

第4章 走行実験

4.1 はじめに

ここでは，屋内小型移動車両3台を用いて本研究で提案した車両間通信アルゴリズムと合流制御アルゴリズムの有効性を検証する．

4.2 実験装置

走行実験で使用した実験装置について説明する．

(1) 走行制御アルゴリズム

車両群同士を合流させる場合には，合流路でも車線変更時でも，ロンジチューディナル(速度)制御とラテラル(操舵)制御が必要である．本実験では，ロンジチューディナル制御アルゴリズムにはコンピュータシミュレーションで使用した車間距離制御アルゴリズム [22] を使用した．また，ラテラル制御アルゴリズムにはプレビューラテラル制御アルゴリズム [24] を使用した．

プレビューラテラル制御アルゴリズム

ここで，プレビューラテラル制御アルゴリズムについて説明する．本アルゴリズムは，地上設備を必要とせず，車両のデッドレコニング機能と地図情報に基づいて操舵量を与えることができる．

車両が持つ地図情報を元に図 4.1 に示すような参照線を生成し，車両座標系 x - y における3次曲線

$$y = Ax^3 + Bx^2 \quad (4.1)$$

で近似すると，その時点での操舵角 α は，3次曲線の係数 B と車両のホイールベース l を用いて

$$\alpha = \arctan 2lB \quad (4.2)$$

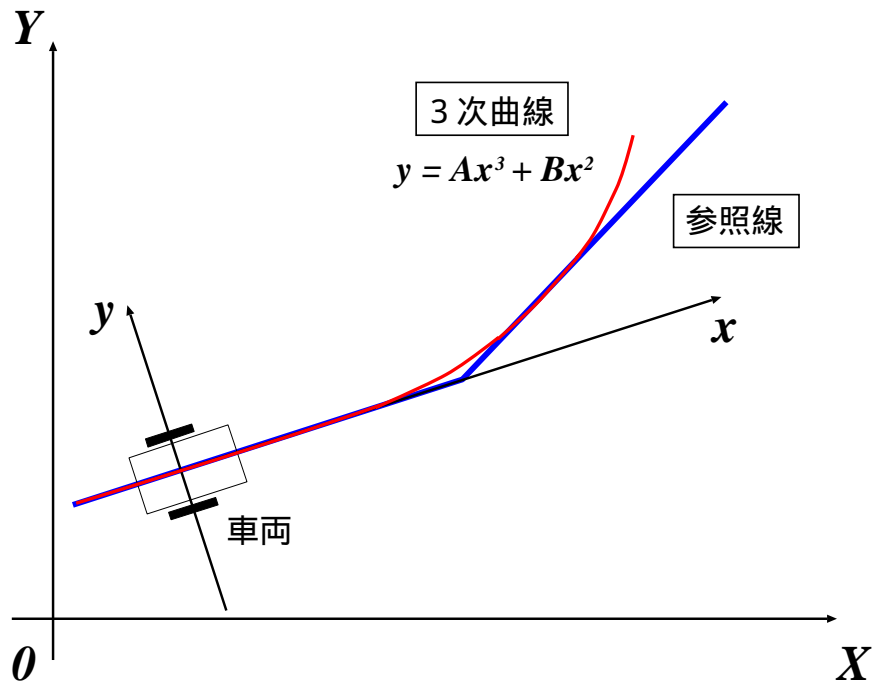


図 4.1: プレビューラテラル制御アルゴリズム

で与えることができる [25] .

車両が差動操舵型の場合は , 速度 v で走行する時の右車輪 , 左車輪の速度 v_l , v_r はそれぞれ ,

$$v_r = v + \Delta v \quad (4.3)$$

$$v_l = v - \Delta v \quad (4.4)$$

となる . ただし ,

$$\Delta v = v l' B \quad (4.5)$$

であり , l' はトレッドを表す .

制御周期毎に参照線の生成と 3 次曲線での近似を繰り返すことにより車両のラテラル制御が行われる . この時の制御周期は一定である必要はない .

(2) 小型移動車両

合流制御実験に使用した小型移動車両の外観およびシステム構成を図 4.2 , 図 4.3 に示す . 小型移動車両の大きさは約 $0.3\text{m} \times 0.43\text{m}$, 総重量は約 20kg , 最高走行速度は約

0.17m/s である。操舵方式は差動操舵方式で、車両の中央左右に駆動輪があり、前後中央部分にそれぞれ 1 個ずつのキャストが取り付けられている。搭載されたノートブック型コンピュータにより車両は制御されており、その制御周期は約 500ms である。駆動輪にはステッピングモータを使用しているがフィードバック制御を行っていないため、車両の速度および位置と方位はモータへの入力値から計算している。しかし、車両走行時の速度や軌跡は理論値とほぼ一致しており実際上の問題はない。

本走行実験では、ロンジチューディナル制御のパラメータとして $k_1 = 0.7$, $k_2 = 3.1$ を使用した。

(3) 車両間通信システム

車両間通信には、ノートブック型コンピュータに搭載された無線 LAN を使用した。本通信装置は他の車両と 1 対 1 および 1 対 n の通信を行うことができる。車両群間通信には無線 LAN の UDP によるブロードキャストを、車両群内通信には TCP をそれぞれ使用した。通信データの内容は各車両の走行状態、相対位置、方位および速度である。車両群間通信は約 1s 毎に行うものとした。車両群内通信は 1 通信に約 100ms を要するので、例えば 3 台で構成されるリングネットワークの場合、各車両は約 300ms 毎にデータを送信することになる。車両群内通信では TCP を使用しているため ACK を送信する必要はない。

本実験装置では通信周期と制御周期は同期していない。また、各車両間の通信周期および制御周期もまた同期していないため、車両間通信で得られたデータで車両制御を行うと制御に遅れが生じてしまう。そのため、今回の実験では制御周期を通信周期よりも長くすることで通信による遅れを吸収した。

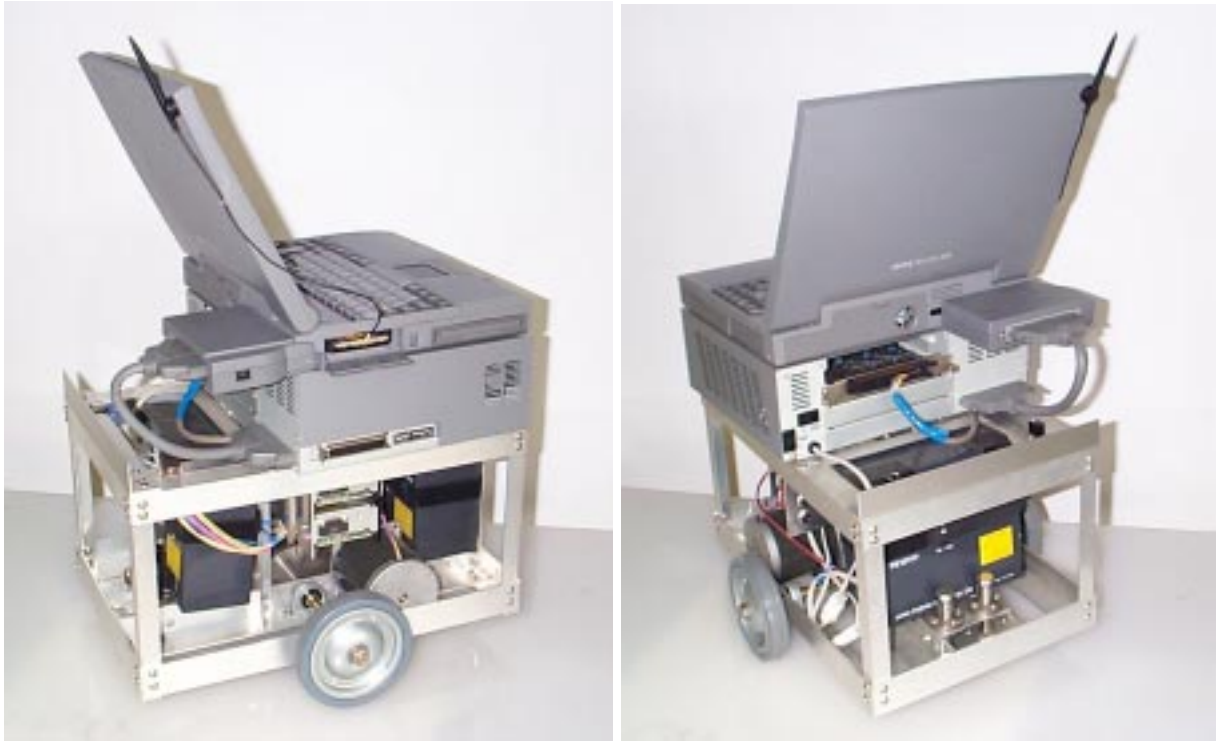


図 4.2: 小型移動車両

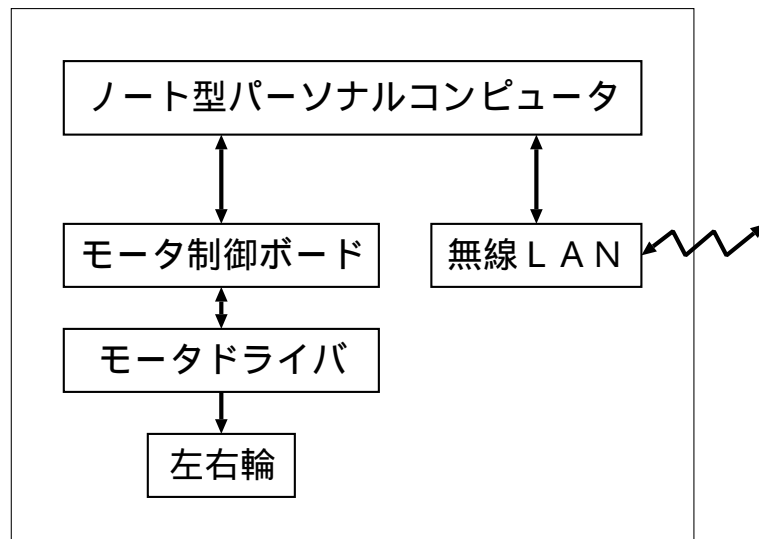


図 4.3: 小型移動車両のシステム構成

4.3 走行実験

走行実験は3台で構成される車両群による追従走行を行う場合と、2台で構成される車両群に単独車両が合流路において合流する場合の2通りについておこなった。

4.3.1 追従走行

まず、小型移動車両3台を用いて直線路を追従する走行実験を行った。車両間の設定車間距離を1.0m、初期状態での車間距離を1.4mとして、リングネットワークが形成された状態からの追従走行である。走行結果を図4.5～図4.7に示す。初期速度が0であるために、走行開始後10秒間ほど車間距離が初期状態よりも広がっているが、先頭車両が一定速度になると各車両の車間距離が速やかに設定車間距離に近付いていることがわかる。

図4.8に追従走行実験の様子を示す。初期状態(1)では、各車両の車間距離は1.4mになっている。(1)から(6)に進む間に、各車両の車間距離は設定車間距離に収束していることがわかる。

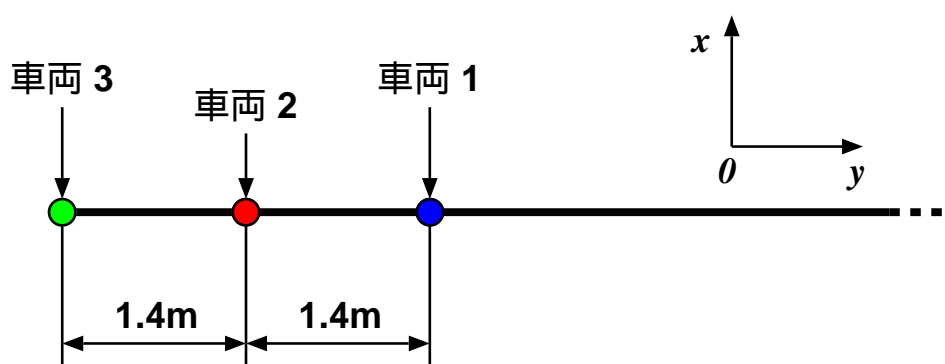


図 4.4: 追従走行実験コース

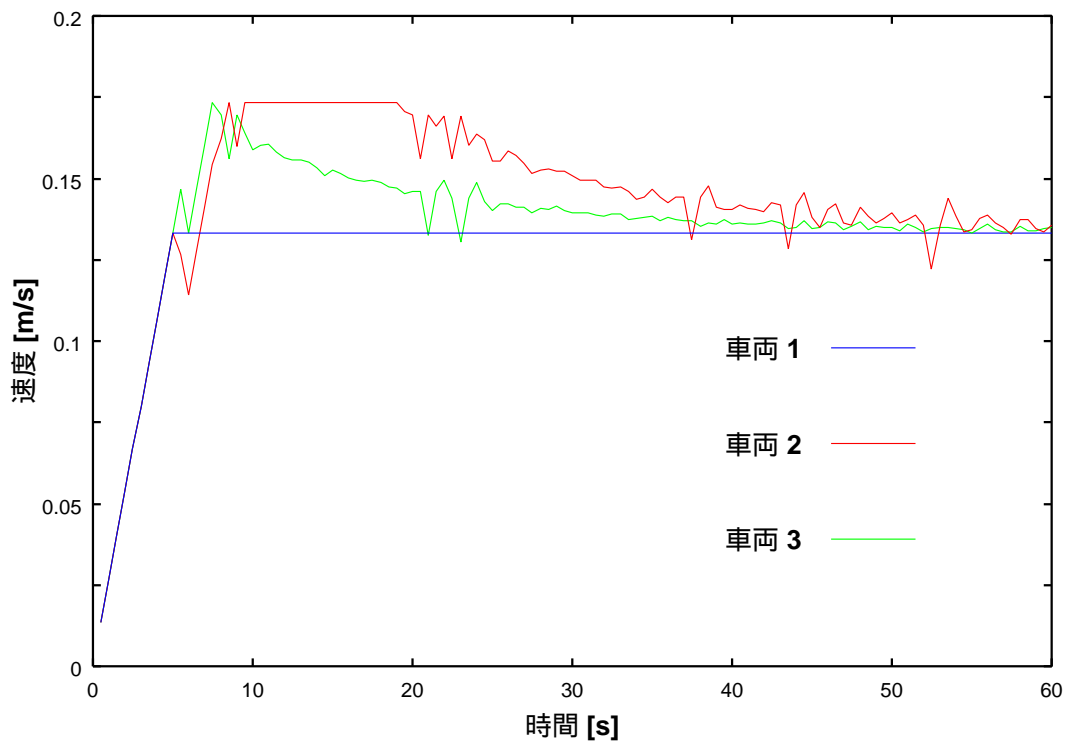


図 4.5: 車両の走行速度 (モータへの入力値)

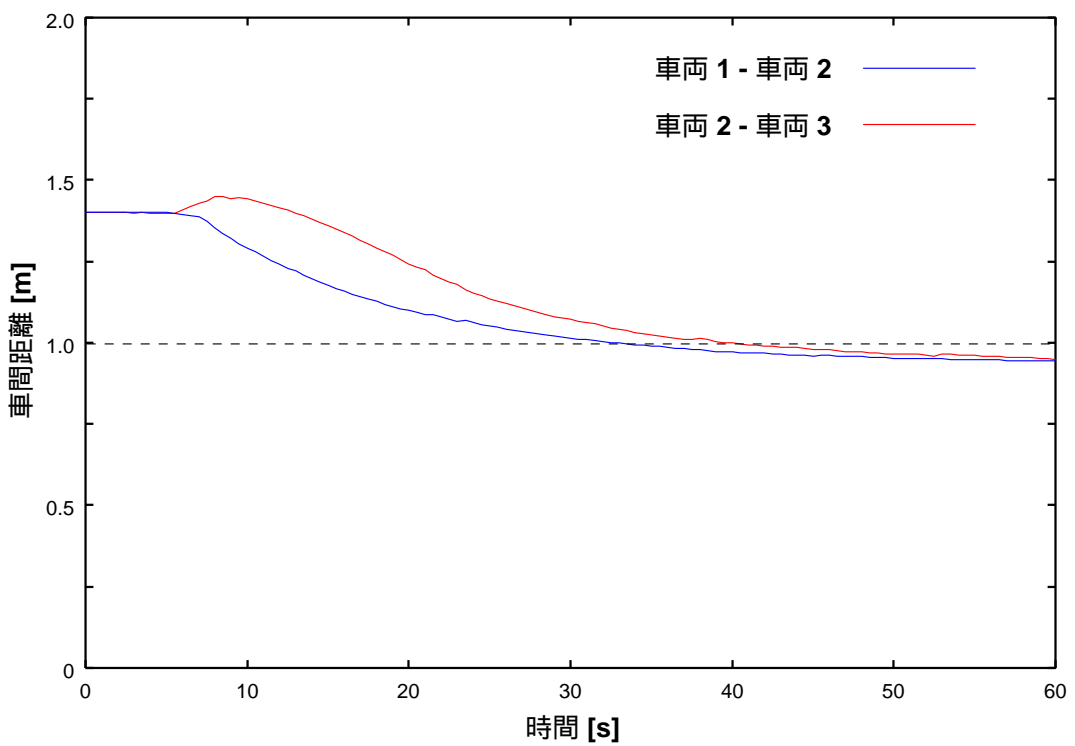


図 4.6: 車間距離 (モータへの入力値から計算)

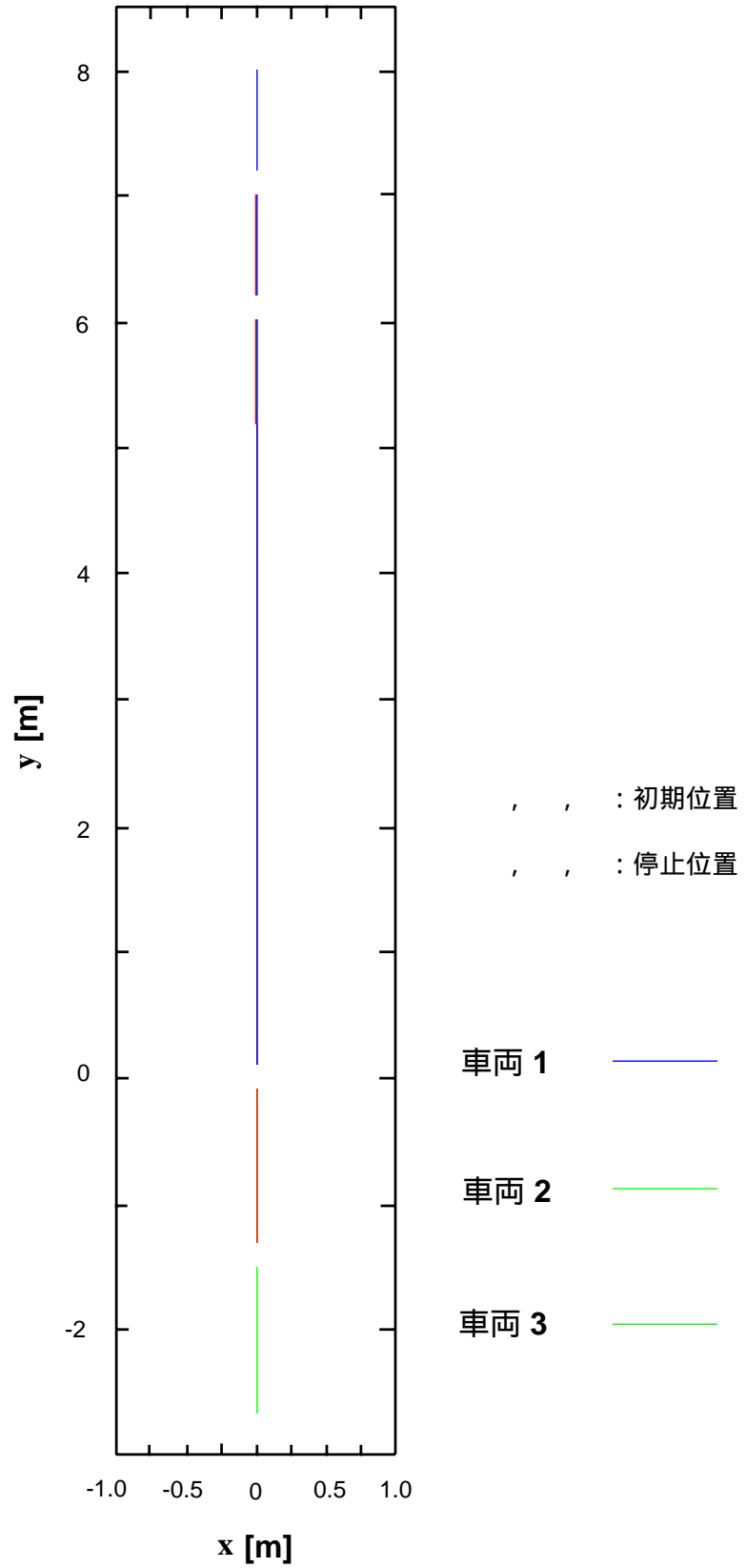


図 4.7: 車両の走行軌跡 (モータへの入力値から計算)



(1)



(5)



(2)



(6)



(3)



(7)



(4)



(8)

図 4.8: 追従走行実験の様子

4.3.2 合流走行

次に、車両 2 台で構成された車両群と単独車両の合流制御実験を行った。本線上を 1.0m の車間距離を保ちつつ走行する 2 台で構成される車両群に、支線上を走行している単独車両が合流する。図 4.9 に示すコースを使用し、車両群間通信に用いる通信ゾーンを図に示すように割り当てた。ゾーン 1 では各車両群は車両群間通信を行わず、ゾーン 2 まで進んでから通信が行われる。本線上の車両群は、初期状態でリングネットワークを形成している。

走行結果を図 4.10 ~ 図 4.12 に示す。車両 3 は 12 秒付近から合流準備を始めている。これは、車両 3 がゾーン 2 まで走行し、車両群間通信から本線上の車両群と合流することを知ったためである。車両 3 に続いて、車両 2 も 16 秒付近から合流準備を始めている。各車両は停止することなく合流できていることがわかる。

最後に、合流実験の様子を図 4.13 に示す。(1) から (2) までは本線上の車両群 (車両 1 と 2) と車両 3 は併走している。(2) はゾーン 2 に入った直後のシーンである。ここで、車両 1 と車両 3 は、車両群間通信を使用してお互いの位置情報を得る。車両 1 が合流車両 3 の存在を認識した時点で、車両 3 との車両群内通信を開始し、車両 1, 2, 3 のリングネットワークを形成する (通信の合流)。これにより、車両 3 が 1 と 2 の間に入ることがわかり、合流地点に至る (7) までの間に、車両 2 は 1 との車間距離を 2 倍に、車両 3 は前方に仮想車両 1' を生成して、それぞれが合流準備に入る。(6) は、車両 3 が 1, 2 の間に合流し

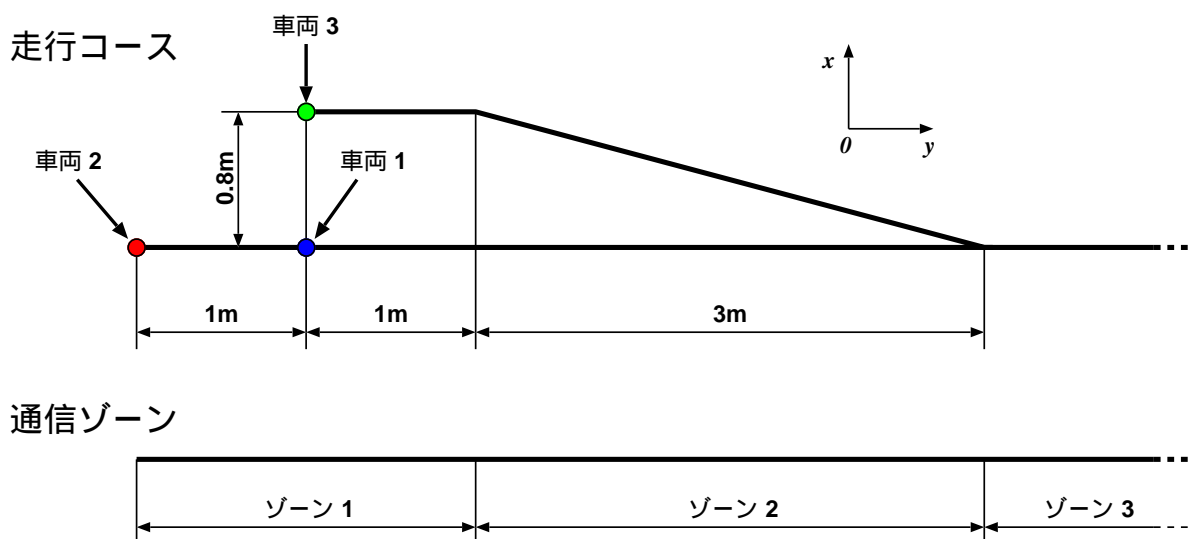


図 4.9: 合流実験コースと通信ゾーンの割当

たシーンである．この時点では，1-2間の車間に車両 3が入っただけで，1-3,3-2間の車間距離は保証されていない．この後，車両 3はラテラル制御により車両の向きを変え，A-C間，C-B間が設定車間距離になるように追従制御が行われる．(8)は，追従走行を続ける様子を示しており，安全かつスムーズに合流が行われたことがわかる．

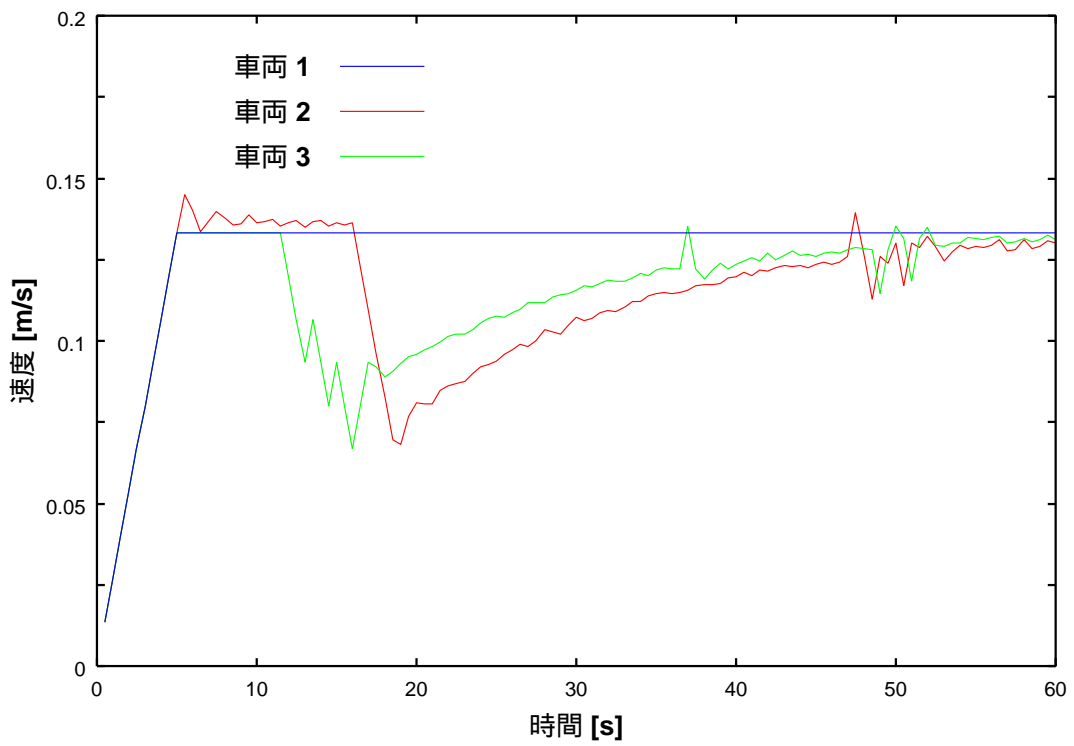


図 4.10: 車両の走行速度 (モータへの入力値)

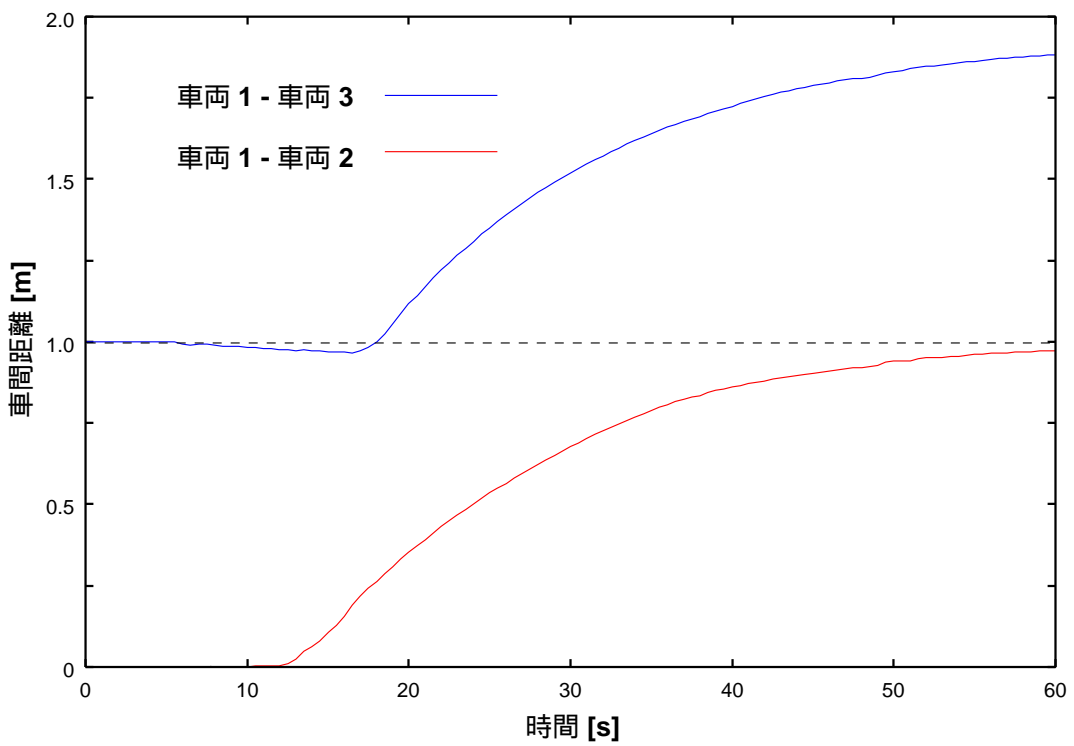


図 4.11: 車間距離 (モータへの入力値から計算)

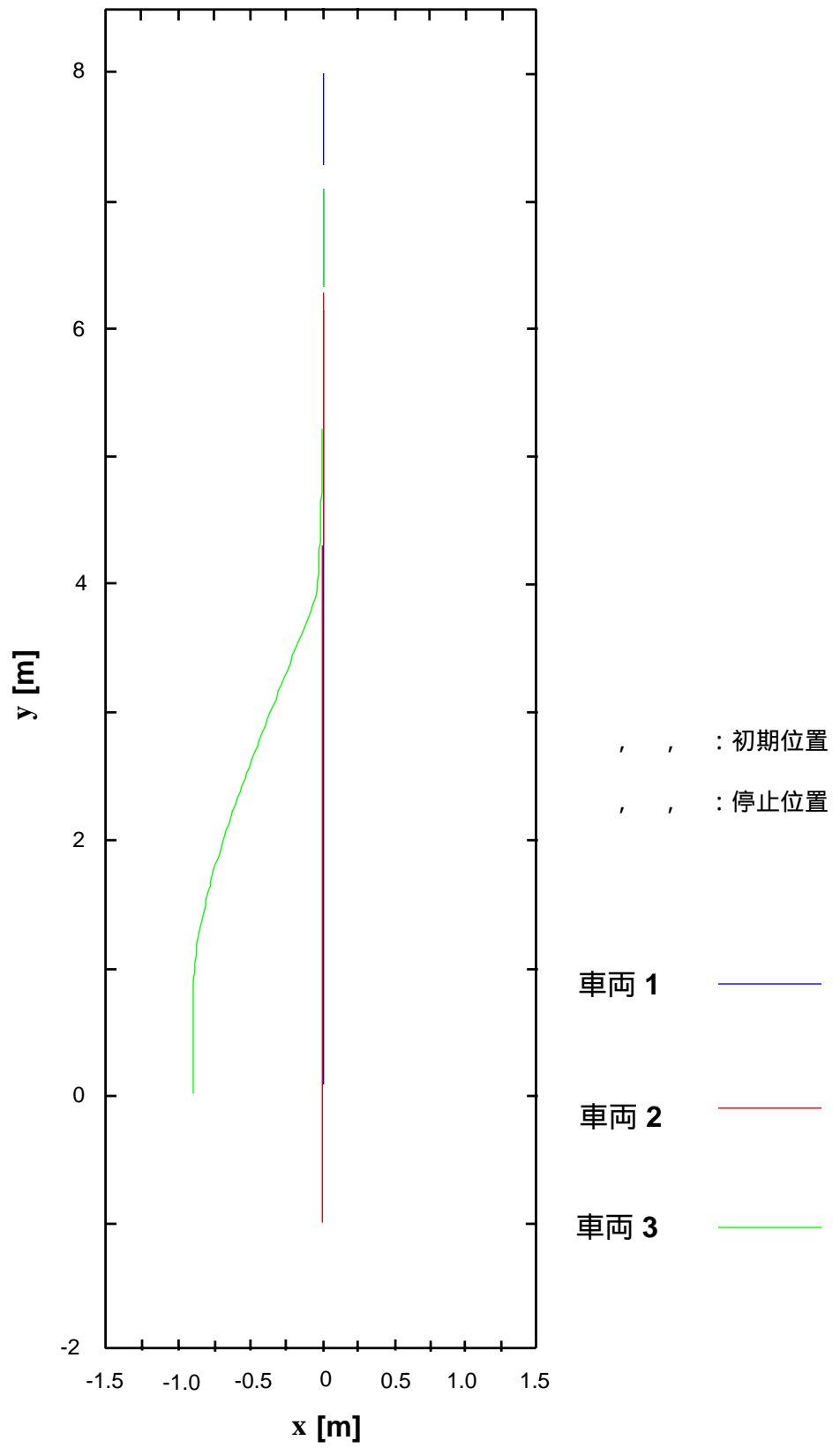


図 4.12: 車両の走行軌跡 (モータへの入力値から計算)

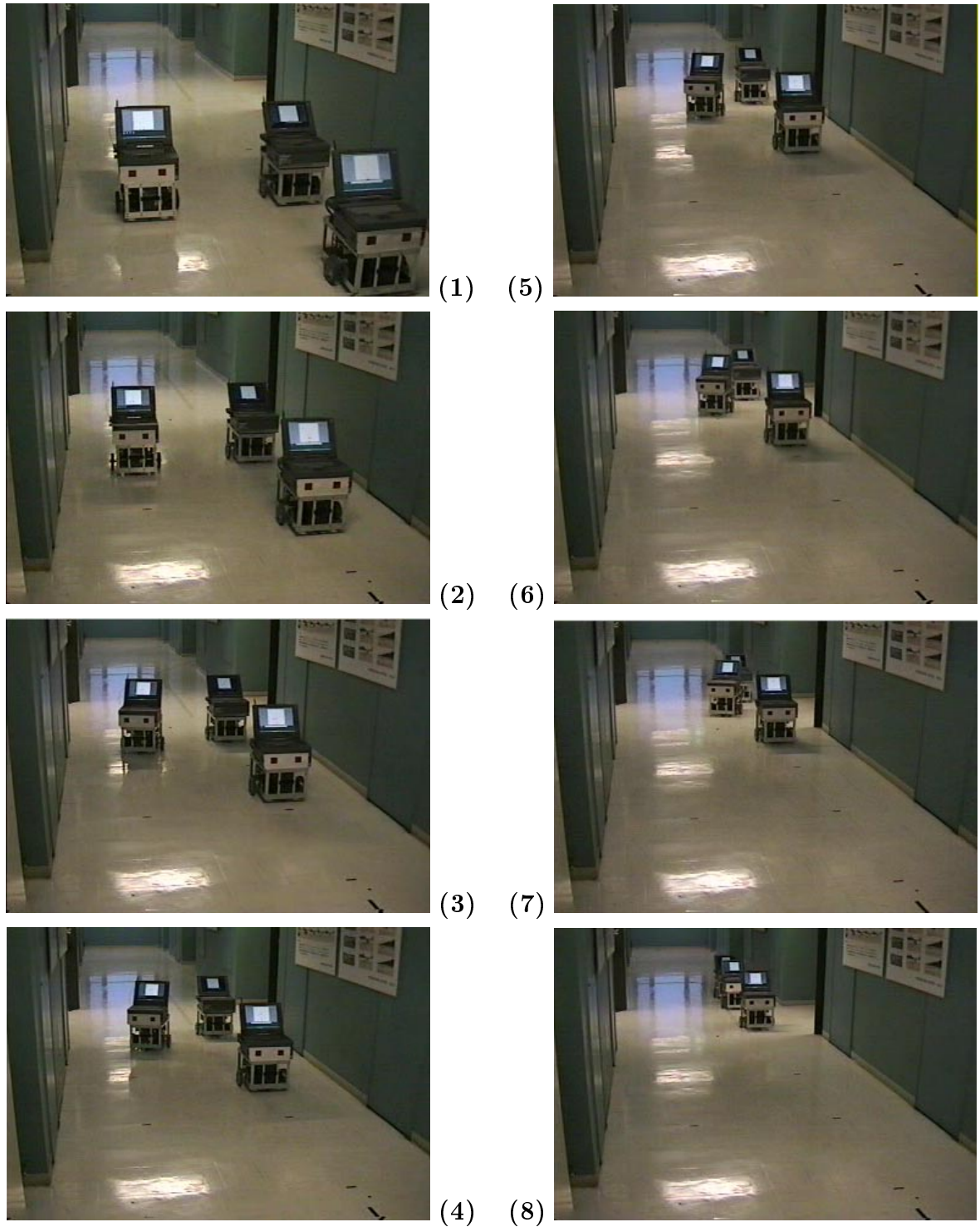


図 4.13: 合流走行実験の様子

4.4 まとめ

小型移動車両に車両間通信システムを実装し，リングネットワークを用いた通信アルゴリズムと仮想車両を用いた合流制御アルゴリズムの有効性を確認した．2台の車両で構成される車両群（設定車間距離 1.0m）に単独車両が合流する場合（定常時，速度 0.13m/s）， 0.026m/s^2 の減速度（ 0.06m/s の減速）で合流することが可能であった．

今回の実験では，車両間通信周期と車両制御周期の非同期性による車両制御への影響を吸収するために，車両制御周期を車両間通信周期よりも長くした．これは，本来ならば車両制御アルゴリズム側で対処すべき問題であり，車間距離制御アルゴリズムを改良する必要がある．

実験で使用した車間距離制御アルゴリズムは，設定車間距離に車間距離が収束する時間を制御パラメータによって決めることができる．短時間で合流する場合には減速度は大きくなり，十分な時間がある場合には減速度は小さくなる．予め走行路の形状にあわせて各合流路毎に最適な制御パラメータを決定しておくことにより，最適な合流を実現することができる．

今回の実験装置を時速 80km で走行する実車両に置き換えると，制御周期は 30ms 未満に，車両群内通信周期は 17ms 未満になる．したがって，本研究で提案した車両間通信システムおよび合流制御アルゴリズムを実車両上に実装する場合には，制御周期や通信周期等を車両のダイナミクス等を考慮して決定する必要がある．