常に監視させ，異常時には即車両を停止させることができるようにしている。また，PFマップ情報は他の研究班から提供される独立したPC（マップPC）からリアルタイムに受け取った。

ここでは，本通信システムの実用性を確認することを目的に，目視にてPFマップ情報にしたがった散布量変化を確認した。その結果不具合無く各PC間データ送受信が行え，その結果良好なPF自律走行作業が行えることを確認した。図 4.2 に本システムの実証試験の様様を示す。



(a) PF施肥作業試験



(b) 融雪剤散布試験

図 4.2 自律走行作業支援システム実証試験風景

5. まとめ

GPSおよびFOGを使用して車両の自律走行制御を行う場合、FOGのドリフトが走行誤差オフセットとして走行制御性に悪影響を及ぼす。本研究ではFOGドリフトの影響を補正するための手法を提案し、本手法を適用して自律走行試験を行った結果、走行誤差がオフセットするなく $\pm 50\text{mm}$ 以内になることを確認した。また、急傾斜地走行時におけるロール角補正方法、汎用性を目的とした点群任意経路追従アルゴリズムを考案し、実証走行試験を行った。さらには、汎用的なCANバスネットワークを用いた自律走行農作業支援システムを構築し、精密農法施肥作業試験および融雪剤散布試験を行った。

本システムを実用化するには、さらに、

- ①制御システムの低コスト化（特にGPS、HST駆動機構）
- ②安全保証機能の確立（危険回避機能等）
- ③ユーザーインターフェースの向上（専門的な知識を必要としない操作システム）

が必要になる。今後は、本システムの実用化を目指し、次年度以降引き続き技術開発を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 新エネルギー・産業技術開発機構編：平成10年度地域コンソーシアム研究開発事業報告書「大規模農業向け精密自律走行作業支援システムの研究開発」, pp.86-89, (1999)
- 2) 増淵正美：システム制御, コロナ社, PP294., (1994)
- 3) 中西洋介他 4名：GPSおよびFOGによる履帯車両の自律走行（第1報）, 第59回農業機械学会年次大会講演要旨, pp.361-362, (2000)
- 4) 足立修一：制御のためのシステム同定, 東京電機大学出版局, 202PP., (1997)
- 5) 井上慶一他4名：自律走行のためのGPSとジャイロのカルマンフィルタによるセンサフュージョン技術(第1報), 農業機械学会誌, Vol.61, No.4, pp.103-113, (1999)
- 6) 中西洋介他 4名：GPSおよびFOGによる履帯車両の自律走行（第2報）, 第60回農業機械学会年次大会講演要旨, pp.261-262, (2001)
- 7) 野口昇他4名：NEDO地域コンソーシアムで開発したロボットトラクタ（第2報）—動的経路生成法—, 第60回農業機械学会年次大会講演要旨, pp.265-266, (2001)