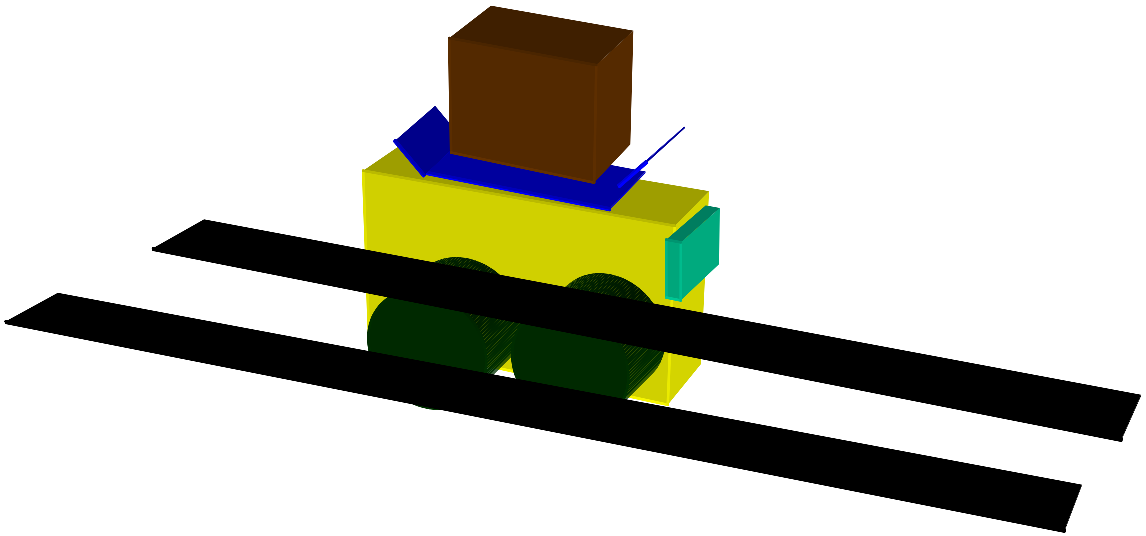
自動搬送台車の経路探索問題に対する近似解法の提案



4497065 時田 陽輔
（沼田研究室）

構成

１．はじめに

工場内での生産活動においては、物（原材料、部品、半製品）の移動が必要不可欠である。

⇩

移動装置の設置･運用は製造費用の大きな割合を占めている。

従来：少品種多量生産・・・ ベルトコンベアに沿った加工が主流である。

現在：多品種少量生産・・・ ベルトコンベアでは対応しきれなくなった（品種ごとに異なる搬送加工経路が必要）。

⇩

新しい搬送装置の必要が生じる。

⇩

自動搬送台車システム（以下ＡＧＶシステムと呼ぶ）が現れた。

2．ＡＧＶシステム

○　ＡＧＶシステム < Automated Guided Vehicle System >

◎　複数の場所をつなぐ線路と、その上を自由に走行できる台車

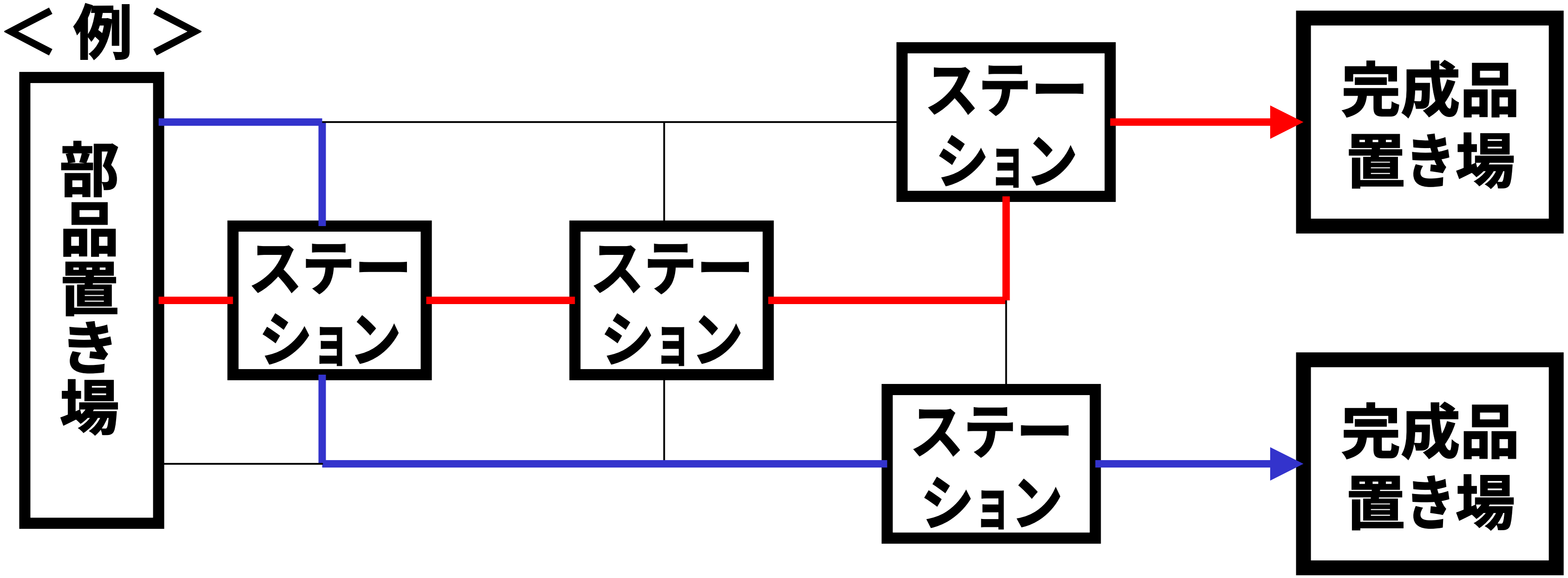
＜　特徴　＞

①　台車は、指令によってステーション（作業場）間を移動する。

②　必要なときに必要な量を運ぶことが出来る。

③　プログラムにより制御される（要求を受けて動く）。

＜例＞



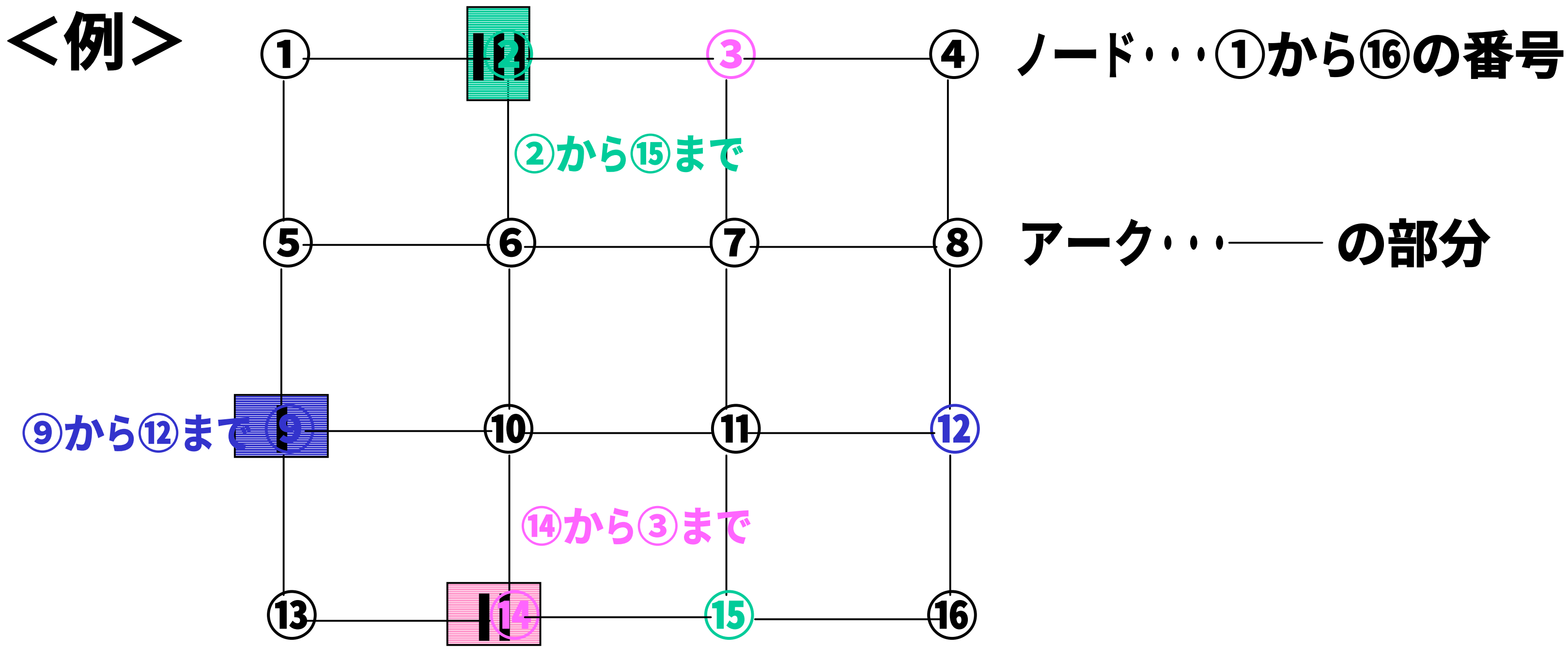
3．AGVシステムの問題点

◎本研究では、AGV システムを簡単化したモデルで考える。

○ 移動要求 ・・・ 発ノードから着ノードまでの移動。
台車がm台与えられたときに、m個の移動要求が与えられる。

○ ノード ・・・ ステーション、経路分岐点。
ノードには同時に1つの台車しか入れない。

○ アーク ・・・ 台車の走行区間。
アーク上を途中で戻ることは不可能とする。
アークには同時に1つの台車しか入れない。



移動要求が発生すると、複数の台車に経路を割り当てる必要がある。

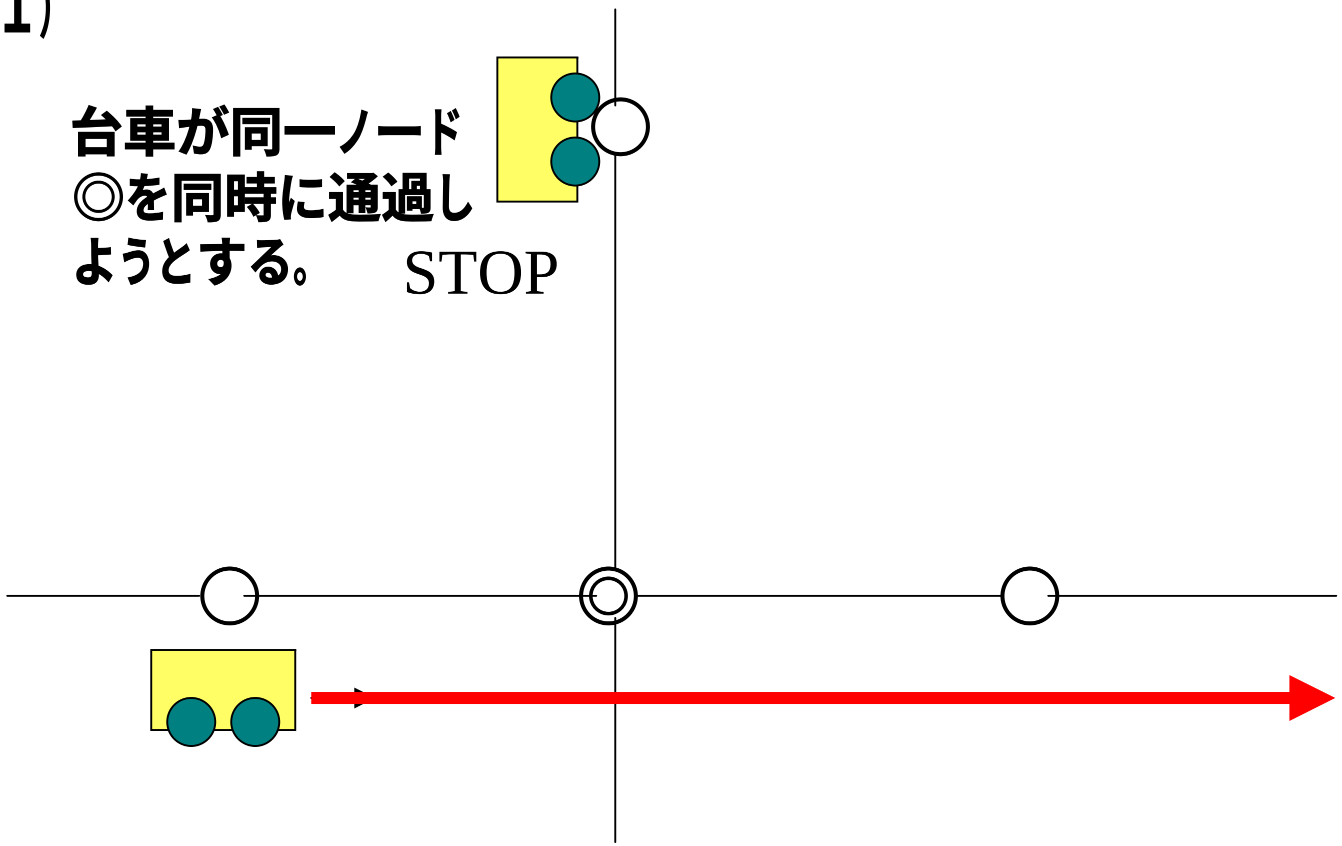
⇩

経路の組合せによって台車同士が衝突する可能性がある（ブロッキング、デッドロック）。

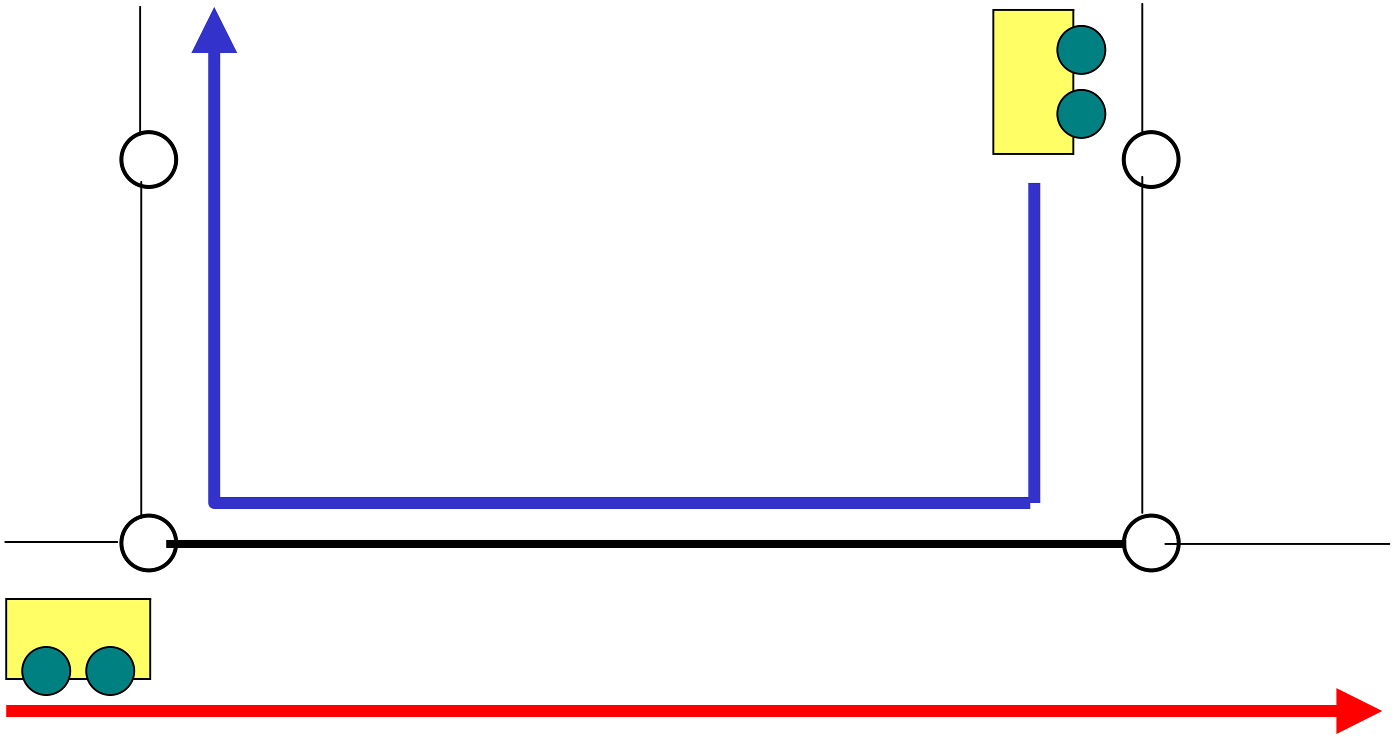
ブロッキング ⇨ 一方の台車が他方の経路を一時的に塞いでしまうこと。

（例1）

台車が同一ノード◎を同時に通過しようとする。



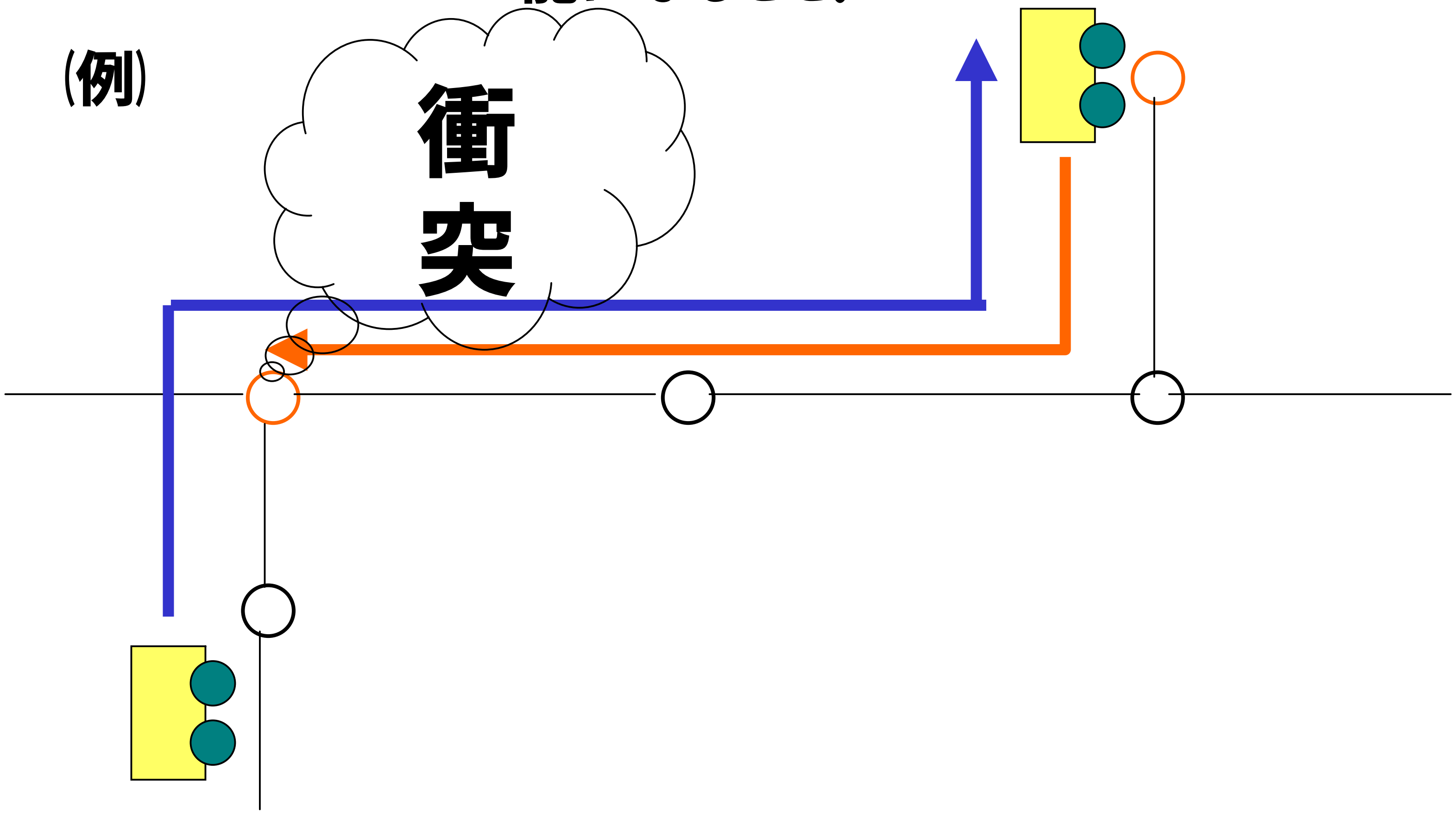
（例2）



太線部分の共有パスを持つとき、一方の台車が通過するまで手前のノードに待ち時間を設ける。

デッドロック ⇨ 共有パスに両台車の発ノード、あるいは着ノードが含まれていて、干渉が回避不能になること。

(例)



4．　研究目的

目的　：　台車間の干渉（衝突）が起きないという制約の下で総所要時間（各台車の走行時間と待ち時間の和）が最小となる経路と経路上のノードにおける待ち時間を各台車に割り当てるアルゴリズムを考える。

⇩

文献１に沿って、格子状ネットワークの場合で問題を設定し、解法を提案する。

5．本研究で扱う経路決定問題

5．1　前提

①　搬送要求は時刻0において、一斉に与えられる。

②　各台車は時刻0において、出発ノードに位置している。

③　各台車の速度は同一である。

④　各リンクの通過に要する時間はリンクと方向によらず一定（a単位時間）である。

⑤　ノードの通過に要する時間は直進、右左折によらず無視できる。

⑥　経路は最短経路（回り道のない経路）のみを対象とする。

５．２　問題

○目的　：　m個の搬送要求が与えられたとき、要求を満たし、走行時間と待ち時間の和を最小とする経路と待ちノード（待ち時間）を台車に割り当てる。

○制約　：　ノードにはe時間内に１つの台車しか入れない。

アーク上を途中で戻ることは不可能。

アーク上では衝突しない。

○考え方　：　走行時間は定数（前提⑥より）となるので、待ち時間だけを最小化する。

m＝３、a＝e＝１とする。

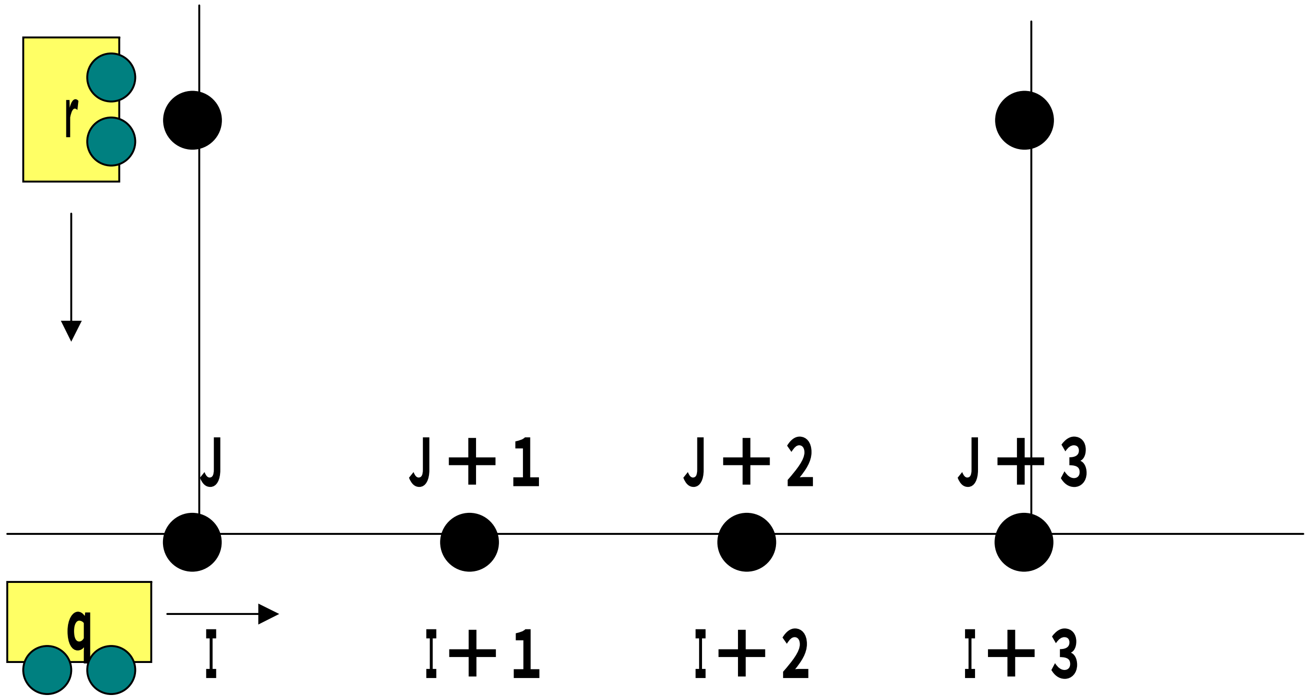
５．３　文献１の方法

２台の台車の経路間に共有パスが存在する。

同方向か逆方向か、またどちらの台車を先に通過させるかで場合分けする（ＬＰ問題が４つ与えられる）。

＜同方向の共有パスが存在する場合＞

○台車qがrより先にパスを通過する場合



Ｉ　：台車qのＩ番目のノード
Ｊ　：台車rのＪ番目のノード

干渉を起こさないためには次の制約式が必要である。

ノード1～I+h-1までの待ち時間　アーク1～J+hまでの走行時間

$$\sum_{i=1}^{I+h-1}\left(a_{n_{qi}n_{qi+1}}+x_{qi}\right)+x_{qI+h} \leqq \sum_{j=1}^{J+h-1}\left(a_{n_{rj}n_{rj+1}}+x_{rj}\right)-e \;, \quad h=0,\ldots u$$

ノードI+hでの待ち時間　ノード1～J+h-1までの待ち時間

アーク1～I+hまでの走行時間

a_{ij} ：ノードi、j間の走行時間

n_{qi} ：台車qの経路のi番目のノード

x_{qi} ：n_{qi}ノードでの待ち時間

e ：禁止時間

◎ n台の台車のうち任意の2台を考えたとき

経路に共有ノードが存在

⇩

いずれか一方の台車を先に通過させる

⇩

１つのＬＰ 問題が与えられる

したがって、ＬＰ 問題の数は、$2^{(\text{共有ノード数})}$ で増加する。これは極めて大きな障害になる。

⇩

本研究では、待ち時間の設け方を含めて、近似的探索を提案する。

５．４　本研究の仮定･方針

ｉ．　ノードでの待ち時間はeの倍数とする。

ii．　m個の搬送要求の出発点と目的点は相違なる。

iii．　経路集合πの２経路間に、逆向きの共有アーク部分が２箇所以上ある場合には、この組合せを探索対象から除く。

5．5　定式化

格子状のネットワーク上でm個の搬送要求が、m台の台車に与えられたときの状況を考える。

搬送要求番号　$q, r\ldots$ $(q, r\ldots \in M = \{1,2,\ldots,m\}$) 。

搬送要求　Q：$Q = \{(o_1, d_1),\ldots,(o_q, d_q),\ldots,(o_m, d_m)\}$ ただし o_q、 d_q は第q搬送要求の出発点と目的点。

経路集合　$PATH_q$：o_qからd_qへの経路全体の集合。$(q = 1,2,\ldots,m)$

経路組合せ　$\pi = \pi_1,\ldots,\pi_q,\ldots,\pi_m$ ただし、$\pi_q \in PATH_q$。前提⑥より$PATH_q$ に属する経路の長さ（ノード数）は等しい。これを、L_qで表す。

経路通過ノード　$\pi_q(i)$：o_qからd_qへ向かう経路π_qがi番目に通過するノード。ただし、$\pi_q(0) = o_q$、 $\pi_q(L_q) = d_q$ 。

ノード休止時間　$x_q(\pi, i)$：経路組合せπのもとで、経路π_qがその第iノードで休止する時間。

minimize $\sum_{q=1}^{m}\sum_{i=0}^{L_q-1} x_q(\pi, i)$

搬送要求ごとの各ノードでの総待ち時間

sub.to $\forall q、r \in M、0 \leqq \forall i \leqq L_q、0 \leqq \forall j \leqq L_r$

if $\pi_q(i) = \pi_r(j)$ then

経路πqのi番目のノードと経路πrのj番目のノードの位置が同じ時

$\left| \sum_{k=0}^{i-1} x_q(\pi, k) + ia - \sum_{l=0}^{j-1} x_r(\pi, l) - ja \right| \geqq e、i、j \in (i \neq L_q、j \neq L_r)$

経路πqのi番目のノードと経路πrのj番目のノードの通過時間の差がe以上ある。

if $\pi_q(i) = \pi_r(j)$ then

$\sum_{l=0}^{j-1} x_r(\pi, l) + ja \leqq \sum_{k=0}^{i-1} x_q(\pi, k) + ia - e \quad (i = L_q)$

i番目のノードが第q搬送要求の終点。

if $\pi_q(i) = \pi_r(j)$ then

搬送要求rを受けた台車がノードjを通過してからe以上時間差がある。

搬送要求qを受けた台車がノードiを通過してからe以上時間差がある。

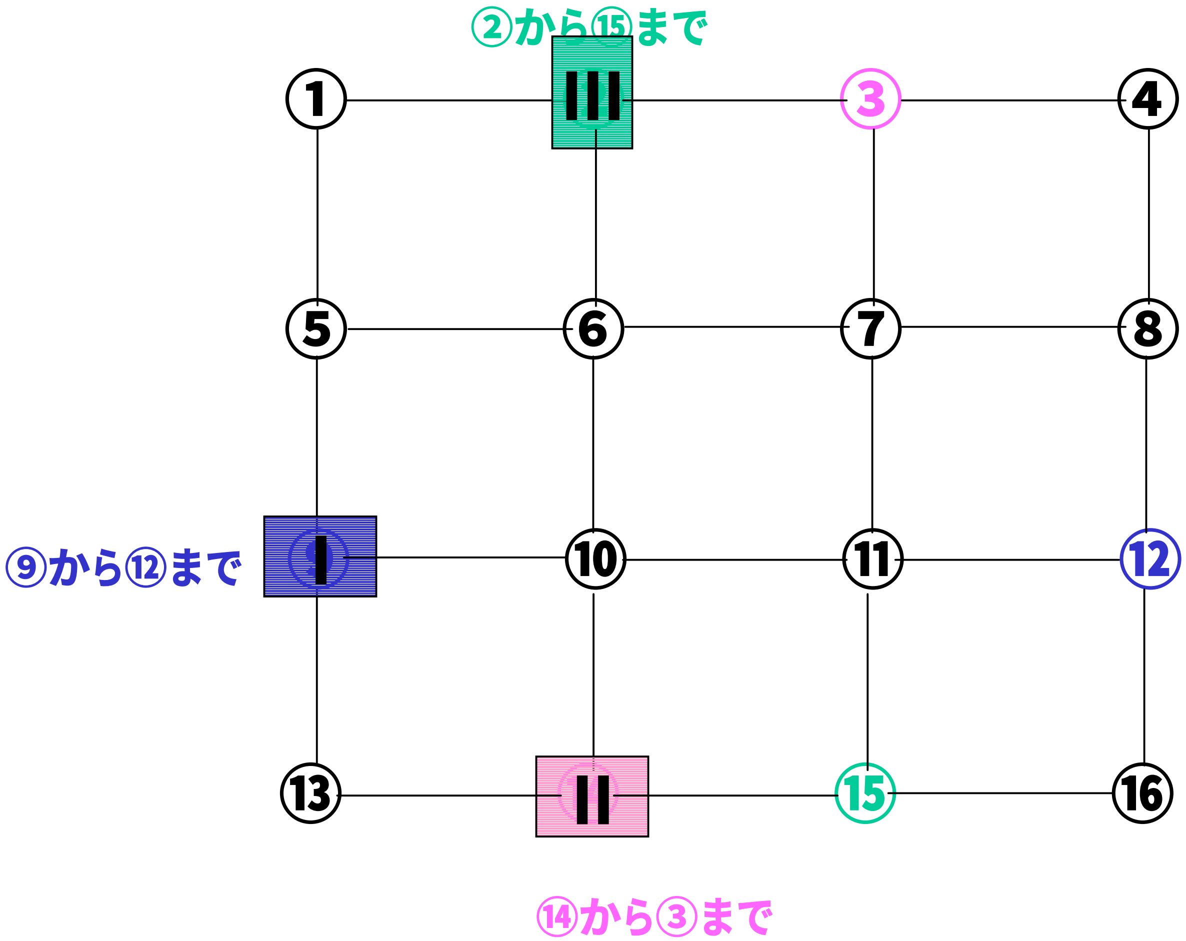
$\sum_{k=0}^{i-1} x_q(\pi, k) + ia \leqq \sum_{l=0}^{j-1} x_r(\pi, l) + ja - e \quad (j = L_r)$

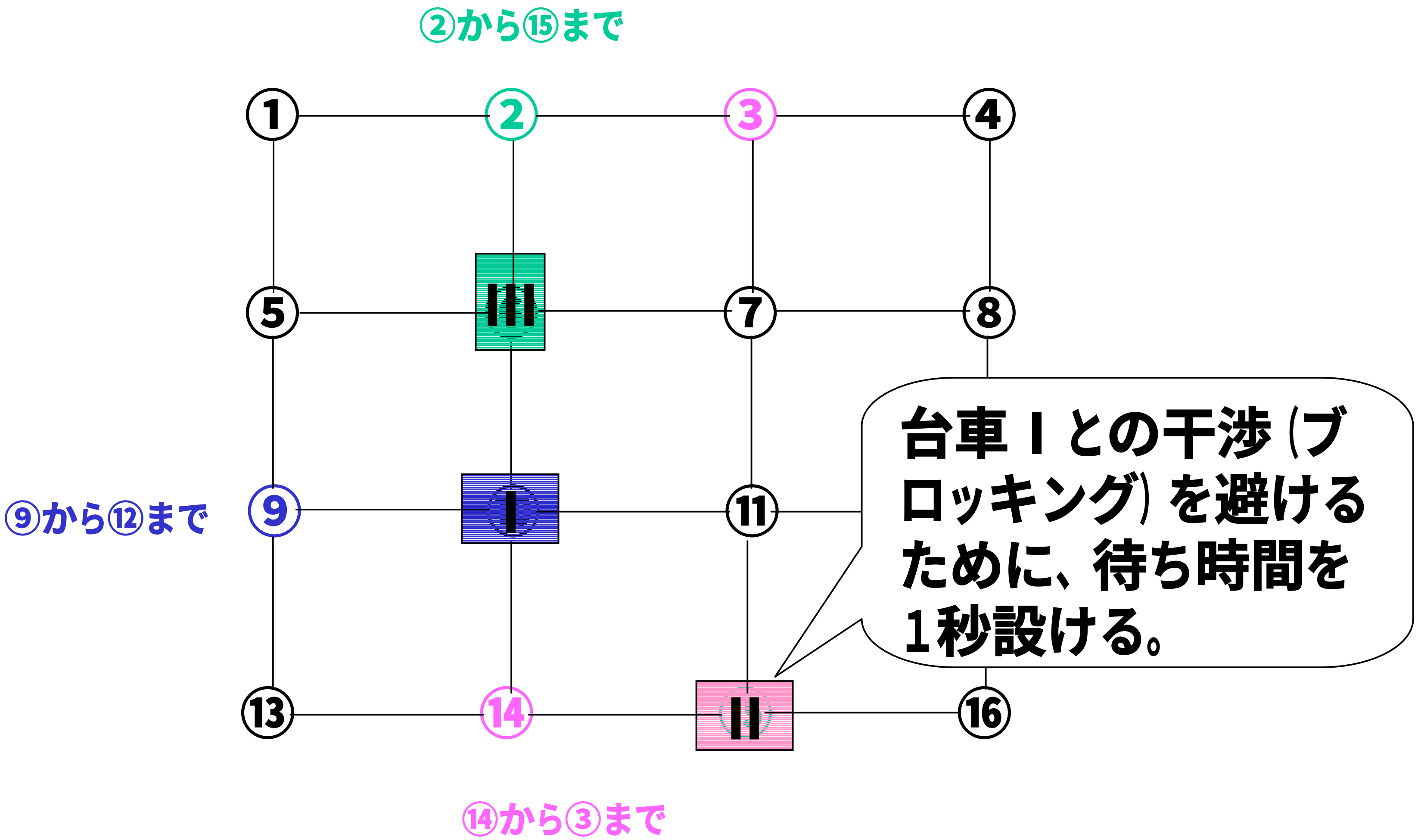
J番目のノードが第r搬送要求の終点。

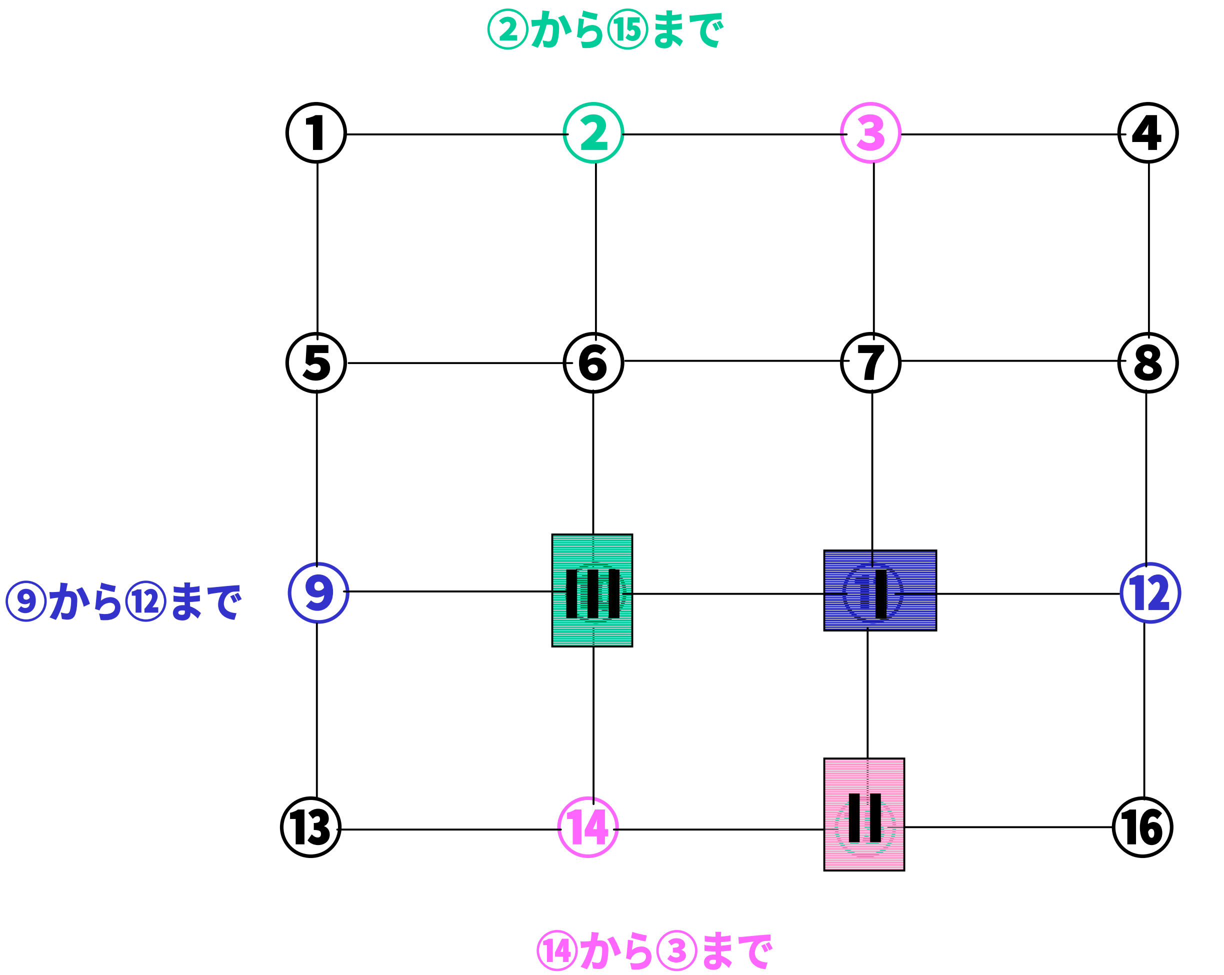
$\pi_q \in PATH_q \quad (q = 1,2,\ldots,m)、x_q(\pi, i) \geqq 0 \quad (q = 1,2,\ldots,m;\ i = 0,1,2,\ldots,L_q - 1)$

＜問題例＞

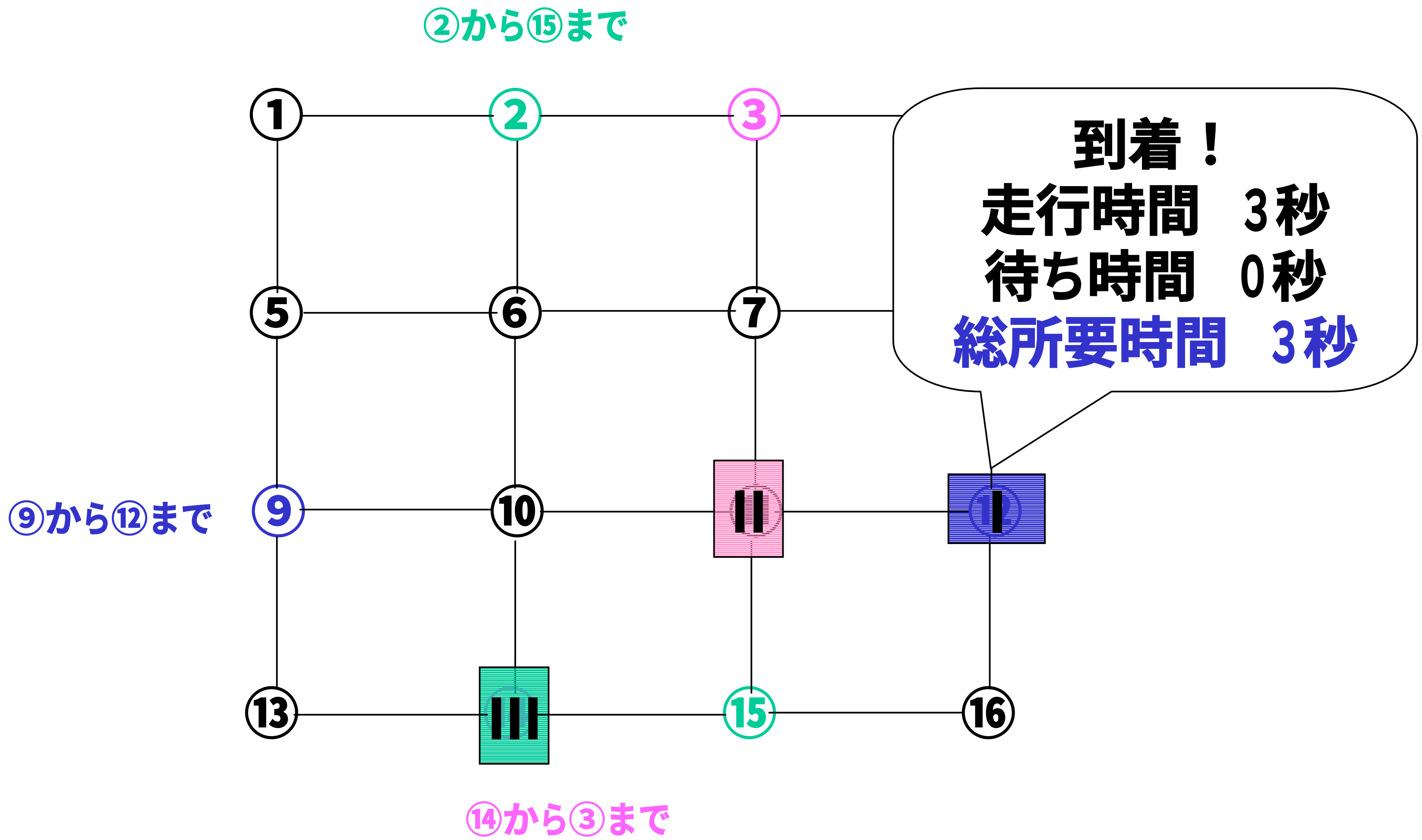
台車3台（1アーク/1秒、禁止時間1秒）

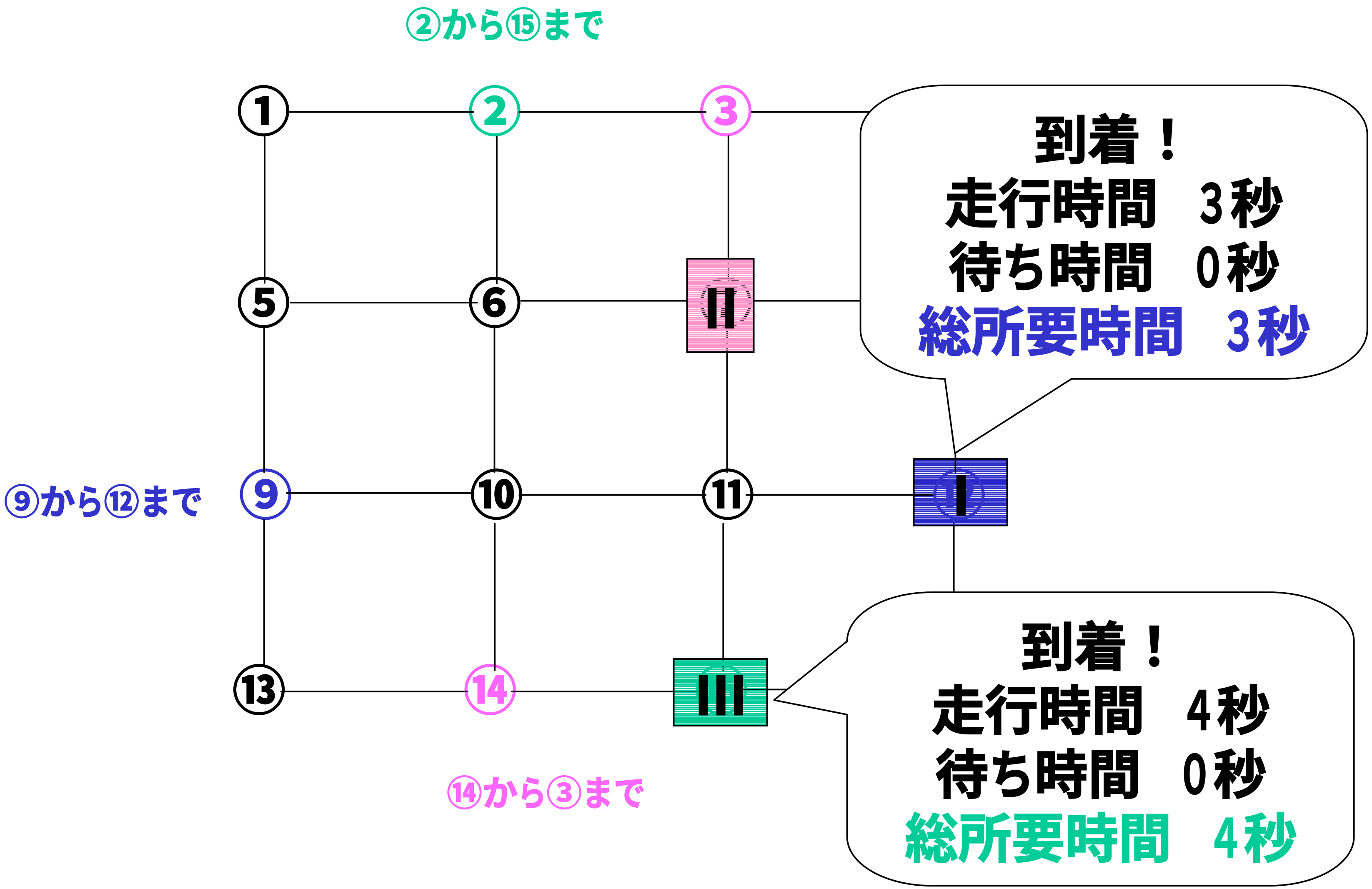



②から⑮まで
⑨から⑫まで
⑭から③まで
台車Ⅰとの干渉(ブロッキング)を避けるために、待ち時間を1秒設ける。
Ⅰ
Ⅱ
Ⅲ

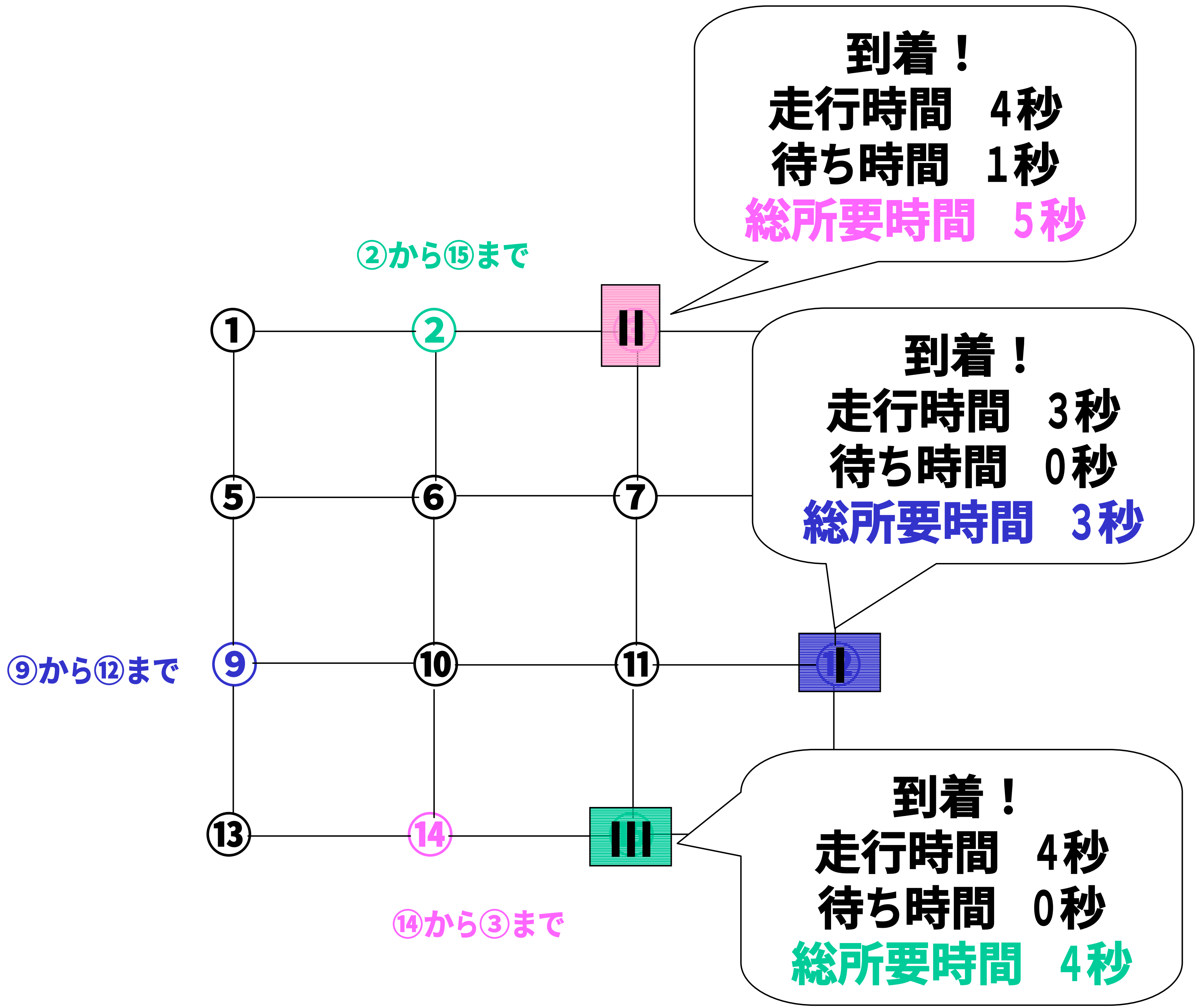


②から⑮まで
⑨から⑫まで
⑭から③まで


②から⑮まで
到着！
走行時間　3秒
待ち時間　0秒
総所要時間　3秒
⑨から⑫まで
⑭から③まで



②から⑮まで
⑨から⑫まで
⑭から③まで
①
②
③
⑤
⑥
⑨
⑩
⑪
⑬
⑭
I
II
III
到着！
走行時間　3秒
待ち時間　0秒
総所要時間　3秒
到着！
走行時間　4秒
待ち時間　0秒
総所要時間　4秒

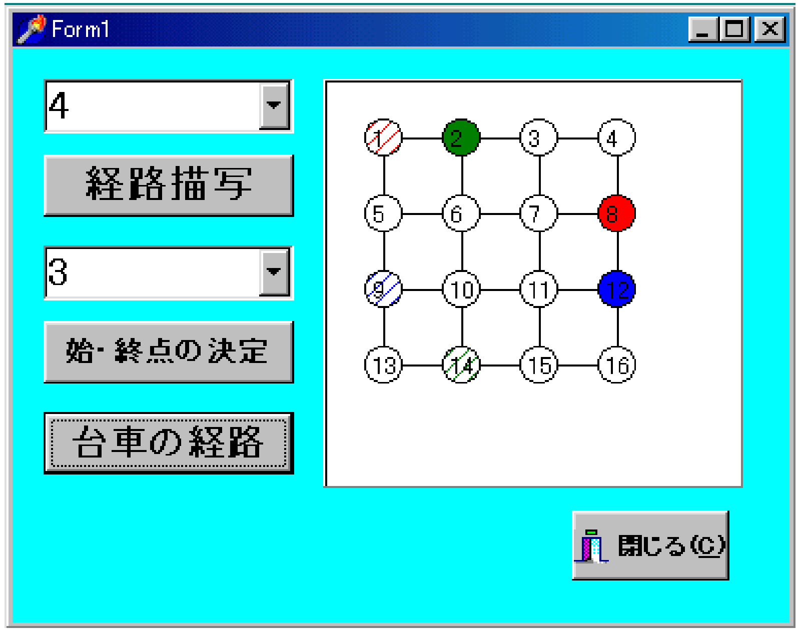

到着！
走行時間　4秒
待ち時間　1秒
総所要時間　5秒
②から⑮まで
①
②
II
到着！
走行時間　3秒
待ち時間　0秒
総所要時間　3秒
⑤
⑥
⑦
⑨から⑫まで
⑨
⑩
⑪
I
⑬
⑭
III
到着！
走行時間　4秒
待ち時間　0秒
総所要時間　4秒
⑭から③まで

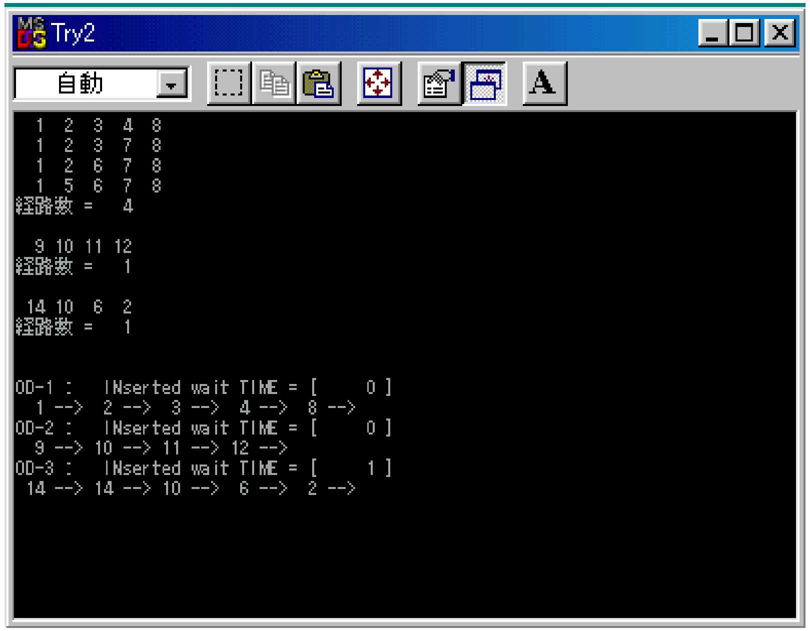
6． プログラムの作成

台車数3台、4×4、5×5の格子状ネットワークで実行するプログラムを作成した。

プログラムにはDelphi3．1を用いた。

いくつかの経路組合せを作成し、実験を行った。





7．　結果と考察

○デッドロック　・・・　作成した経路組合せでは、完全に検出することが出来た。

○ブロッキング　・・・　余分な待ち時間を設けてしまうことがある。

2台の台車間で判断しているために起こるものと思われる。

最後に全体で待ち時間を再検討する必要がある。

８．　まとめ

　格子状ネｯﾄワークにおけるＡＧＶシステムの経路決定問題において、近似解法を提案し、プログラムを作成した。

　始終点入力のみで、ほぼ同じ走行計画が得られるという点で、試作品として意義あるものと思われる。

＜今後の課題＞

○　例題を通して発見された問題点を改善し、どんな搬送要求にも対応できるシステムを作り上げる。

○　回り道をして干渉を回避する方法の提案。

○　連続した搬送要求に対応できるアルゴリズムの検討。

9．参考文献

[1] 藤井進、三道弘明、宝崎隆祐：自動搬送台車の経路決定法；日本機械学会論文集（C編）、55巻、514号（1989－6）

[2] 遠藤真一郎、小西正躬、森脇俊道、吉田正義：大規模搬送システムにおける遺伝的アルゴリズムを用いた移動ロボットの経路検索；システム制御情報学会論文誌、Vol13、No.３、pp.115-123（ 2000 ）

例　：　飲料sample配送AGV　（M乳業T工場）