

Ⅲ－C 型小型 ACV の方向特性に関する研究

山下 進, 三野正洋*, 貝賀崇司**, 増渕伸介***

Study on Characteristic of Direction for Light ACV of Ⅲ－C Type

Susumu YAMASHITA, Masahiro MINO,
Takashi KAIGA, Nobuyuki MASUBUCHI

1. はじめに

ACV の走行の特徴は、一部を地表と接触させないかぎり、接地面との摩擦抵抗が少なく、旋回時にはサイドフォースが発生しない。そのため、前進方向にも横方向にも滑り易く、小回りが効かず、方向制御には熟練が必要となる。

一般に LACV の方向制御は、体重移動と方向舵の操作によって行われる。筆者らは、これまで、エアクッションにより浮上走行する小型 ACV の方向制御特性に注目し、いくつかの走行実験を行ってきた¹⁾⁴⁾。その結果、「体重移動のみの方が、コースからのずれの量は少なかったが、方向舵を使用した方が方向制御しやすい」ということが明らかになった。したがって、体重移動よりも方向舵が、方向制御に大きな影響を与える結果となり、従来の結果とは異なった結論に至った。

その後、さらに走行実験を行い、データを収集した³⁾。その結果、「直線コースでは、体重移動の方が船体への応答が遅く、動きを予測しやすいため、方向制御しやすい」、「旋回コースでは、体重移動と方向舵の両方を使うより、方向舵のみを使った方が方向制御性がよい」ということが、明らかにされた。

2. 研究の目的

従来の方法では、体重移動や方向舵の操作によって、運動にどのような影響を与えるかを調べたが、定性的な特性しか解明できなかった。

そこで本研究では、体重の移動量と方向舵の操作量を定量的に測定するための測定システムを構築し、走行実験で得られた結果から、より詳細な運動特性を解明することを目的とする。

3. 測定システム

方向舵の回転角度は、図 1 に示すようなポテンシオメータを用いて測定した。ポテンシオメータは、可変抵抗のように入力されている常に一定ならば、出力端子から出力される電圧が軸の回転角度に比例して変化するセンサである。方向舵の回転軸とポテンシオメータの回転軸を図 2 のようにラダーチェーンで連結し、回転角度を電圧に変換し測定するものである。

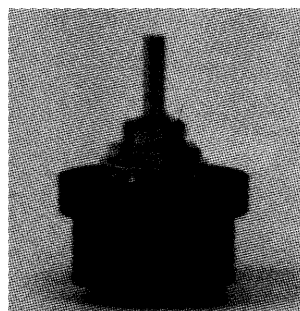


図 1 ポテンシオメータ

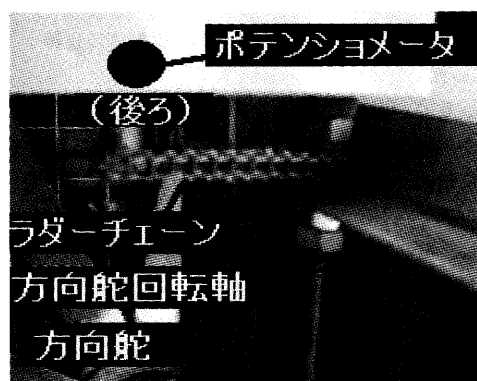


図 2 方向舵とポテンシオメータ

*日大講師 **小山高専卒業生 ***小山高専専攻科生

体重の左右への移動量は、図3に示すようなロードセル（荷重変換器）を用いて測定した。ロードセルは、内部にひずみゲージを含むブリッジ回路が内蔵されており、図3の①と②を固定し、上部から荷重を負荷することによって、ひずみゲージの抵抗値が変化する。このことによって、ブリッジ回路内に電位差が生じる。実際には、図4に示すように、ロードセルに板を取り付け、船体の左右に一つずつ固定し、操縦者の膝を載せて、荷重値を測定した。

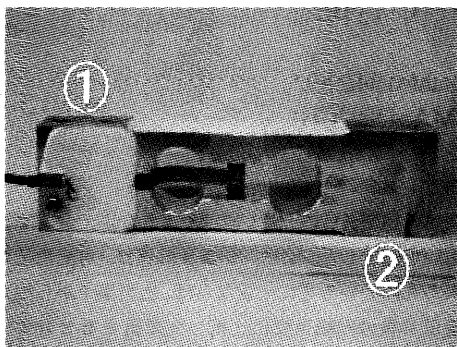


図3 ロードセル

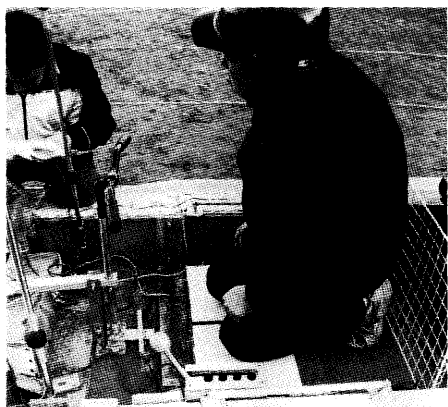


図4 ロードセルに対すると操縦者の姿勢

図5に、測定システムの概略図を示す。ポテンショメータから出力された電圧は直接、ロードセルから出力された電位差は、ロードセル用インジケータを介して、データ収集システム NR-2000 に記録される。ここで、インジケータは、電位差を荷重値に変換して表示する装置である。インジケータと NR-2000 の電源として、ポータブルマルチ電源を、ポテンショメータの入力電圧としてラジコン用 7.2V バッテリーを用いた。図6は、船体に各種機器を搭載した図である。

4. 実験用小型ACV

実験用小型ACVは、1基のエンジンで浮上と推進を行う送気形式であるⅢ-C型と呼ばれるものである。図7にその写真を示す。このACVには、ロードセルを始め、船体のYawを測定するためのボール（後述）や、正確な船体の位置を測定するためのリフレクタホイール（後述）が取り付けられている。

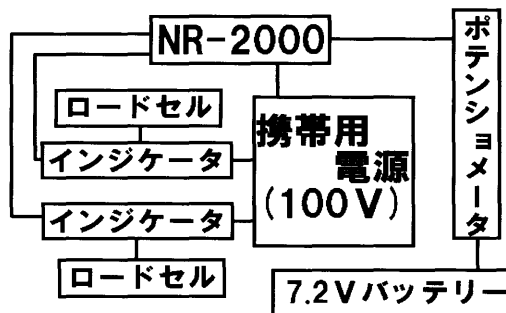


図5 測定システムの概略図

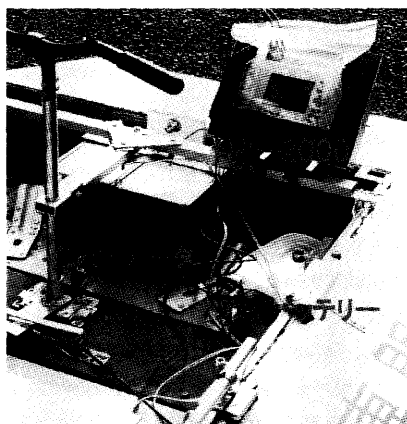


図6 測定機器の配置図

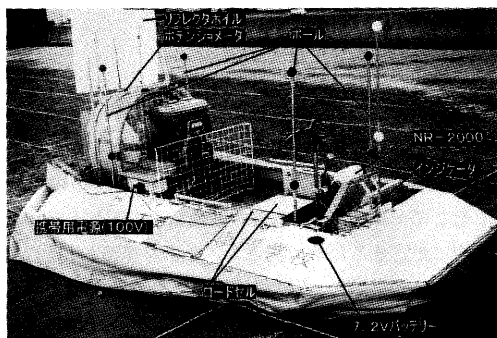


図7 実験用小型ACV

5. 実験方法

走行実験は、直線コースと旋回コース（右旋回、左旋回）で行う。それぞれのコースでの走行条件は、

- ① 方向舵および体重移動を併用した走行
- ② 方向舵は固定し、体重移動のみによる走行

であり、その際に、船体の正確な位置、方向舵の回転角度、体重の左右への移動量を測定する。

5-1 直線コース走行実験

直線での走行実験のコースと測定機器の配置図を図 8 に示す。

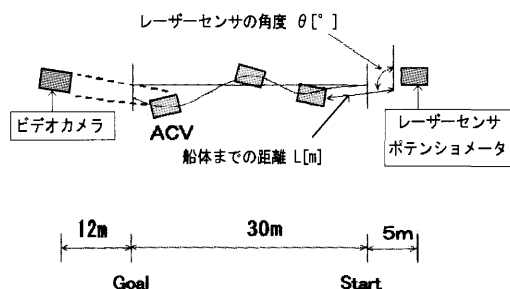


図 8 走行実験（直線コース）

ACV の後方にレーザーセンサを設置し、前方にはビデオカメラを設置する。レーザーセンサによって船体までの距離を測定し、センサの支持台の取付けられているポテンシオメータでセンサの角度を測定する。前方のビデオカメラでは船体に取付けた前後 2 本のボールを撮影する。その後、撮影した映像を再生し、画面上から Yaw の算出に必要な各長さを測定する。予め、ボールの高さと前後のボールの間隔を測定しておき、画面上の基準の長さとしてボールの高さを測る。それと画面上のボール間の距離から実際の距離を出し、船体の Yaw を求める。操縦者には直線距離 30m のコースを出来るだけ真っ直ぐに、各走行パターンで 5 回づつ走行してもらった。今回、スタート地点手前には 3m ほどの助走区間を設け、計測区間内を等速で走行できるようにした。図 9 は走行実験（直線コース）の様子である。

5-2 旋回コース走行実験

旋回コースと測定機器の配置図を図 10 に示す。

円の内側からレーザーセンサで船体までの距離、ポテンシオメータで角度を測定する。ビデオカメラは左旋回時には円の外側に、右旋回時には円の内側に配置した。実験は

半径 26.2 m の校内競技トラックにて行い、実験時のグラウンド状況の関係で、今年度は $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ までの旋回とした。今回、旋回コースでは左旋回と右旋回の 2 種類の走行パターンで実験を行った。図 11 は走行実験（旋回コース）の様子である。



図 9 走行実験（直線コース）の様子

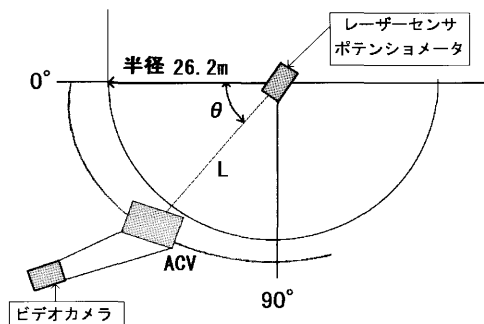


図 10 走行実験（旋回コース）

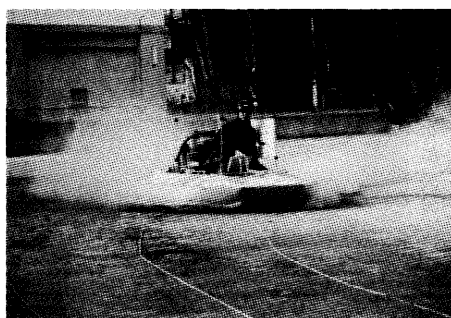


図 11 走行実験（旋回コース）の様子

6. 実験結果および考察

今回、直線コース及び旋回コースでそれぞれ2種類の走行パターンで実験を行った。その際、左旋回時の結果で、初心者と経験者で異なる傾向の結果を示した。そこで、各走行パターン別の比較の他に、左旋回時の初心者と経験者についても比較することとした。

6-1 体重移動量（直線コース）

図12, 図13に直線コースでの体重移動量のグラフを示す。このグラフは、縦軸に体重移動量の割合、横軸に走行時間を取り、上側に左側への体重移動量、下側に右側への体重移動量を表している。この2つのグラフから、直線コース走行時には、体重移動量が左側に偏っていることが分かった。その際の変動量は体重移動のみの場合で約20%、方向舵を併用した場合で約25%~30%になっており、方向舵を併用した場合の方が体重移動のみの場合に比べ変動量が大きくなる傾向にあることが分かった。

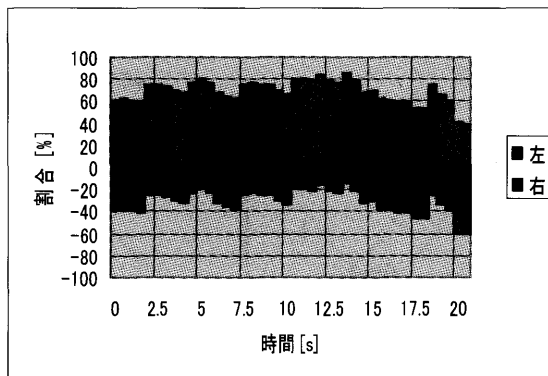


図12 体重移動量（体重移動のみ）

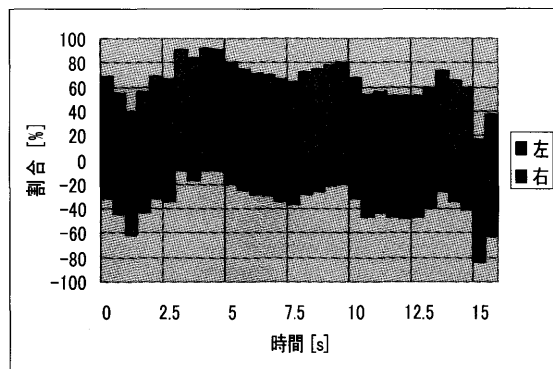


図13 体重移動量（方向舵併用）

表1に直線コース走行時の体重移動の割合を条件別にまとめたものを示す。ドライバーA, ドライバーBは初心者である。それぞれの左移動量を見ると約60%、右移動量を見ると約40%になっていることが分かる。この左側への約20%の偏りは、ファンの回転によって発生したトルクが船体を右方向へ進ませてしまい、その修正のために起きたと考えられる。

表1 体重移動の割合（直線コース）

	左移動量 [%]	右移動量 [%]
体重移動のみ	60.14	39.86
方向舵併用	60.04	39.96
ドライバーA	57.11	42.89
ドライバーB	62.79	37.21

6-2 体重移動量（旋回コース）

図14, 図15に左旋回時の初心者と経験者のグラフを示す。左旋回時の初心者のグラフは変動量が約40%と直線コース走行時のグラフより大きくなる傾向にあることが分かった。また、直線コース走行時と同様に体重移動量が左側に偏っていることが分かった。初心者のグラフに対して経験者のグラフは変動量が約10%以内と極めて小さくなっていることが分かった。

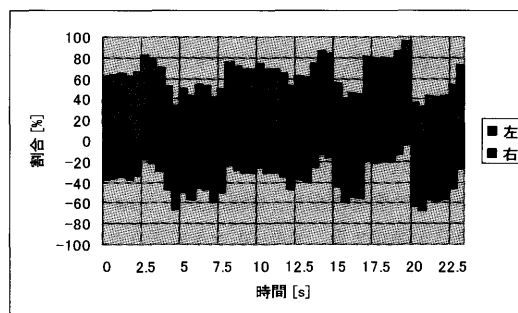


図14 体重移動量（左旋回、初心者）

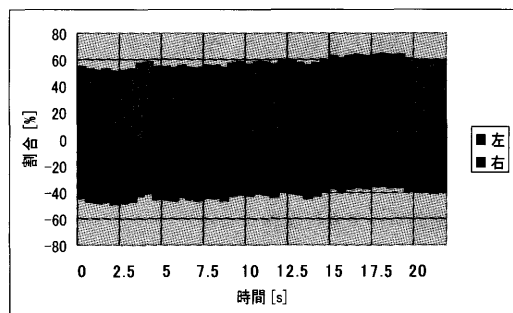


図15 体重移動量（左旋回、経験者）

図 16 に右旋回時のグラフを示す。右旋回時の体重移動の変動量は約 40%であり、これまでの結果と同様に体重移動量が左側に偏っていることが分かった。

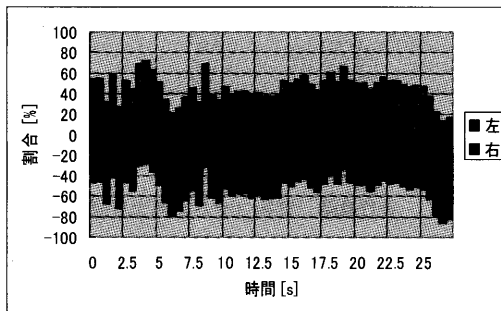


図 16 体重移動量 (右旋回)

表 2 に左旋回時の体重移動の割合を条件別にまとめたものを示す。ドライバーA, ドライバーBは初心者、ドライバーCは経験者である。この表を見ると、初心者は左移動量が約 60%, 右移動量が約 40%となり、経験者は左移動量が約 55%, 右移動量が約 45%と初心者よりも小さい値となった。どの場合も右に対して左に偏りが生じているが、これは旋回するための基本動作である曲がりたい方向に荷重をかけたことと、トルクの影響を修正するために起きたと考えられる。

表 3 に右旋回時の体重移動の割合を条件別にまとめたものを示す。ドライバーA, ドライバーB, ドライバーCともに初心者である。先ほどの左旋回時に比べドライバー個々の値のバラつきが大きくなっている。全体的には左右均等もしくは左側への偏りが生じている。偏りの原因としては、右旋回時に船体が右方向へ滑り過ぎることを防いでいると考えられる。今回、右旋回時及び左旋回時でドライバーCの値が他のドライバーの値に比べ小さくなっているが、これは旋回時に船体の右方向への船体の滑りをどの程度抑制すれば良いかというコツのようなものをつかみ、右方向への船体の滑りある程度有効に利用しているためだと考えられる。

表 2 体重移動の割合 (旋回コース、左旋回)

	左移動量 [%]	右移動量 [%]
ドライバーA	61.65	38.35
ドライバーB	63.80	36.20
ドライバーC	55.44	44.56

表 3 体重移動の割合 (旋回コース、右旋回)

	左移動量 [%]	右移動量 [%]
ドライバーA	63.33	36.67
ドライバーB	67.51	32.49
ドライバーC	50.35	49.65

6-3 方向舵の回転角度 (直線コース)

図 17 に直線コースでの方向舵の回転角度のグラフを示す。縦軸に方向舵の回転角度、横軸に走行時間を取り、方向舵が進行方向に対して左側に向いたときを正、右側に向いたときを負としている。グラフより直線コース走行時には方向舵を左右各 5° 程度操作し、左右同程度の操作時間であることが分かった。

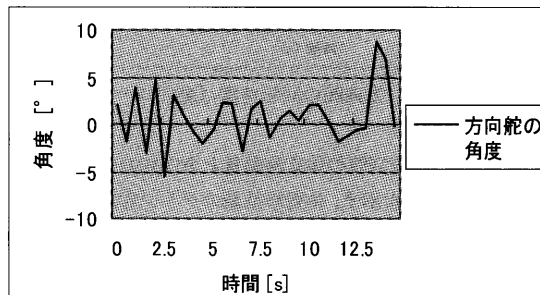


図 17 方向舵の回転角度 (直線コース)

6-4 方向舵の回転角度 (旋回コース)

図 18 は、左旋回時の初心者と経験者の方向舵の角度を比較したグラフを示す。直線コース走行時に比べ方向舵の操作が左側へ偏っており、その操作量は左側に約 25° と直線コース走行時の 5 倍となり、右側には約 7° となっていることが分かった。また、初心者はコースの後半部分で方向舵を多く操作する傾向にあり、経験者はコースの前半から中盤にかけて方向舵を多く操作する傾向にあることが分かった。

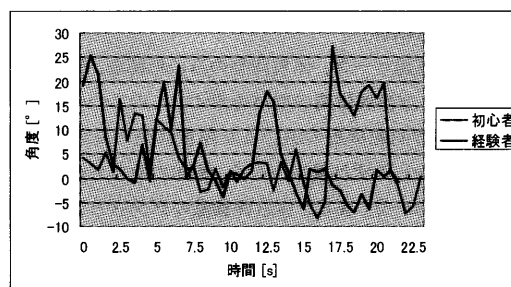


図 18 方向舵の回転角度 (左旋回)

図19には右旋回時と左旋回時の方向舵の角度を比較したグラフを示す。右旋回時は左旋回時よりも多くの左側へ操作の偏りがあり、その操作量は左側に約 30° 、右側には約 7° となっていることが分かった。このことについてドライバーに調査を行ったところ、右旋回時には船体の後方が右に回転し易く、それを防ぐために左側により多くの操作をしていることが分かった。

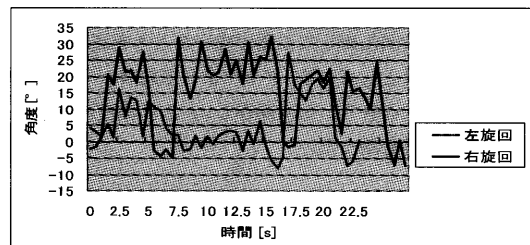


図19 方向舵の回転角度（旋回コース）

図20は、左旋回時の体重移動量と方向舵の角度を重ね合わせたグラフを示す。体重移動量のグラフ形状と方向舵の回転角度のグラフ形状を比べると、ほぼ一致することが分かる。これは、直線コース走行時でも右旋回時でも同様の傾向があり、このことから操縦者は体重移動と方向舵の操作を同時に行っていることが確認された。

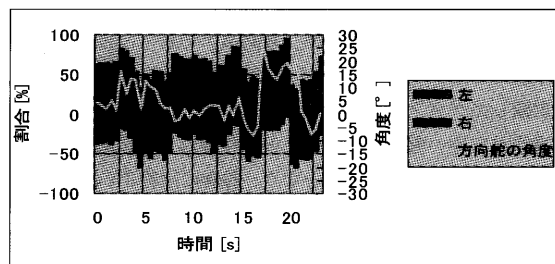


図20 体重移動量と方向舵の回転角度（左旋回）

6-5 走行軌跡

図21に直線コース、体重移動のみの軌跡を、図22に直線コース、方向舵併用の軌跡を示す。この二つのグラフを比べると方向舵併用の場合より体重移動のみの場合の方がコースからのずれ量が少なく、船体の向きも安定していることが分かる。また、体重移動量のグラフと比較すると、体重移動のタイミングと軌跡の変化が一致する点が見られ、直線コース走行時には体重移動の影響をより強く受けていると考えられる。図23には左旋回時の初心者と経験者の軌跡を示す。この二つを比べると初心者より経験者

の方がコースからのずれ量が少なく、船体の向きも安定していることが分かる。図24には右旋回時と左旋回時の軌跡を示す。左旋回時に比べ右旋回時の軌跡は、やや安定性に欠け、右旋回時の方が技能を要すると考えられる。

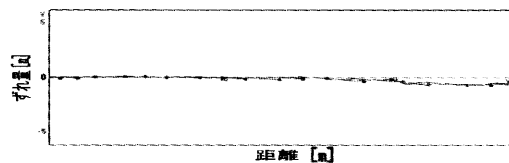


図21 走行軌跡（直線コース、体重移動のみ）

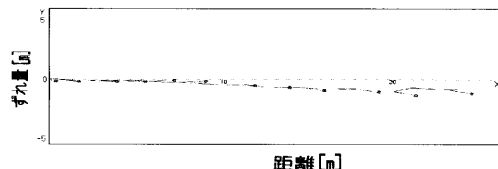


図22 走行軌跡（直線コース、方向舵併用）

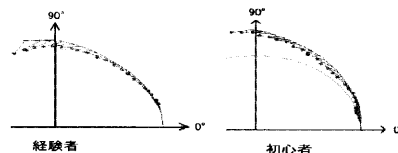


図23 走行軌跡（左旋回）

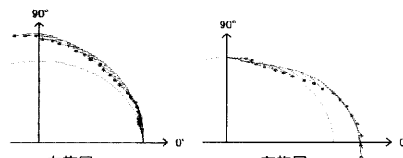


図24 走行軌跡（右旋回）

参考文献

- 1) 安納、北山：小型ACVの方向制御に関する研究、関東学生会第41回学生員卒業研究発表講演前刷集、PP79-80(2002)。
- 2) 山下、三野他：小型ACVの方向制御の特性、日本機械学会関東支部ブロック合同講演会—2002宇都宮—講演論文集、PP235-236(2002)。
- 3) 三野、山下他：小型ACVの運動特性に関する研究、第40回飛行機シンポジウムアブストラクト集、P57(2002)。
- 4) 山崎、菊地他：小型ACVの方向制御に関する研究、関東学生会第42回学生員卒業研究発表講演前刷集、PP395-396(2003)。
- 5) 増渕、貝賀他：小型ACVの方向制御特性（その1）（方向制御の定量化方法について）、関東学生会第43回学生員卒業研究発表講演前刷集、PP125-126(2004)。
- 6) 貝賀、増渕他：小型ACVの方向制御特性（その2）（走行実験結果について）、関東学生会第43回学生員卒業研究発表講演前刷集、PP127-128(2004)。

「受理年月日 2004年9月30日」