

空港面誘導路上の航空機移動の二次元表現

溝口徹夫

岩手県立大学

ソフトウェア情報学部

mizo@soft.iwate-pu.ac.jp

空港面誘導路上の出発機・到着機の移動経路は管制官による管制許可を必要とする。移動経路は空港面の二次元空間に加えて、時間軸の表現を必要とする。出発機・到着機の移動経路をコンフリクトなく作成し、表示、確認、処理するためには、二次元的な表現形式が必要になる。三次元情報の二次元表現の方法を提案、誘導路、及び交差点での移動の表現と、コンフリクトの検出の方法を示した。また、空港内での移動のサンプルを使って表現の可能性を検討した。

Two Dimensional Representation of Aircraft Surface Movement in Airport

Tetsuo Mizoguchi

Department of Software and Information Science

Iwate Prefectural University

A scheme of two dimensional representation for Surface Movement of Aircraft in Airport is proposed. The information related to the Surface Movement is three dimensional; two dimensions in space and one in time. It is highly desirable to represent the Surface Movement information in a two dimensional form, since it enables for controllers to issue clearances, display and confirm the issued clearances, and modify them as required, while an algorithm will be provided to generate conflict-free clearances. The scheme is applied to a set of samples of actual aircraft movements.

目次

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. 背景 | 3.2 誘導路接点(交差点)の移動の表現 |
| 2. 本課題の環境条件 | 3.2.1 交差点を直進する場合 |
| 2.1 誘導路網 | 3.2.2 交差点で方向を変更する場合(左折・右折の例) |
| 2.2 誘導路網上で航空機の移動開始点 | 4. 移動表現とコンフリクト検出 |
| 2.3 誘導路網上で航空機の移動 | 4.1 誘導路線分上のコンフリクト検出 |
| 3. 表現の形式 | 4.2 交差点接点のコンフリクト検出 |
| 3.1 誘導路線分上の移動の表現 | 5. 誘導経路の決定方法 |
| 3.1.1 X軸に平行な誘導路出の移動 | 6. 空港面での出発、到着機の経路サンプリングによる経路図作成試行結果及びまとめ |
| 3.1.2 Y軸に平行な誘導路出の移動 | |
| 3.1.3 X,Y軸に平行な誘導路出の移動の重ねあわせ | |

1. 背景

航空管制には、飛行中の航空機を管制するほかに、空港内での地上(空港面)での航空機の移動についても管制が行われる。空港面での航空機の移動は、誘導路によって行われる。道路上の自動車や線路上の列車と類似する点があるが、いくつか異なる点がある。

- 空港面での航空機の移動には、衝突防止のため、管制官からの個別のリクアランスを必要とする。また、その方法も全世界共通である。それは、航空機は全世界を移動するためでもある。自動車や列車のように信号による交通管制を行うわけではない。但し、将来的には誘導信号を使用することもありえる。
- 当然、このクリアランスは、航空機同士が衝突しないように計画されて発行される。各航空機は空港面でのそれぞれの位置から、それぞれの時刻に移動を開始する。
- 空港面での航空機の移動についてのリクアランスはパイロットからの要請に応じて発行される。何日も前、何時間も前に移動の許可を出す訳ではない。天候、機材の準備状況によって移動開始が遅れることがあるためでもある。
- 列車におけるダイヤ編成は、毎日繰り返される列車の走行を表現したものであるが、航空機の移動のリクアランスは一回限り有効で、繰り返して使用されることはない。

現状では、管制官の頭の中での移動経路の決定を行い、音声による航空機へのリクアランスの発行がなされている。今後の発着機数の増加、滑走路本数の増加などを考慮すると、移動経路作成を行う管制官支援システムが必要になると予想される。そのためには、まず、空港面での航空機の移動を計画、監視、管理する目的で、空港面での誘導路上の航空機移動時間経路を表現する必要がある。面上の移動であることから、時間軸を入れた三次元の情報の表

現が必要になる。この情報の表現は、アルゴリズム的な解決に適すると同時に、人間への提示に適したものであることが求められる。本報告では、この三次元的情報を二次元平面上に表現する方法について触れる。

但し、航空機移動時間経路の表現だけでは、上記課題の解決には不十分で、決定された移動時間経路の関連航空機への通知、計画された移動時間経路に変更があった場合の対処も必要である。しかし、それらは航空機移動時間経路の表現なしには実現は困難である。

以下では、本課題の環境条件を明らかにし、航空機移動時間経路の表現の提案について触れる。

2. 本課題の環境条件

2.1 誘導路網

誘導路網は、空港面の誘導路である線分と、誘導路が接する交差点である接点からなる平面ネットワークである。誘導路線分は接点でのみ接続される。誘導路網は必ずしも基盤の目であるとは限らない。

2.2 誘導路網上での航空機の移動開始点

航空機を到着機と出発機に分類すると、

- 出発機はスポットから出発し、出発滑走路までの経路をたどる。
- 到着機は滑走路からの高速離脱誘導から誘導路網を経由してスポットに至る。滑走路にはいくつかの高速離脱路が用意されている。到着機がどの高速離脱誘導路を経由して滑走路から離脱するかは事前に確定は出来ない。速度を考慮してパイロットが判断するので、事前に確定は出来ないためである。

2.3 誘導路網上での航空機の移動

- 航空機は誘導路網上の線分を移動するが、誘導路上では移動の方向は双方向可能である。航空

機はプッシュバックなどの特殊な場合を除いて前方向に移動する。

- 航空機は誘導路網の接点で左右回転ないしは直進を行う。また、特定の停止線では停止を行う。衝突を防止するために停止をすることもある。衝突や停止の可能性を減らすために、一定の空間的、時間的間隔を移動航空機間で保つ。
- 誘導路線分上、接点(回転)での移動速度はばらつきがあるが標準的な時間で移動するものとする。
- 望ましい移動は、停止による stop and go の回数が少ないことによる燃費上の経済性である。最短距離、時間も対象となり得る。

3. 表現の形式

3.1 誘導路線分上の移動の表現

3.1.1 X 軸に平行な誘導路での移動

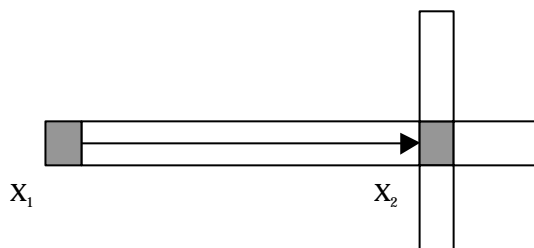


図 3-1

簡単化のために、X 軸に平行な誘導路を想定し、点 X_1 から点 X_2 へ航空機が移動しているものとする、移動における X 軸上の位置と時間の関係は次の二次元表現が出来る。

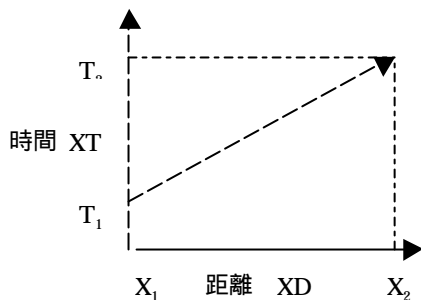


図 3-2

ここに T_1 は X_1 地点通過の時間であり、 T_2 は X_2 地点通過の時間である。移動が点 X_2 から点 X_1 へ場合は以下に示すように移動方向が逆になる

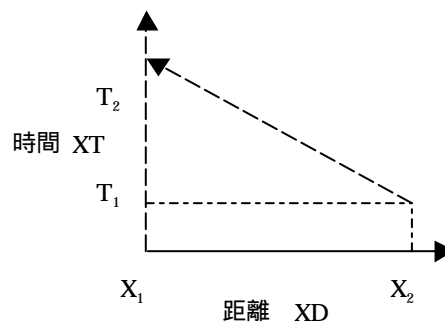


図 3-3

3.1.2 Y 軸に平行な誘導路での移動

Y 軸に対しても同様な想定をすれば、次の二次元表現が出来る。

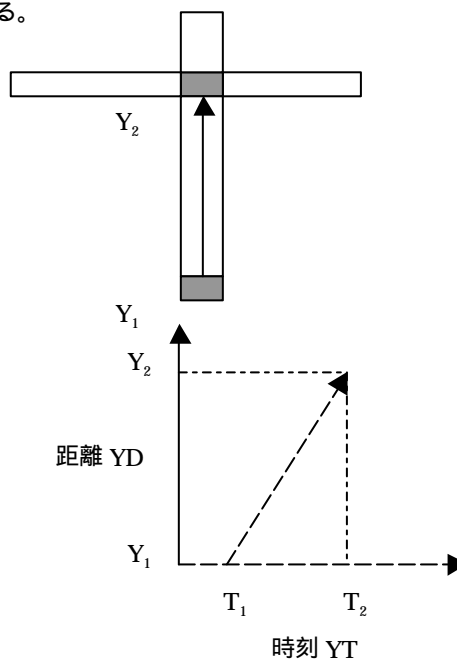


図 3-4

3.1.3 X,Y 軸に平行な誘導路での移動の重ねあわせ
以上 X,Y 軸の図を重ねあわせると次の表現になる。

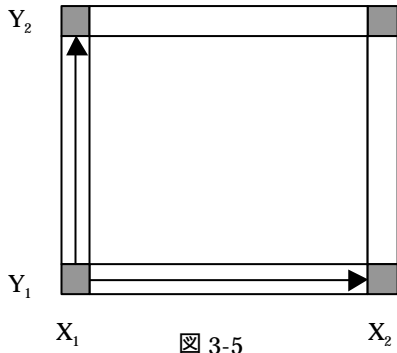


図 3-5

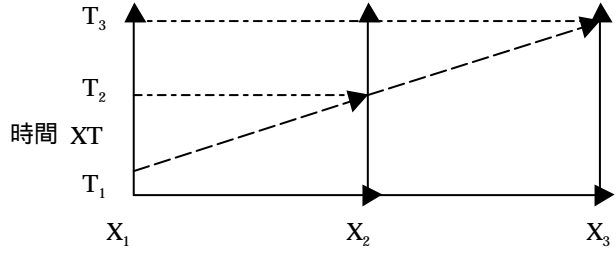


図 3-8

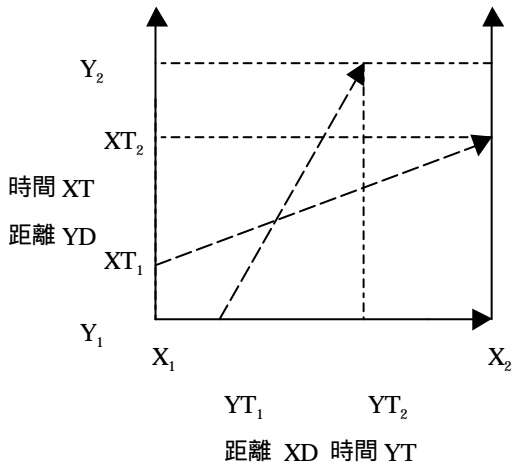


図 3-6

以上の表現は、X,Y 軸共に、一方向のみを表現したが、逆方向も同様に表現できる。以上を組み合わせると以下の表現になる。

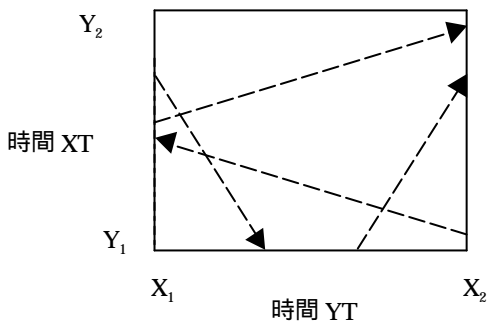
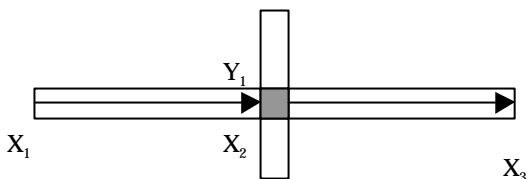


図 3-7

3.2 誘導路接点(交差点)の移動の表現

3.2.1 交差点を直進する場合



3.2.2 交差点で方向を変更する場合(左折・右折の例)

X 軸の移動から Y 軸への移動に切り替わる際、下図の例では、時間を $XT_2 = YT_1$ とする。

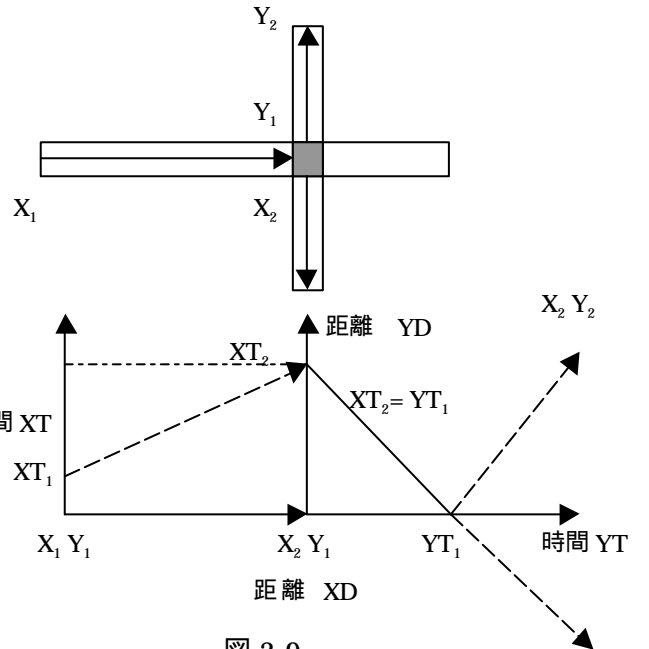


図 3-9

3.3 時間軸の実時間シフト

上記の移動の表現は表現上時間軸を固定した表現としているため、現時刻での航空機の位置が、誘導路上とは異なる点に位置付けられるということになり、直感的な理解が困難となると思われる。そこで時間軸の原点が常に現時刻となるように時間軸をシフトしていけば、移動している航空機は、図の上でも誘導路上を移動する表現になり、以後の移動経路が付随して示されることになる。

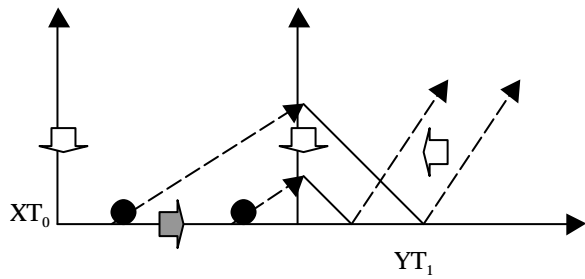


図 3-10

白矢印は時間軸のシフト、黒矢印は航空機の位置移動を示す。

航空機の移動は一回のみ有効で、再利用はされないことを考慮すれば、移動の計画、移動の監視、移動の修正などには現時刻を基点とした表現が望ましいと言える。

4. 移動表現とコンフリクト検出

4.1 誘導路線分上のコンフリクト検出

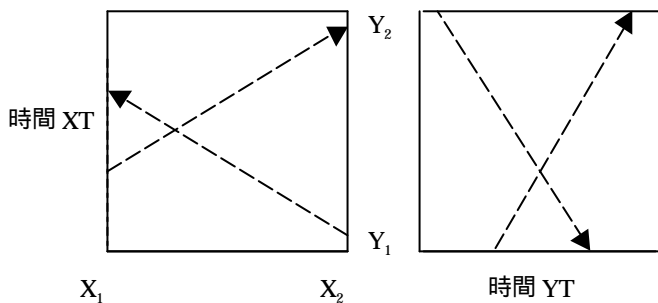


図 4-1

X 軸、ないしは Y 軸での逆方向の移動の交差がある場合はコンフリクトがある。

4.2 交差点接点のコンフリクト検出

一つの接点に対する X,Y 軸での時間軸上に同一時間の通過がある場合はコンフリクトがある。

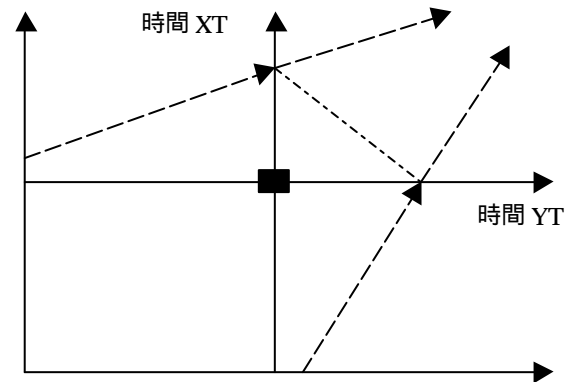


図 4-2

5. 誘導経路の決定方法

経路作成機能として以下の規則に基づいて経路作成をする。以上で記した図を経路図と呼ぶ。

- 出発機は出発する順番に逐次的に経路図にスケジュールする。即ち、各出発機のスケジュールは経路図に一個ずつ追加される。出発する順番とは、クリアランス要求を出した順番である。
- 各出発機のスケジュールは標準スケジュールに沿って作成される。標準スケジュールには第一標準、第二標準の二段階を設け、そのいずれかでスケジュールすることとする。どの標準を選択するかは、停止回数の少ない方を優先する。
- 到着機は到着する順番に逐次的に経路図にスケジュールする。即ち、各到着機のスケジュールは経路図に一個ずつ追加される。到着する順番とは、滑走路に着陸する順番を指す。
- 各到着機のスケジュールは標準スケジュールに沿って作成される。標準スケジュールには高速離脱路の別に、第一標準、第二標準の二個設け、そのいずれもスケジュールする。共に、スケジュールに加えられる。
- 出発機と到着機のスケジュール上での優先度は付けない。

6. 空港面での出発、到着機の経路サンプリングによ

る経路図作成試行結果及びまとめ

- 1) 碁盤目上での経路図の作成は提案の方法で表現が出来た。
- 2) 時間のスケールを大きくとるとある時間帯の経路図は全て記述可能であり、便間の関係(前後関係やコンフリクト回避できる間隔の確保)を確認するには有効であるが、個々の便での詳細な時刻の表示などには不向きになる。逆に、時間帯を細かくとると、あるブロックからはみ出す経路が出てくる。表示時間帯はサンプルでは2時間とした。
- 3) 碁盤目状になっていない誘導路が存在し、その部分では次のような問題があることが分かった。たとえば、下図の移動の場合、実線の移動の表現は、碁盤目状のものと同じであるが、点線の移動については、時間と空間の食い違いが生じる。点 P_2 は点の中間点としての空間的・時間的位置付けであるが、下図に示すように、 P_2 P_3 間ではY方向移動時間軸が、 P_1 P_3 間の時間幅の半分しか表現されない、例での実線と点線の時刻はずれが生じる、という問題が生じる。この問題を解決するために、この例での、点線の部分の横軸は実線の横軸とは別物として延長し、重ね合わせて表示することにした。

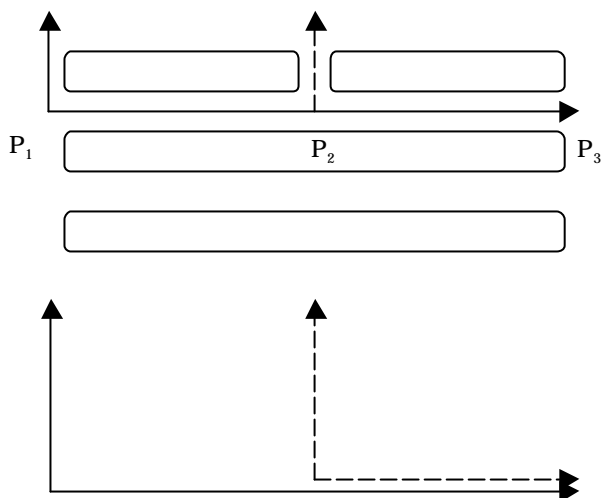


図 6-1

但し、この欠点は、時間軸の実時間シフト、監視する時間スケールを適切に取れば、問題とはならないと想像される。

- 4) 以下のような誘導路の構成に対しても、本表現形式は対応出来ることが確認された。

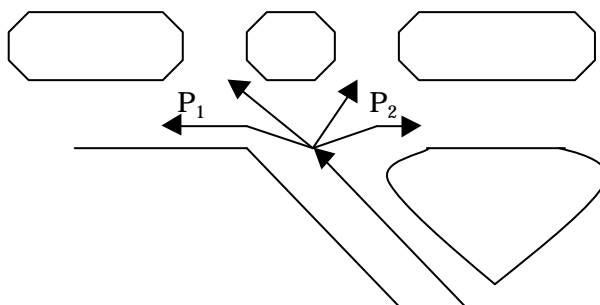


図 6-2

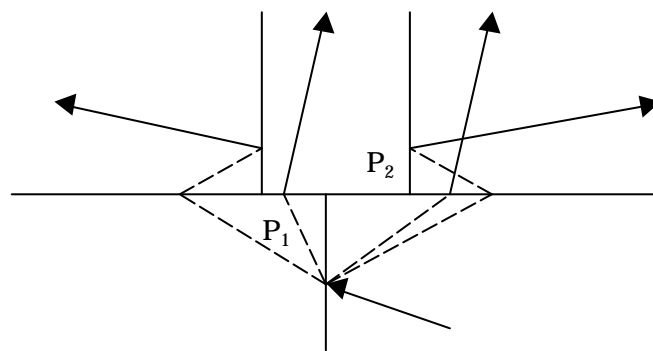


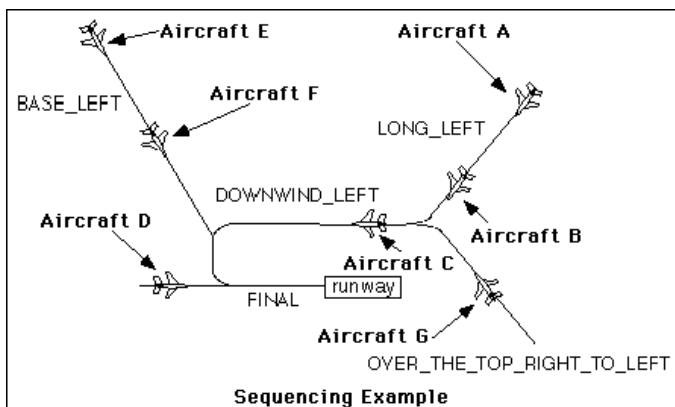
図 6-3

- 5) これらの表現によって、次のことが可能になったと言える。

- 個々の出発または到着便の経路を、他の出発または到着便と間で、時間と空間の関係において、一定の間隔が保てるよう作成できる。
- 個々の出発または到着便の経路を、時間と空間の関係で表示、確認、処理できる。
- 出発と到着便相互間の経路を、時間と空間の関係で表示、確認、処理できる。
- ある特定の区間での、全出発・到着便経路の時間関係を表示、確認、処理できる。

補足 航空に関するこの種の表現の一つに NASA/FAA の CTAS プロジェクトでの到着機のシーケンシングに関するものがある。これは、到着機の着陸順序を決定、ないしは計画した際の順序付けを時間軸上に表現するもので、四次

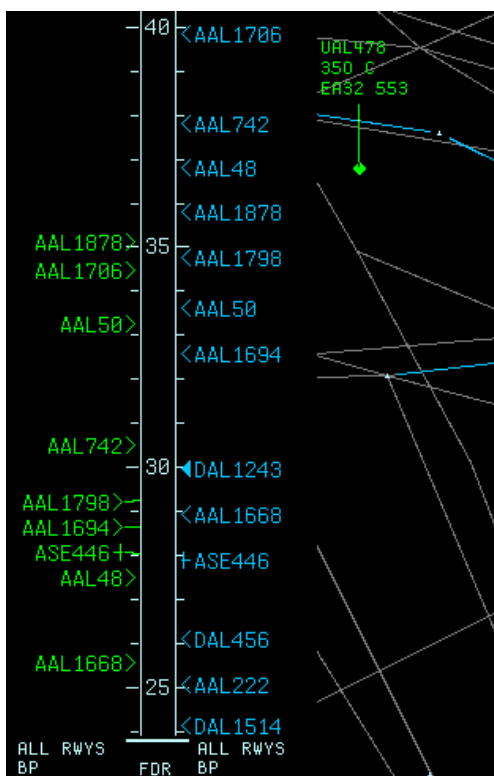
元、ないしは三次元の情報を二次元、ないしは一次元に写像するものではない。参考までに、CTAS の表現を示す。



最初の図はシーケンシングの説明上の図で、この表現を管制官に提示しているわけではない。下図は管制官の画面に表示される到着機の線形表示である。

参考

http://www.ctas.arc.nasa.gov/project_description/fast.html



謝辞 本報告についてのコメントを三菱電機株式会社 木村功一氏にいただいたことに感謝したい。