

# ゲーミング実験による系統交通信号の 制御原則の習得と制御の改善効果の検討

畑本和彦 (大学院前期課程学生, 知能情報システム工学専攻)

村尾 昌紀 ((株) 科学情報システムズ)

久井 守 (知能情報システム工学科)

## Learning of Control Principle and Examination of Improvement for Coordinated Signal Control through Gaming Simulation

Kazuhiko HATAMOTO (Graduate Student, Division of Computer Science and Systems Engineering)

Masanori Muraos(SIS Co.,Ltd.)

Mamoru HISAI (Department of Computer Science and Systems Engineering)

In this paper, a traffic simulation model, which has a gaming function, was constructed and it was examined how far the control efficiency is increased by using the model. The gaming is defined here as a function by which one can take part in decision-making whether green signal should be extended or shortened by hitting keys while watching traffic situation on the screen. The simulation is microscopic to duplicate the traffic flow on signalized networks and to visualize it on the computer screen. By exercise human ability capable of visually judging the whole traffic situation, many gaming tests to intervene in coordinated signal control were performed on various traffic scenarios. As a result, it was found that a little improvements were achievement comparing with the fixed-time control without intervention.

*Key Words : gaming simulation, human judgment, critical intersection, offset*

### 1. はじめに

I T S (Intelligent Transport Systems, 高度道路交通システム) が進展する中で, 信号制御の高度化を目指して U T M S (Universal Traffic Management Systems, 新交通管理システム) の研究開発と実用化が進められている. 双方向通信機能を有する新しい光センサを導入し, 信号制御

の自動最適化を目指すなど今後の新たな発展が期待される. しかしながら, 現在の交通管制システムはかなり優れたシステムになっているはずであり, それを大きく上回るような制御効率を達成することは必ずしも容易なことではないと予想される. したがって信号制御高度化の方向性としては, 高度化の効果があまり期待できない部分は避け,

効果が期待できる部分に重点をおくのがよいと思われる。

そこで本研究では複数の信号を互いに関連づけて制御する系統制御を対象とし、系統制御で特に重要な制御パラメータであるオフセット制御を高度化した場合、どこまで制御効果の改善が期待できるかについて検討することを目的とする。系統信号のオフセット制御ではパターン選択や、サイクルごとに自動的にオフセットを変更する交通応答制御のほか、到着交通状況から青打ち切りのタイミングを制御するサイクルレス制御などが行われているが、本研究では単純系統式をベースとし、これに人間が交通状況を見ながら信号制御に介入して可能な限り制御を最善の状態に維持することを試みる。これは一定の制御論理に従って行う制御ではなく、人間の視覚的・総合的な交通状況判断能力を応用して行う制御であり、サイクルレス制御の一つであるといってもよいようなタイプの制御である。

しかし、実際の系統信号路線でこのような制御実験を行うことは不可能であり、またさまざまな道路交通条件を設定することもできない。したがって本研究ではゲーミング機能を有するゲーミングシミュレーション<sup>1)</sup>を作成し、これを用いて制御実験を行うこととする。ここでゲーミング機能というのは、青信号を延長するか短縮するか意思決定に人間が介入することができるという機能であり、本研究では画面上で交通状況を見ながらキー入力またはマウスによって青信号の延長または短縮を指示するようにする。青信号の切り替えを指示する機能もあるが今回は使用しなかった。このゲーミング機能を用いて制御に介入するゲーミング実験を繰り返し、その中から最善の制御結果を採用する。これとまったく制御に介入しない場合の単純系統式制御との差を制御の改善効果と考えることとする。制御効果は遅れ時間で評価する。

系統信号路線における交通現象をできるだけリアルに画面上に再現することをねらいとし、そのためにシミュレーションは離散モデルによる微視的シミュレーションとする。これによって信号交差点における加減速、前車への追従、車線選択、車線変更、交差点における右左折、および渋滞による先詰まり現象を再現する。

## 2. シミュレーションの作成

シミュレーションはタイムスキャン方式とし、スキャンサイクルごとに各車両の速度と位置を更

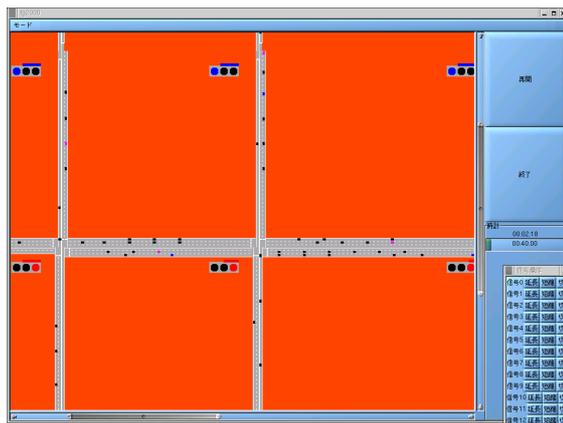


Fig. 1 Snapshot of an animation screen

新する。シミュレーションは対象ネットワークに車両が存在しない状態から開始する。車両は流入ポイントから流入し、あらかじめ指定した右左折率に従って右左折し、結果的に経路と流出ポイントが決まる。本シミュレーションの一つの大きな特徴はゲーミング機能をもたせるという点にある。ゲーミングシミュレーションでは、実験者は画面上で交通状況、各信号機の信号表示およびその残り時間を見ながら、信号制御への介入を判断する。画面上に表示しきれないネットワーク部分は画面をスクロールすることによって表示する。シミュレーションの実行画面の例をFig. 1に示す。このシミュレーションは久井がその原型を作成し<sup>2)</sup>、これを向本、藤山<sup>3)</sup>、植山、山崎ら<sup>4)</sup>が改良し、水野<sup>5)</sup>がほぼ完成させゲーミング実験に応用したものである。その後、村尾がゲーミング実験を追加して実行し、さらに畑本<sup>7)</sup>および三村<sup>8)</sup>がリアルタイム信号制御へその適用範囲を拡大している。

本シミュレーションの概要と特徴を以下に列挙する。

### (1) ネットワーク構成

- ①対象ネットワークはノードとリンクで構成する。
- ②ノードは原則として信号交差点とする。

### (2) 信号表示

信号表示は青、赤、黄および全赤とする。青矢印信号を再現することも可能である。

### (3) 交通発生

- ①流入リンク上流端の流入ポイントへの到着分布はポアソン分布を原則とするが、一様到着とすることもできる。
- ②リンク下流端の分岐確率は外性的に与える。

### (4) 車線選択

- ①流入ポイントで発生した交通は各車線均等に選択する。

- ②左折によってリンクに流入した車両は外側車線を選択する。
- ③右折によって流入した車両は内側車線を選択する。
- ④直進車はそのまま直進可能な車線を選択する。
- (5) 交差点の交通処理
- ①右左折車と歩行者との交錯は考慮しない。
- ②右折車は対向車までの距離と速度差から右折の可否を判断する。
- ③右折待ち車両は黄信号になれば右折することができる。
- ④流入先車線に先詰まりがある場合は停止線で停止する。
- (6) 車線変更

- ①下流端で右折する車両はあらかじめ内側車線に車線変更し、左折する車両は外側車線に車線変更する。車線変更を完了すべき限界位置に達しても車線変更できなかった場合には、その限界位置で停止し、車線変更先に一定速度以下の車両が来れば割り込みを行う。
- ②減速回避のための車線変更は、前車に追従走行すると減速が必要となり、かつ車線変更を行えば減速しなくてもすむ場合にこれを試みる。
- ③車線別に車両数の偏りがある場合、すなわち現在の車線より2台以上前方の車両台数が少ない車線が隣にある場合には、その車線に車線変更を試みる。

#### (7) 画面表示

画面には車両の動きを動画で表示するほか、各交差点の信号灯器、残り時間、および延長・短縮・切り替えのボタンを表示する。

#### (8) 遅れ時間

評価指標として用いる遅れ時間は、実際のリンク旅行時間と希望速度で走行したときのリンク旅行時間の差として求める。シミュレーション開始から終了まで個々の車両の遅れ時間を計測する。平均遅れ時間としては系統内リンク平均遅れ時間、系統外リンク平均遅れ時間、交差道路平均遅れ時間および総平均遅れ時間を集計する。系統内リンクはFig. 3に示すように走行車両が相対オフセットの影響を直接受ける主道路のリンクであり、2信号を両端にもつリンクである。系統内リンク平均遅れ時間は、各リンク上り方向および下り方向別に求め車両1台当たりの平均遅れ時間である。系統外リンクは、リンクの一端にしか信号がない主道路の流入リンクのことであ

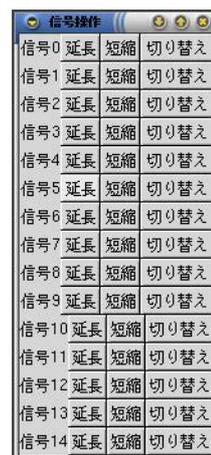


Fig. 2 Direction button to signal control

る。交差道路平均遅れ時間は、主道路に直接接続する交差道路のリンクについて、主道路に向かう車両1台あたりの平均遅れ時間である。総平均遅れ時間は、系統内リンク、系統外リンクおよび交差道路の車両1台あたりの総平均遅れ時間である。ただし平均遅れは各リンクの交通量による加重平均としている。

#### (10) 飽和交通流率

飽和交通流率は1809台/青時である。これは青開始後に発進した停止車列内の車両の車頭時間を停止線で計測し3台目以降14台目までの12台の平均車頭時間から算定したものである。これを求めたときのシミュレーション条件は、加速度 $3.0\text{m/s}^2$ 、最小車頭距離 $6.0\text{m}$ 、スキャンサイクル $0.2$ 秒である。

### 3. ゲーミング実験のための条件

#### 3.1 制御介入方針

前章で説明したシミュレーションのゲーミング機能を用いてゲーミング実験を行った。実験は著者のうち畑本が行った。実験はパソコン画面上の交通状況を見ながら、マウスで介入ボタンを操作することによって信号制御に介入し青信号の延長または短縮を指示して行った。切り替え機能は使用しなかった。信号制御への介入ボタンをFig. 2に示す。この介入ボタン1回の操作で青時間を5秒単位で延長または短縮することができる。これらの操作はかなりの習熟が必要であり、事前に十分なトレーニングを行った。

制御の基本方針は次のとおりとする。

- ①対象信号群の総遅れ時間が最小になることを目標とする。
- ②主として主道路系統内リンクの遅れ時間

が小さくなるようにする。ただし交差道路の遅れ時間があまり大きくならないように交差道路の交通状況にも配慮する。

- ③介入遅れがでたり、介入の機会を失ったりしないようにする。

また交通条件別の制御介入方針は次のとおりとする。これらの方針はこれまで山崎、水野および村尾らが実験をくり返した経験から習得したものである。

#### (1) 非飽和の場合

- ①系統内リンクの遅れ時間を改善するために、大きな車群が青信号で通過できるように相対オフセットを調整する。具体的には、主道路側の青信号終了直前に車群が到着する場合には青時間を延長し、赤信号中に到着する場合には交差道路の青時間を短縮して相対オフセットを調整する。ただし、クリティカル交差点の交差道路側に長い待ち行列ができる場合は、主道路青延長および交差道路青短縮への介入はなるべく避けるようにする。
- ②クリティカル交差点に隣接する交差点で交差道路側の待ち行列が短い場合には、その交差道路側の青信号の短縮を行って相対オフセットの調整を行う。
- ③進行方向リンクの待ち行列に追いついて減速するというのを避けるように相対オフセットを調節する。具体的には、最後尾車両が動き始めたときに追いつくように調節する。

#### (2) 過飽和の場合

- ①主道路および交差道路のいずれについても、青信号開始時に進行方向先リンクに空きスペースができるような相対オフセットを維持する。
- ②特にクリティカル交差点では飽和交通流率で流出させるようにする。そのために下流リンクの交通流を円滑にするように相対オフセットを調節する。

#### (3) 交通量が変動する場合

- ①交通量が少なきときは非飽和時と同様の制御を行って主道路の交通流を円滑化し、交通量が増加してきたら過飽和時と同様の制御を行って待ち行列がリンク上流の交差点に到達しないようにする。待ち行列が解消したら、再び非飽和時と同様の制御を行う。
- ②青時間の延長と短縮のうち、より少ない介入

回数で目標の相対オフセットに到達できる方を選択する。

- ③目標の相対オフセットにできるだけ早く到達できるように、隣接2信号に同時に介入する。
- ④オフセット変更時の交通の乱れを少なくするために主道路方向の青短縮は控えめにする。
- ⑤交通量変動がわかっているので予測的な制御になってもよいものとする。

#### (4) 複数車線の場合

- ①交通量が変動する場合と同じ介入方針を用いる。
- ②車線変更待ち車両が原因となって渋滞が発生した場合には、下流交差点の青延長を控えめにする。これは早めに赤信号に変更して速度が低下したすきに車線変更ができるようにするためである。

#### (5) 上りと下りの交通量が異なる場合

- ①交通量が多い方向は過飽和時の介入方針で相対オフセットを調節する。すなわち交通量が多い方向では先詰まりが発生する可能性があるため、リンク内の車両台数と発進波の伝播状況を考慮しながら無駄な青時間ができないように制御を行う。
- ②交通量が少ない方向はあまり重視せず制御の多くを1方向に集中する。
- ③交通量が逆転する時間帯では相対オフセットを大幅に調節してできるだけ早く交通量が多い方向を優先するオフセットにする。
- ④上り優先から下り優先に切り替えるためには延長秒数を大きくするとか、両端信号の延長と短縮を組み合わせるなどして早目に対応する。
- ⑤交通量変動がわかっているので予測的な制御になってもよいものとする。

制御に介入しない場合は、最初に指定した制御を維持し、単純系統式制御となる。制御に介入すると、そのサイクルの青時間とサイクル長が変化し次のサイクルではもとに復旧するが、オフセットは復旧しない。

また、極端な信号制御の変化を避けるため、信号制御への介入は1信号につき青時間の延長は15秒、短縮は5秒を上限とする。

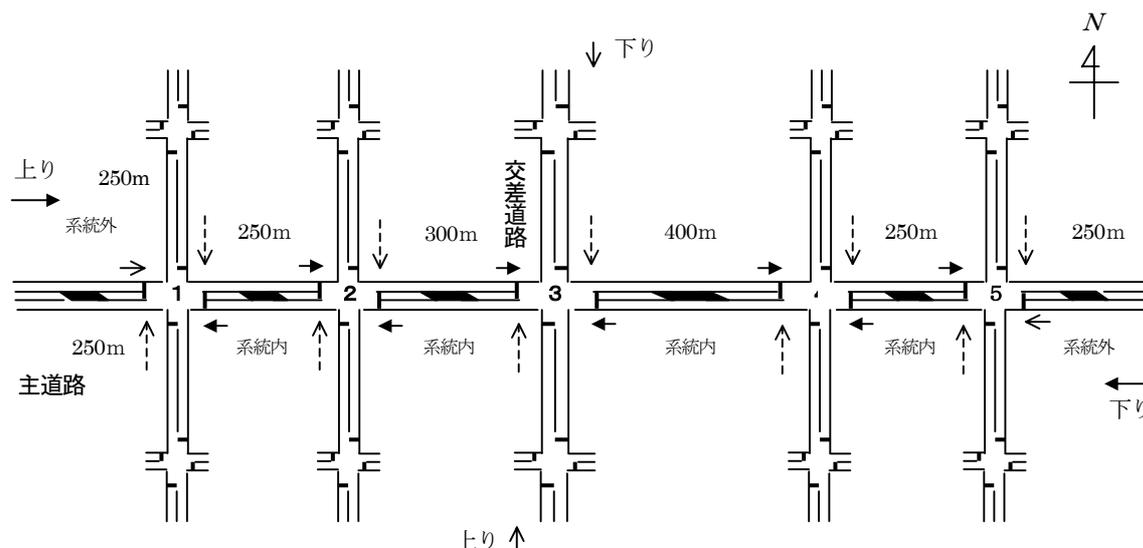


Fig. 3 test network

### 3.2 初期の制御パラメータの設定

ゲーミング実験を行う前に、まずサイクル長とオフセットをGAによって概略設計しておき、それを規定値として初期設定する。GAの適応度関数すなわち評価指標は遅れ時間とし、これは本シミュレーションを用いて求める。すなわちGAを上位レベルとし、シミュレーションを下位レベルとする2レベルの計算システムとする<sup>9,10</sup>。ただし現示率は外性的に与える。

このようにして求めた制御パラメータを初期設定した上でゲーミング実験を開始する。したがって、まったく介入を行わなかった場合には、初期設定した制御パラメータによる単純系統式制御を行うことになる。ゲーミング実験の結果と、この単純系統式制御の結果を比較しゲーミングによってどこまで制御を改善することができるかという点について検討することを目的とする。それによって信号制御の高度化による効果とその限界について見極めたい。

### 3.3 対象路線と道路交通信号条件

ここでは、Fig. 3のような5信号6リンクの系統信号路線をゲーミング実験の対象とする。信号は左から第1, 2, …, 5信号とする。この路線を対象とし5とおりの交通条件についてゲーミング実験を行う。制御の改善効果は総平均遅れ時間で評価するが、系統内リンク、系統外リンクおよび交差道路の各道路部分の平均遅れ時間についても比較する。交差道路の遅れ時間は、主道路交差点に直接流入するリンクの遅れ時間のみとする。

5とおりの交通条件についてゲーミング実験を行ったが、これらの実験で共通の条件は次のとおりである。主道路方向の現示率は第1信号から順に

0.80, 0.70, 0.60, 0.70, 0.80

とする。第3信号はクリティカル交差点と想定し、その現示率は最小とした。交差道路上の他の信号の南北方向の現示率はすべて0.70とし、第1信号の主道路方向青開始時点に対して絶対オフセット0.00とする。クリアランス時間(損失時間)は全信号10秒(黄3秒, 全赤2秒)とする。シミュレーションのスキャンサイクルは0.2秒とした。この場合の演算速度は、クロック周波数2.5GHzのPentium4をCPUとするメモリ512Mの環境で、交通量にはあまり関係せずおおむね実時間の3倍(実時間の60分を再現するのに要する計算時間は約20分)程度であった。

ゲーミング実験は5とおりのケースのそれぞれについて事前に10回程度の予備実験を行った上でさらにデータ取得のための本実験を10回程度行った。

## 4. ゲーミング実験の実行

### 4.1 非飽和の場合

交通需要が一定で渋滞が発生しない非飽和の場合についてゲーミング実験を行う。シミュレーション条件は次のとおりである。

共通サイクル長 : 91 秒

初期オフセット : 0.00, 0.79, 0.44, 0.67, 0.96

平均到着率

主道路 : 0.20 台/秒

交差道路 : 0.05, 0.08, 0.12, 0.08, 0.05  
台/秒

右左折率

主道路 : 直進 80%, 左折 15%, 右折 5%

交差道路 : 直進 60%, 左折 30%, 右折 10%

シミュレーション時間 : 3600 秒

主道路は60mの右折専用車線を有する片側1車線の道路, 交差道路は右折専用車線のない片側1車線の道路とする。

ゲーミング実験の結果を Fig. 4 および Table 1 に示す。信号制御への介入回数は総計 18 回であった。その内訳を以下に示す。

青現示 15 秒延長 0 回

青現示 10 秒延長 1 回

青現示 5 秒延長 8 回

青現示 5 秒短縮 9 回

ゲーミング実験では, 制御介入方針に従って実験を行った。ただし非飽和であるから過度の介入は避けた。すなわち, 介入回数が多すぎたり相対オフセットの変動幅が大きすぎたりするような青時間の延長, 短縮は避けるようにした。

Fig. 4 より, ゲーミング実験によって単純系統式制御を改善できることがわかった。しかし改善量はあまり大きくはない。これは, 交通需要が小さいため介入による交通流への影響が小さかったためではないかと考えられる。また, サイクル長が小さくなるようにする介入が効果的であることがわかった。サイクル長を小さくすることにより, 黄時間および全赤時間中に右折できる車両が増え, 遅れ時間減少につながったのではないかと考えられる。しかしながらサイクル長を短くすることは損失時間の割合が増大するというリスクをとともなうため, 交通量が非飽和の場合でなければあまり効果はないのではないかと考えられる。

#### 4.2 過飽和の場合

次に交通需要が大きく, クリティカル交差点を起点に上流の交差点にまで渋滞が延伸するような過飽和条件についてゲーミング実験を行う。シミュレーション条件は次のとおりである。

共通サイクル長 : 143 秒

初期オフセット : 0.00, 0.12, 0.66, 0.16, 0.98

平均到着率

主道路 : 0.35 台/秒

交差道路 : 0.09, 0.14, 0.20, 0.14, 0.09  
台/秒

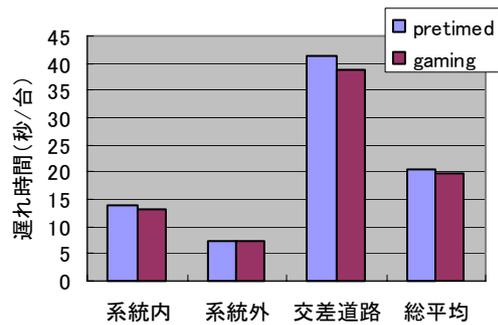


Fig. 4 Comparison of average delay for under-saturated traffic condition

Table 1 Comparison of control effect for under-saturated traffic condition

	単純系統式	ゲーミング	増加量
系統内	13.76	13.27	-0.49 (-3.6%)
系統外	7.34	7.44	+0.10 (+1.4%)
交差道路	41.17	38.68	-2.49 (-6.0%)
総平均	20.67	19.67	-1.00 (-4.8%)

(表中の単位 : 秒/台)

右左折率

主道路 : 直進 80%, 左折 15%, 右折 5%

交差道路 : 直進 60%, 左折 30%, 右折 10%

シミュレーション時間 : 3600 秒

主道路および交差道路はともに60mの右折専用車線を有する片側1車線の道路とする。

ゲーミング実験の結果を Fig. 5 および Table 2 に示す。信号制御への介入回数は総計 47 回であった。その内訳を以下に示す。

青現示 15 秒延長 9 回

青現示 10 秒延長 0 回

青現示 5 秒延長 1 回

青現示 5 秒短縮 37 回

この交通条件では交通需要量が大いので, 主道路の第3交差点(クリティカル交差点)を起点として待ち行列が延伸し, 上流交差点で先詰まりが発生する。したがって非飽和時のように主道路でなるべく車両が停止しないように相対オフセットを調整すると, そのオフセットは過飽和時に適さないオフセットとなり先詰まりが発生し逆に遅れ時間が増大することとなった。したがって非飽和時の車群の分割を避けるという制御方針とは異なり, Fig. 6 のように進行方向先リンクに空きスペースができるようにして, なるべく多くの車両が系統内リンクに流入できるように青時間の延長を行う。また, Fig. 7 のように進行方向先リンクが先詰まりを起こしそうな場合は無駄な青時間を

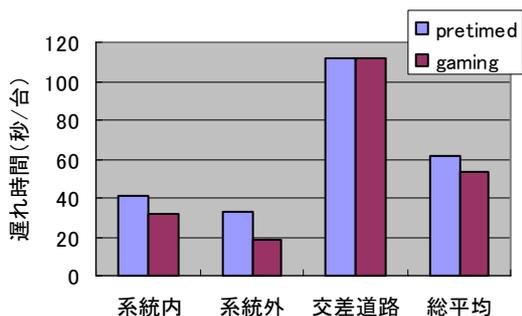


Fig. 5 Comparison of average delay for over-saturated traffic condition

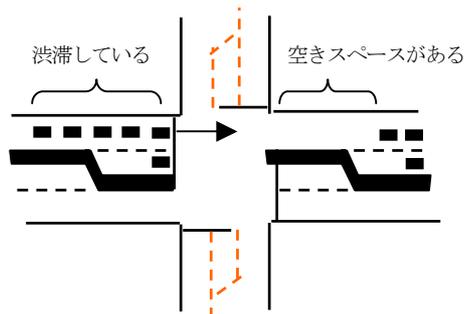


Fig. 6 A condition when green should be extended

Table 2 Comparison of control effect for over-saturated traffic condition

	単純系統式	ゲーミング	増加量
系統内	41.38	31.88	-9.50 (-22.9%)
系統外	32.66	18.36	-14.30 (-43.8%)
交差道路	111.7	111.5	-0.20 (-0.2%)
総平均	61.21	53.01	-8.20 (-13.4%)

(表中の単位：秒/台)

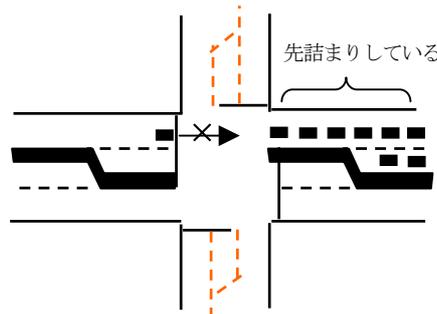


Fig. 7 A condition when green should be shortened

減らすために青時間の短縮を行う。制御は上り方向と下り方向のうち、渋滞長の長い方を優先した。この制御により、先詰まりによる流入待ち行列が減少し、渋滞を緩和できることから遅れ時間が改善されるものと考えられる。

交差道路については、待ち行列が長くなれば交差道路を優遇するような制御を行うことによって遅れ時間が改善されることがわかった。しかし、交差道路を意識しすぎると主道路で先詰まりが発生し、遅れ時間が増大するという失敗もあった。したがって、交通需要に応じて適切に制御に介入するのがよいのではないかと考えられる。

Fig. 5より、ゲーミング実験によって単純系統式制御を大幅に改善することができた。特に主道路側は系統内、系統外ともに改善率が高い。過飽和時には非飽和時に比べて制御介入の効果が大きいものと判断される。

### 4.3 交通量が変動する場合

次に、Fig. 8に示すように主道路の交通需要に時間変動があり、ピーク時には渋滞が発生する可能性があるような交通条件についてゲーミング実験を行う。ただし上下両方向の交通量は等しいものとする。シミュレーション条件は次のとおりである。

- 共通サイクル長：91秒
- 初期オフセット：0.00, 0.79, 0.44, 0.67, 0.96

#### 平均到着率

- 主道路：
  - 0秒～600秒 0.20 台/秒
  - 600秒～900秒 0.30 台/秒
  - 900秒～1200秒 0.35 台/秒
  - 1200秒～1500秒 0.30 台/秒
  - 1500秒～1800秒 0.20 台/秒
  - 1800秒～2400秒 0.10 台/秒
- 交差道路：0.05, 0.08, 0.12, 0.08, 0.05 台/秒

#### 右左折率

- 主道路：直進 90%, 左折 5%, 右折 5%
- 交差道路：直進 60%, 左折 30%, 右折 10%
- シミュレーション時間：2400秒

主道路は60mの右折専用車線を有する片側1車線の道路、交差道路は右折専用車線のない片側1車線の道路とする。

ゲーミング実験の結果をFig. 9およびTable 3に示す。信号制御への介入回数は総計17回であった。その内訳を以下に示す。

- 青現示 15秒延長 7回
- 青現示 10秒延長 4回
- 青現示 5秒延長 5回
- 青現示 5秒短縮 1回

この交通条件では、徐々に交通量が増加し、ピークを過ぎてから交通需要が減少していく。したがって、最初は非飽和時と同様の介入方針に従い、

交通量が増加してきたら過飽和時と同様の介入方針に従って制御を行って待ち行列長の短縮を試みた。交通需要が減少し渋滞が解消したら、再び非飽和時と同様の制御を行った。

過飽和時の制御においては見た目の待ち行列長に惑わされず、交差道路よりも主道路優先で制御に介入することが重要である。これは主道路の交通需要の方が交差道路の交通需要よりも大きいからであり、過飽和時には交通需要に応じて青時間を配分することが有効であると考えられるためである。

交通量の変動に合わせて信号制御への介入を行ったところ、クリティカル交差点を起点に渋滞が発生する場合もあった。これは制御に誤りがあったのではなく、制御介入の回数に問題があったのではないかと考えられる。すなわち、制御への介入回数が増えるとオフセット変更回数が増え、それによって交通の乱れが生じ、結果的に遅れ時間が増大したのではないかと判断される。したがって、交通量が変動することに注意して、非飽和時の制御から過飽和時の制御への切り替えをなるべくスムーズに行うことが重要である。これは、制御切り替え途中の交通の乱れを最小限にとどめるためである。そのためには青時間の延長と短縮のうち、より少ない介入回数で目標の相対オフセットに到達できる方を選択して介入するか、または隣接2信号に同時に介入を行い、さらにオフセット追従時の交通の乱れを少なくするために主道路方向の青短縮は控えめにするなどの配慮が必要であると考えられる。

Fig. 9より、ゲーミング実験によって単純系統式制御を大幅に改善することができた。特に系統内リンクの平均遅れ時間が改善されており、交通量が一定の場合よりも交通量が変動する場合の方が制御の改善効果が大きいと考えられる。

#### 4.4 複数車線の場合

次に、主道路が片側2車線の場合についてゲーミング実験を行う。ただし交差道路は1車線とする。交通需要はFig. 10に示すような時間変動があり、ピーク時には渋滞が発生する可能性があるような交通条件とする。シミュレーション条件は次のとおりである。

- 共通サイクル長：126秒
- 初期オフセット：0.00, 0.99, 0.82, 0.74, 0.07
- 平均到着率
- 主道路：
  - 0秒～600秒 0.30台/秒
  - 600秒～900秒 0.60台/秒

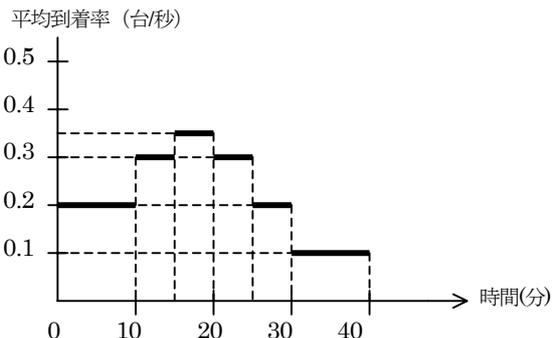


Fig. 8 Time-dependent traffic demand

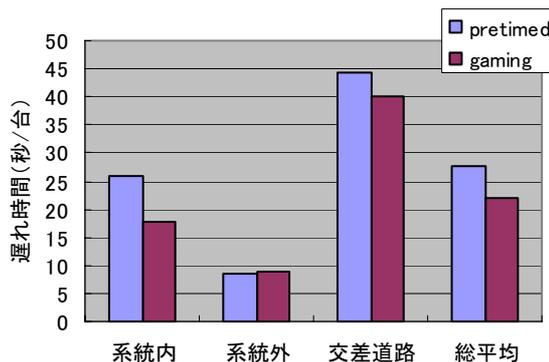


Fig. 9 Comparison of average delay for time-dependent traffic demand

Table 3 Comparison of control effect for time-dependent traffic demand

	単純系統式	ゲーミング	増加量
系統内	25.72	17.83	-7.89 (-30.7%)
系統外	8.57	8.79	+0.22 (+2.6%)
交差道路	44.40	39.95	-4.45 (-10.0%)
総平均	27.77	21.88	-5.89 (-21.2%)

(表中の単位：秒/台)

- 900秒～1200秒 0.70台/秒
- 1200秒～1500秒 0.50台/秒
- 1500秒～1800秒 0.30台/秒
- 1800秒～2400秒 0.20台/秒

交差道路：0.05, 0.08, 0.12, 0.08, 0.05  
台/秒

右左折率

- 主道路：直進90%, 左折5%, 右折5%
- 交差道路：直進60%, 左折30%, 右折10%

シミュレーション時間：2400秒

主道路および交差道路ともに60mの右折専用車線を有するものとする。

ゲーミング実験の結果をFig. 11およびTable 4に示す。信号制御への介入回数は総計16回であった。その内訳を以下に示す。

- 青現示 15 秒延長 4回
- 青現示 10 秒延長 4回
- 青現示 5 秒延長 5回
- 青現示 5 秒短縮 3回

この場合は、交通需要が変動するという交通条件であるから 4.3 と同じ介入方針を用いる。ただし、複数車線の場合には車線変更が発生するため交通状況を予測することが困難となる。例えば Fig. 12 のように車線変更待ち車両に起因する渋滞が発生する場合もある。このような場合には、下流交差点の青時間を短縮するように介入して早めに赤信号にし、行き先車線の車両の速度が低下したすきに車線変更を行うように制御を行う。これは車線変更待ち車両により後続車が渋滞を起こし遅れ時間が増加するのを回避するためである。

この場合のゲーミング実験では、車線変更待ち車両による渋滞を起こしてしまうという失敗があった。車線変更待ち車両が発生すると、車線が閉塞され遅れ時間が増加し、交通量のピーク時には特にその影響が顕著にあらわれるので慎重に実験を行う必要があることがわかった。

また、制御に介入するとオフセットが変化するので、この点も考慮した上で介入を行うべきである。オフセットがよい状態の場合には、それを乱さないような調整を行うことが重要である。そのためにはある信号の青時間を延長または短縮した場合には隣接信号も同じ秒数だけ変更して相対オフセットをよい状態に維持するというような配慮も必要である。

変更待ち車両が発生した場合、そのたびごとにその悪影響を避けるために下流交差点の青時間を短縮し、その結果遅れ時間を増大させてしまうという失敗があった。これは、介入回数が多すぎることによるオフセットの乱れが原因であると考えられる。しかし、車線変更待ち車両の悪影響を軽減するためには下流交差点の青時間の短縮は必要であり、介入回数を減らすことは難しい。そこで、介入回数が多すぎることによる悪影響を回避するために系統内単位で制御に介入して良好なオフセット維持するようにした。

このように、車線変更待ち車両は遅れ時間に悪影響を与えるので、その点を考慮に入れた制御が必要であると考えられる。

Fig. 11 より、ゲーミング実験によって単純系統式制御を改善することができた。しかし、その改善率は1車線の場合よりも小さい結果となった。

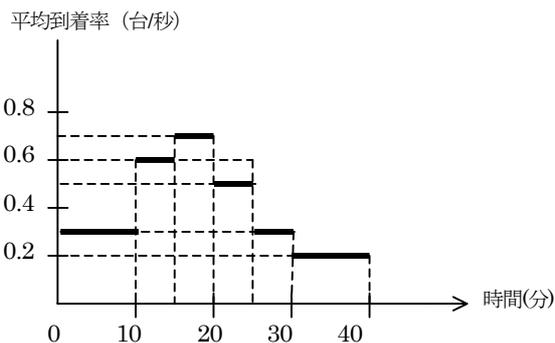


Fig. 10 Time-dependent traffic demand

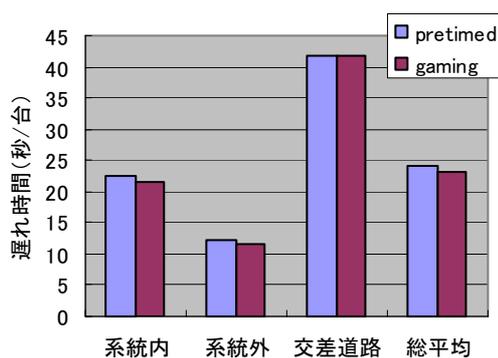


Fig. 11 Comparison of average delay for multi-lane condition

Table 4 Comparison of control effect for multi-lane condition

	単純系統式	ゲーミング	増加量
系統内	22.45	21.47	-0.98 (-4.4%)
系統外	12.27	11.44	-0.83 (-6.8%)
交差道路	41.73	41.88	+0.15 (+0.3%)
総平均	24.05	23.04	-1.01 (-4.2%)

(表中の単位：秒/台)

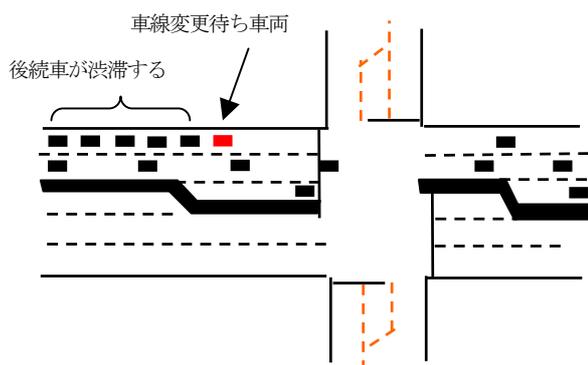


Fig. 12 Traffic jam caused by lane-changing vehicle

#### 4.5 上下両方向の交通量が異なる場合

次に、Fig. 13 に示すように上り下り両方向の交通需要の時間変動が異なる場合についてゲーミング実験を行う。シミュレーション条件は次のとおりである。

共通サイクル長：91 秒  
 初期オフセット：0.00, 0.79, 0.44, 0.67, 0.96  
 平均到着率

主道路：	上り	下り
0 秒～ 300 秒	0.225 台/秒	0.225 台/秒
300 秒～ 900 秒	0.350 台/秒	0.100 台/秒
900 秒～1500 秒	0.300 台/秒	0.150 台/秒
1500 秒～2100 秒	0.225 台/秒	0.225 台/秒
2100 秒～2700 秒	0.150 台/秒	0.300 台/秒
2700 秒～3300 秒	0.100 台/秒	0.350 台/秒
3300 秒～3600 秒	0.225 台/秒	0.225 台/秒
交差道路：	0.05, 0.08, 0.12, 0.08, 0.05	
	台/秒	

右左折率

主道路：直進 90%，左折 5%，右折 5%  
 交差道路：直進 60%，左折 30%，右折 10%  
 シミュレーション時間：3600 秒

主道路は60mの右折専用車線を有する片側1車線の道路とし、交差道路は右折専用車線のない片側1車線の道路とする。この場合のゲーミング実験の結果を Fig. 14 および Table 5 に示す。信号制御への介入回数は主道路および交差道路で総計 37 回であった。その内訳を以下に示す。

青現示 15 秒延長	1 回
青現示 10 秒延長	4 回
青現示 5 秒延長	27 回
青現示 5 秒短縮	5 回

この交通条件では上下両方向で交通量が異なり、かつ時間的に交通量が変化する。そのため、交通量に合わせたオフセット調整が重要となってくる。交通量は大きく分けると、

- 上り交通量 > 下り交通量
- 上り交通量 = 下り交通量
- 上り交通量 < 下り交通量

の3パターンからなる。この交通量変動にあわせて適時すばやくオフセットを調整することが重要となる。他の交通条件の場合よりもオフセットの調整が実験結果に顕著にあらわれるため、3パターンの変わり目の時間帯に重点をおき、それ以外の時間帯ではオフセット調整は控えめにした。

制御に介入する際も複数車線の場合と同様、系統内単位で同時に介入してよいオフセット状態を維持するようにした。また交差道路方向の待ち行列長を考慮に入れることも必要である。

Fig. 14 より、ゲーミング実験によって単純系統式制御を改善することができた。特に系統内リンクの平均遅れ時間を大幅に改善することができた。

平均到着率 (台/秒)

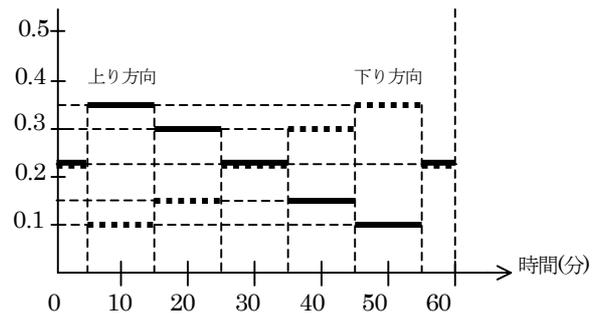


Fig. 13 Time-dependent traffic demand

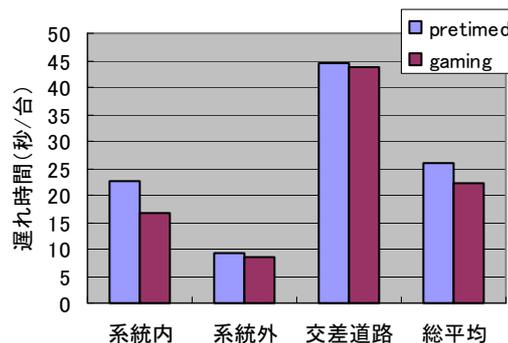


Fig. 14 Comparison of average delay for time-dependent traffic demands which differ in direction

Table 5 Comparison of control effect for time-dependent traffic demands which differ in direction

	単純系統式	ゲーミング	増加量
系統内	22.76	16.53	-6.23 (-27.4%)
系統外	9.41	8.63	-0.78 (-8.3%)
交差道路	44.53	43.80	-0.73 (-1.6%)
総平均	26.08	22.06	-4.02 (-15.4%)

(表中の単位：秒/台)

このことから複雑な交通条件についてはゲーミング実験による制御が有効であることが確認された。

### 5. まとめ

本研究では信号ネットワークを対象とした交通シミュレーションにゲーミング機能を付加したゲーミングシミュレーションを作成した。ここにゲーミング機能というのは画面上でネットワークの交通状況を見ながら青信号の延長または短縮を指示し、これによって信号制御の意思決定に介入することができるという機能である。このゲーミングシミュレーションを用いて、5とおりの交通シナリオについて系統制御のゲーミング実験を行った。これによって系統制御の制御原則または制御介入方針を確認した。また系統制御を高度化した

場合どこまで制御を改善することができるのか、あるいは制御の改善効果が大きいのはどのような交通条件の場合かという点について検討した。本研究で行ったゲーミング実験の結果から、これまでに蓄積したゲーミング実験によって習得した制御ノウハウすなわち制御原則または制御介入方針は有効であることが確認された。また制御の高度化の効果が期待できる交通条件は、過飽和交通の場合や交通量が変動する場合であることがわかった。特に上下両方向の交通量変動パターンが異なるというような複雑な交通条件の場合に制御高度化の効果が大きい。逆に非飽和交通の場合ではあまり効果が期待できないことがわかった。

今後の課題としては、まずシミュレーションでは複数車線の車線変更時の現象再現性を改善することが必要である。また制御効果の比較対象は単純系統式制御としたが、少なくともパターン選択制御との比較が必要であろう。その場合でもあらかじめ設定する制御パターンは概略設計ではなくもっと注意深く設計したものが望まれる。さらに比較対象としてはSCOOTや、OPACなどのサイクルレス制御を検討することが重要であろう。

#### 参考文献

- 1) 河上省吾, 松井寛: 交通工学, 森北出版, p. 123, 2003年3月
- 2) 久井守: シミュレーションによる系統制御と地点感应制御の比較, 交通工学, Vol. 10, No. 1, pp. 7-15, 1975. 1
- 3) 藤山美幸, 久井守: 系統信号系のゲーミングシミュレーション, 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp. 473-474, 平成8年5月
- 4) 久井守, 田村洋一, 山崎徹也: ゲーミングシミュレーションによる信号制御戦略の探索と学習, 山口大学工学部研究報告, Vol. 49, No. 2, pp. 57-64, 1999. 3
- 5) 水野高志, 久井守: ゲーミングシミュレーションによる信号制御改善の試み, 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp. 489-490, 平成11年6月
- 6) 水野高志, 久井守: ゲーミング実験による系統式信号制御の改善の試み, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集第4部, pp. 348-349, 平成11年9月
- 7) 畑本和彦, 久井守: クリティカル交差点に着目した交通応答型の系統信号サイクル長の制御, 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp. 439-440, 平成15年5月
- 8) 三村慎司, 久井守: 過飽和系統交通信号の制御原則に関する一考察, 土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp. 351-352, 平成16年5月
- 9) 久井守, 小田原正和: GAによる系統交通信号の共通サイクル長に関する研究, 山口大学工学部研究報告, Vol. 49, No. 2, pp. 65-71, 1999. 3
- 10) 小田原正和, 久井守: GAによる系統交通信号の共通周期長に関する研究, 土木計画学研究・講演集 20(2), pp. 815-818, 平成9年11月

(平成16年8月31日受理)