

# GALS システム用性能評価ツール

スタートアップマニュアル

本資料は、GALS (Globally Asynchronous Locally Synchronous)を対象とした性能評価ツールを構成する DeKiRU (Design Kit of hierarchical and ReUsable STPN)および SimSTPN のスタートアップマニュアルです。

## 目次

1. 概要 .....	3
2. ツール構成.....	4
2.1. システム環境 .....	4
2.2. 入力インタフェース.....	4
2.3. ペトリネットシミュレータ .....	10
3. サンプルの実行.....	11
3.1. 評価データの作成 .....	11
3.2. 性能評価指数の算出.....	12
4. ファイル構成 .....	13
5. 参考文献 .....	14

## 1. 概要

GALS システムの性能評価は、システムの動作を確率時限ペトリネット(Stochastic Timed Petri Nets : STPN)でモデル化した上で、モンテカルロ法に基づいたペトリネットシミュレーション(以下、単にシミュレーションと表記します)を繰り返すことにより実現されます<sup>[1]</sup>。特にこの手法では、STPN のデータ構造として接続行列を採用していることから、GPGPU 等の大規模分散処理環境との親和性も高く、評価に先立って行列変形(オーダリング)を施し、演算対象となる要素を局所化することで更に高速な性能評価を期待できます<sup>[2]</sup>。本手法に基づいた具体的な性能評価手順は以下の通りです。

### 手順 1 : STPN によるモデル化

GALS システムの動作を STPN によりモデル化する。

### 手順 2 : 接続行列の生成

STPN の構造に基づいて接続行列を生成する。

### 手順 3 : シミュレーションの実行

接続行列を用いた行列演算によりシミュレーションを実行する。

### 手順 4 : 性能評価指数の算出

シミュレーションを繰り返すことにより性能評価指数の上界・下界を算出する。

本ツールは、GALS システムの性能評価を高速に実現するためのソフトウェアであり、STPN の入力インタフェース(DeKiRU)とペトリネットシミュレータ(SimSTPN)により構成されます。DeKiRU は上述の手順 1 と 2, SimSTPN は手順 3 と 4 の自動化を図るものであり、その動作画面を図 1 に示します。

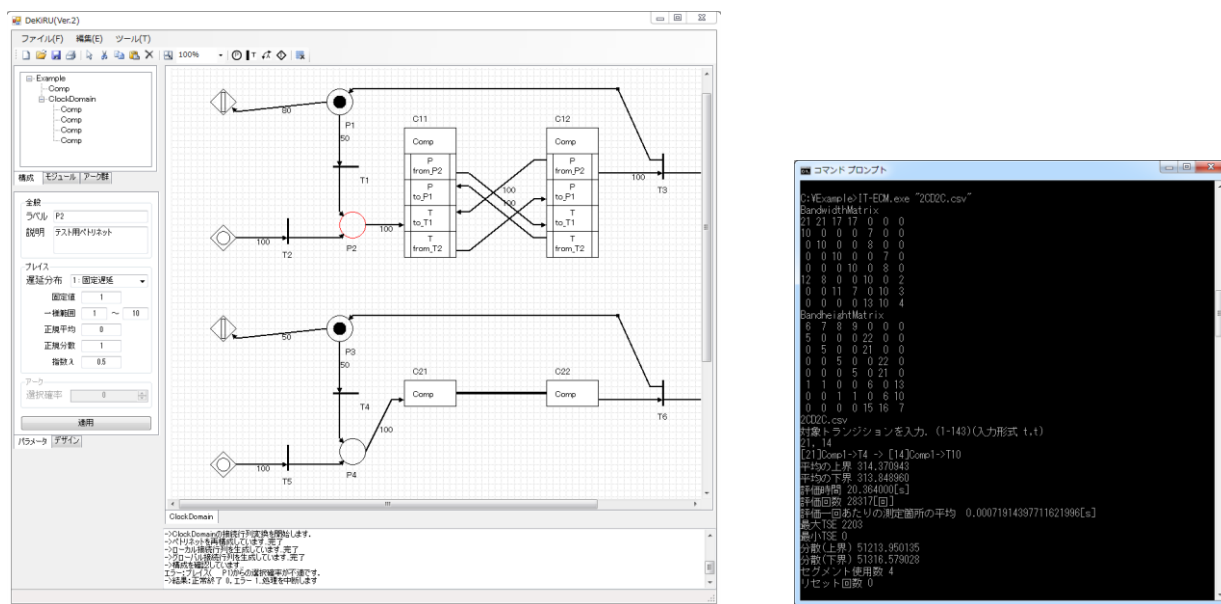


図 1 GALS システムの性能評価ツール

## 2. ツール構成

### 2.1. システム環境

DeKiRU および SimSTPN の開発環境は以下の通りです。

➤ DeKiRU

- Microsoft Visual Studio 2010  
(Visual C# Windows フォームアプリケーション)
- Microsoft .Net Framework 3.0 以上

➤ SimSTPN

- Microsoft Visual Studio 2010  
(Win32 コンソールアプリケーション)

### 2.2. 入力インタフェース (DeKiRU)

DeKiRU は、入力された STPN の構造を解析し、その接続行列を生成します。まず、STPN の入力に関しては、“STPN のモジュール化機能”と“モジュール間のアーク(アーク群)の自動接続機能”を備えており、GALS システムの STPN を効率的に入力することができます。また、接続行列の生成にあたっては、後のシミュレーションを高速に行うため、“接続行列のオーダリング(ブロック行列化・帯行列化)機能”を備えています。

DeKiRU の構成を図 2 に示し、各機能の説明を以下に記します。

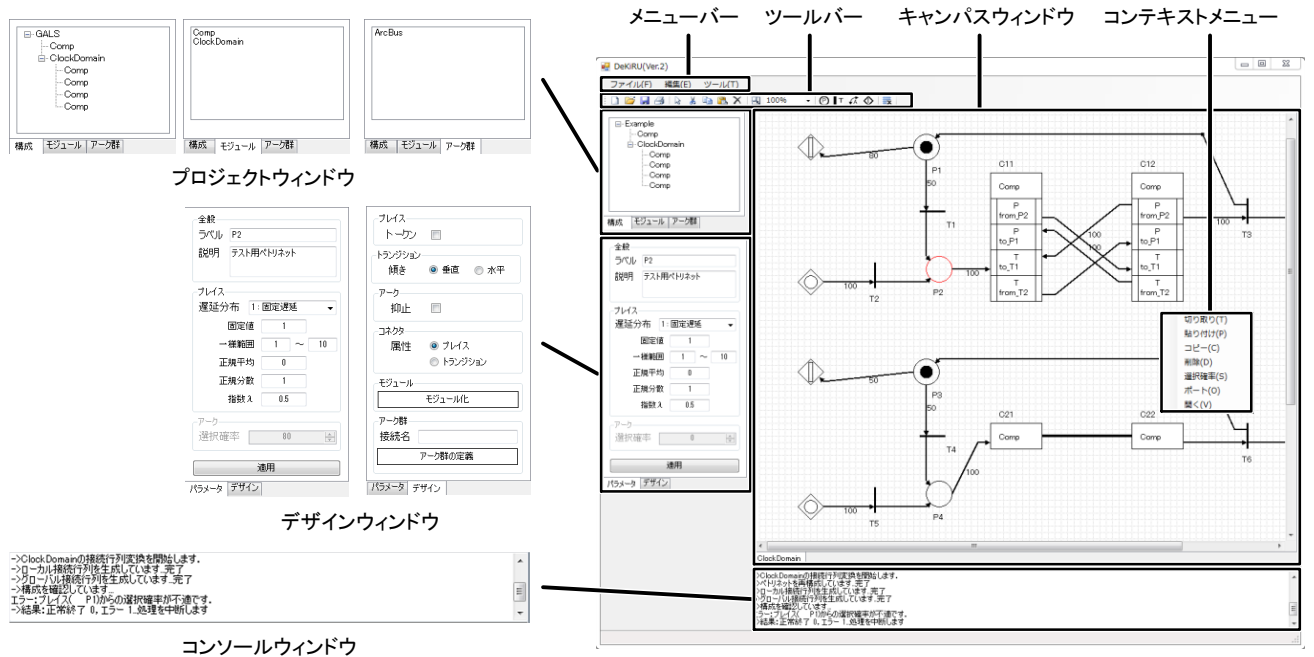


図 2 DeKiRU の構成

➤ キャンパスウィンドウ

入力中の STPN を表示するキャンパスであり、複数のタブによって管理されます。キャンパスに入力・表示可能なオブジェクトを図 3 に示します。

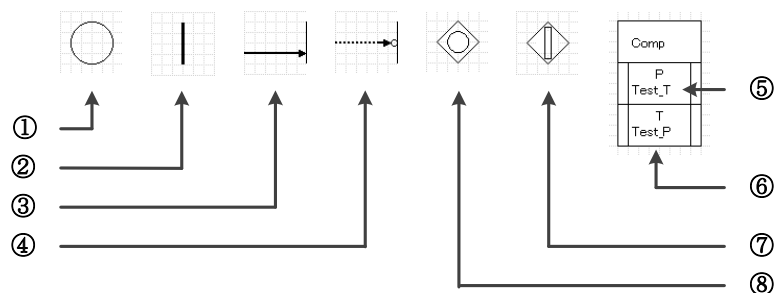


図 3 オブジェクトの種類

- ①：遷移の条件を表すプレイスです。
- ②：遷移を表すトランジションです。
- ③：プレイスとトランジション間の遷移関係を表すアークです。また、選択中のアークを一定距離ドラッグすると中継点が生成され、それを経由して描画されます。
- ④：プレイスからトランジションに対する抑止アークです。プレイスにトークンが存在する場合、接続先のトランジションの発火を抑止します。
- ⑤：モジュール内のプレイスまたはトランジションとの接続を表すコネクタです。
- ⑥：モジュール化された STPN です。
- ⑦：モジュール外のトランジションとの接続するポートです。
- ⑧：モジュール外のプレイスとの接続するポートです。

また、キャンパス上では、マウスホイールをスクロール操作することにより縦方向にスクロール、Shift キーを押しながら操作することにより横方向にスクロール、Ctrl キーを押しながら操作することにより表示倍率が変更されます。

#### ▶ プロジェクトウィンドウ

作成したモジュールやアーク群の管理を行います。"構成"タブには、作成中の STPN の構造をツリー構造で表示します。また、表示されている STPN を選択してダブルクリックすることにより、キャンパス上に新たなタブを生成して表示します。"モジュール"タブには、定義済みのモジュールが表示され、ダブルクリックで選択するとキャンパス上にモジュールを配置することができます。"アーク群"タブには、定義済みのアーク群が表示され、ダブルクリックで選択した後、対応するモジュール2つを指定することにより、アーク群が自動的に一括で接続されます。

#### ▶ デザインウィンドウ

選択した STPN に対するパラメータの設定やキャンパス上の描画形態の変更、モジュールおよびアーク群の定義を行います。"パラメータ"タブおよび"デザイン"タブにおける各項目の意味と機能は以下の通りです。

##### "パラメータ"タブ

**"全般"グループ**：STPN のオブジェクト(プレイス、トランジション、モジュール)に関するパラメータであり、オブジェクトの選択時に以下のパラメータを設定できます。

**ラベル**：オブジェクトを識別するために設けられるラベルであり，設定した文字列はオブジェクトの下部に表示されます。

**説明**：入力したオブジェクトの説明であり，ラベルとは異なり，ここで設定した文字列はキャンパス上には表示されません。

**"プレイス"グループ**：プレイスに関するパラメータであり，プレイスの選択時に以下のパラメータを設定できます。

**遅延分布**：プレイスに設ける遅延分布を設定します。選択可能な遅延分布は 1.固定遅延，2.一様分布遅延，3.正規分布遅延，4.指数分布遅延の 4 種類であり，これを選択した上で，以下の対応する変数を入力することでプレイスに遅延分布が設定されます。

**固定値**：固定遅延における遅延値を設定します。

**一様範囲**：一様分布遅延における遅延の範囲を設定します。

**正規平均**：生起分布遅延における分布の平均値を設定します。

**正規分散**：生起分布遅延における分布の分散値を設定します。

**指数分布**：指数分布遅延における分布の平均値を設定します。

**"アーク"グループ**：アークに関するパラメータであり，アークの選択時に以下のパラメータを設定できます。

**選択確率**：アークに割り当てる選択確率を 0%～100%の整数値で設定します。

なお，以上で設定したパラメータは"適用ボタン"を押して初めて反映されます。また，複数のオブジェクトを選択することにより，一括で同じパラメータを設定できます。

## "デザイン"タブ

デザインタブの各項目は，キャンパス上に配置予定または選択中のオブジェクトについて，以下の項目を変更することができます。

**"プレイストークン"**：プレイスに対するトークンの有無を設定します。

**"トランジションー傾き"**：トランジションの傾き(水平・垂直)を設定します。

**"アークー抑止"**：アークを抑止アークに設定します。

**"インターフェースー属性"**：ポートの種類(プレイス・トランジション)を設定します。

**"モジュール"**：モジュールボタンをクリックすることにより，現在キャンパス上に表示している STPN をモジュール化し，モジュールとしてプロジェクトウィンドウに登録します。なお，モジュール化の処理過程は，コンソールウィンドウに通知され，STPN に構造的な誤りが検出された場合はモジュール化を中断します。

**"アーク群"**：モジュール間のアーク群を選択した状態で，定義ボタンをクリックすることにより，アーク群を接続名に入力されている名前プロジェクトウィンドウに登録します。

### ➤ コンソールウィンドウ

接続行列の生成状況を通知するとともに，その過程で構造的な誤りが検出された場合は，誤りの箇所を通知します。

### ➤ メニューバー

**"ファイル"**：ファイルの入出力に関する以下のコマンドを提供します。

"新規作成ーファイル": STPN を作成します。STPN の情報は STPN ファイル(.pn)に保存されます。このコマンドを実行すると、新規ファイルダイアログ(図 4(a))が表示され、ファイル名と初期キャンパスのサイズを入力後に作成ボタンをクリックすると、現在のプロジェクトに新たな STPN が追加されます。

"新規作成ープロジェクト": STPN を管理するプロジェクトを作成します。プロジェクトの情報はプロジェクトファイル(.pnp)に保存されます。このコマンドを実行すると、新規プロジェクトダイアログ(図 4(b))が表示され、プロジェクト名と初期ディレクトリの場所を入力後に作成ボタンをクリックすると、プロジェクトファイルと関連データ保存用のフォルダが生成されます。

"開くーファイル": 既存の STPN を読み込みます。このコマンドを実行すると、オープンファイルダイアログが表示され、STPN ファイルを指定することにより、現在のプロジェクトに既存の STPN が追加されます。

"開くープロジェクト": 既存のプロジェクトを読み込みます。このコマンドを実行すると、オープンプロジェクトダイアログが表示され、プロジェクトファイルを指定することにより、既存のプロジェクトが展開されます。

"上書き保存": キャンパス上の STPN を上書き保存します。

"名前を付けて保存": キャンパス上の STPN を別の STPN ファイルとして保存します。このコマンドを実行すると、セーブファイルダイアログが表示され、任意のディレクトリにファイルを保存することができます。

"すべて保存": プロジェクトに属する全ての STPN を上書き保存します。

"印刷": キャンパス上の STPN を印刷します。

"印刷プレビュー": キャンパス上の STPN に対する印刷プレビューを表示します。

"ページ設定": 印刷に関するページ設定ダイアログを表示します。

"キャンパスサイズ": 現在のキャンパスサイズを変更します。このコマンドを実行すると、キャンパスサイズの変更ダイアログ(図 4(c))が表示され、キャンパスの幅と高さを指定後、変更ボタンをクリックするとキャンパスサイズが変更されます。

"出力": キャンパス上の STPN に対応する接続行列を含む評価ファイル(.csv)と画像ファイル(.jpg)を出力します。

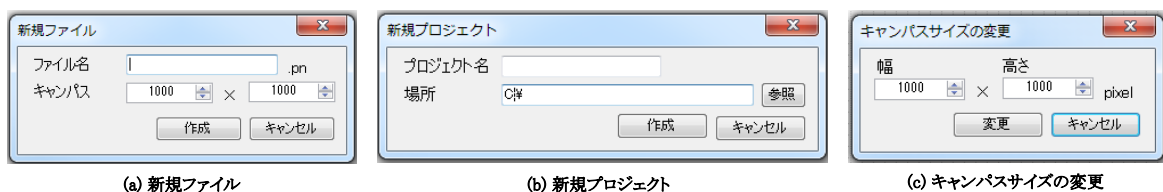


図 4 各種ダイアログ

"編集": キャンパス上のオブジェクトの操作に関する以下のコマンドを提供します。

"元に戻す": オブジェクトに対する操作を元に戻します。

"やり直し": オブジェクトに対する操作をやり直します。



"切り取り": 選択中のオブジェクトを切り取って、クリップボードに格納します。

"コピー": 選択中のオブジェクトをコピーして、クリップボードに格納します。

"貼り付け": クリップボード上のオブジェクトをキャンパス上に貼り付けます。貼り付け予定のオブジェクトは強調色で表示され、貼り付け予定先に既存のオブジェクトが存在しなければ、任意の位置にオブジェクトを貼り付けできます。

"削除": 選択中のオブジェクトを削除します。

"すべて選択": キャンパス上のオブジェクトをすべて選択します。

"ツール": 入力インターフェースの初期設定に関する以下のコマンドを提供します。

"オプション": オブジェクトの描画や操作に関する設定を行います。このコマンドを実行すると、オプションダイアログ(図 5)が表示され、以下の項目について設定が可能です。

**全般:** 現在のプロジェクトの情報が表示されます。また、オブジェクトの描画や操作に関する設定が可能です。

**描画色:** 各種オブジェクトの描画色を設定します。また、オブジェクトの選択や貼り付け時における強調色を設定できます。

**オブジェクト:** プレイスをキャンパスに配置する際に、予め定義されている遅延情報を設定できます。

**出力:** 出力ファイルの種類、接続行列の生成時における STPN の構成確認項目を設定できます。また、"接続行列の最適化"にチェックを入れておくと、オーダリングを施して接続行列が生成されます。

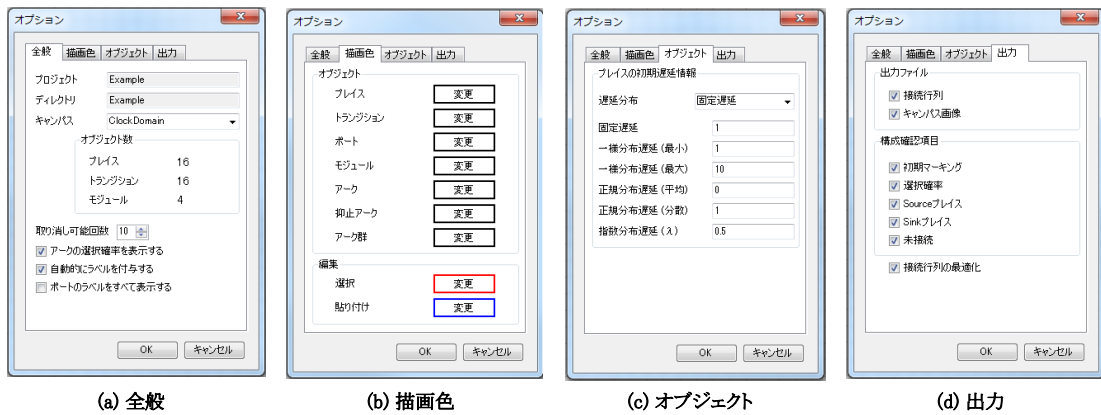


図 5 オプションダイアログ

➤ ツールバー

メニューバーの主要なコマンドに加えて、以下のコマンドを提供します(図 6)。

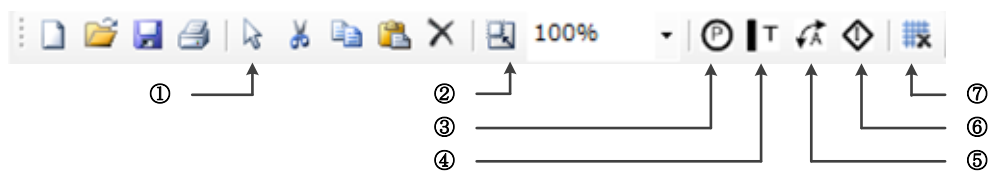


図 6 ツールバーの構成



"**選択**": オブジェクトの選択モードに移行します。このモード時にキャンパス上のオブジェクトをクリックすると選択状態となり、強調色で表示されます。Shift キーを押しながらクリックすると複数のオブジェクトを選択することができます。

"**表示倍率の変更**": キャンパスの表示倍率を変更します。

"**プレイス**": プレイスの配置モードに移行します。このモード時にキャンパスをクリックするとプレイスを配置できます。さらに、設置済みのプレイスをダブルクリックすると、トークンを割り当てることができます。

"**トランジション**": トランジションの配置モードに移行します。このモード時にキャンパスをクリックするとトランジションを配置できます。さらに、設置済みのトランジションをダブルクリックすると、傾きを変更することができます。

"**アーク**": アークの接続モードに移行します。アークの始点となるオブジェクトをクリックするとアークが生成され、終点となるオブジェクトをクリックすることでアークが接続されます。

"**ポート**": ポートの配置モードに移行します。このモード時にキャンパスをクリックするとポートを配置できます。

"**キャンパスを閉じる**": 現在表示されているキャンパスを閉じます。

#### ▶ コンテキストメニュー

キャンパス上でマウスを右クリックした際に表示されるコンテキストメニューであり、"編集"コマンドに加えて以下のコマンドを提供します(図 7)。

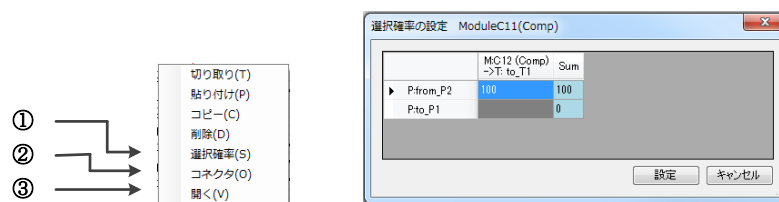


図 7 コンテキストメニューと選択確率ダイアログ

①: プレイスまたはモジュールの選択時に表示されるコマンドであり、選択確率の設定を行います。このコマンドを実行すると、選択確率ダイアログが表示され、選択中のオブジェクトに関連する選択確率が列挙されます。任意の選択確率を入力して、設定ボタンをクリックすると、一括で選択確率を設定することができます。

②: モジュールのコネクタを格納し、モジュール名の矩形のみで表示します。また、モジュール名の矩形をダブルクリックすることでも同様にコネクタの格納は可能です。

③: 選択しているモジュール内の STPN を開いてキャンパスに追加・表示します。

### 2.3.ペトリネットシミュレータ (SimSTPN)

SimSTPN は、DeKiRU より得られた評価ファイルを入力として、STPN の遷移をシミュレートし、性能評価指数を算出します。性能評価指数は、STPN における 2つのトランジション(トランジションペア)の発火時刻差(TSE)として定義されます。また、シミュレーションはモンテカルロ法に基づいて行われ、信頼度 98%を満たすまで繰り返し試行されます。

SimSTPN は、Windows コンソールアプリケーションであり、コマンドプロンプトより起動します。シミュレータの動作画面を図 7 に示し、各項目の説明を以下に記します。

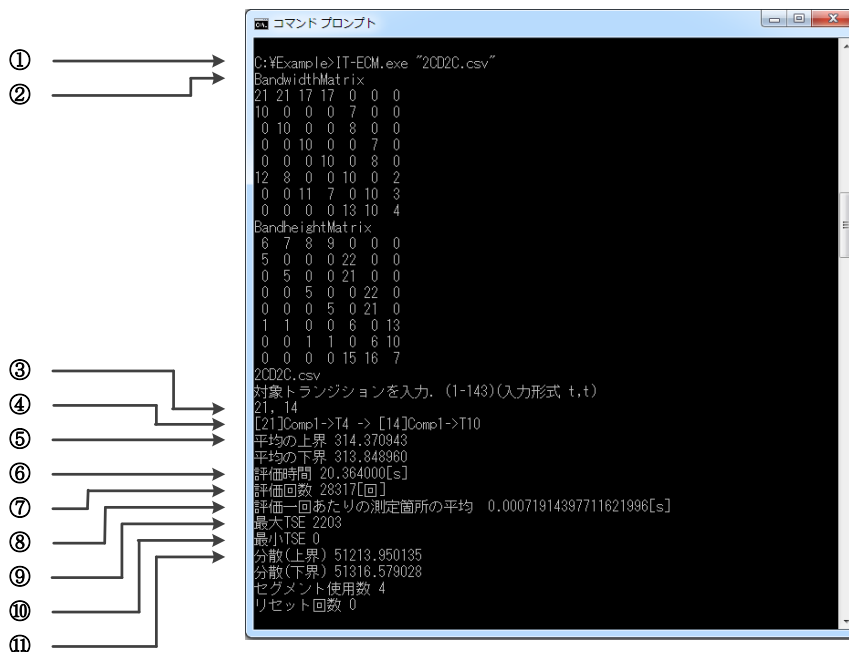


図 8 SimSTPN の動作画面

①：シミュレータの実行コマンドです。第一コマンドライン引数に評価データのファイルを指定します(例：2CD2C.csv)。

②：評価データを解析して得られたブロック行列の構成と各ブロックの帯幅を表示します。

③：評価対象となるトランジションペアの番号を入力します。

④：評価データとトランジションペアを解析として得られたトランジションペアのラベルを表示します。

※シミュレーションが実行され、終了すると以下の評価結果が表示されます。

⑤：平均 TSE の上界および下界を表示します。

⑥：シミュレーションの開始から終了までの評価時間を表示します。

⑦：シミュレーションの試行回数を表示します。

⑧：シミュレーション一回当たりの平均評価時間を表示します。

⑨：全シミュレーションを通じて得られた最大 TSE を表示します。

⑩：全シミュレーションを通じて得られた最小 TSE を表示します。

⑪：上界および下界の算出において得られた TSE の分散を表示します。

## 3. サンプルの実行

### 3.1. 評価データの作成

本ツールには、DeKiRU の動作を確認するためのサンプルプロジェクト"Example"を同梱しています。以下、Example を用いた評価データの作成例を説明します。なお、Example に含まれる STPN はあくまでも DeKiRU の動作確認用であり、GALS システムの性能評価の前提とした構成ではありません。

手順1：DEKIRU.exe を起動します。

手順2：メニューバーの"ファイルー開くープロジェクト"より、Example / Example.pnp を指定してプロジェクトファイルを開きます。

Example には、Comp と ClockDomain の二つの STPN が登録されており、ClockDomain はモジュール化された4つの Comp により構成されています。また、Comp 間のアーク接続はアーク群 ArcBus として登録されています。これらの操作等については2.を参照下さい。以降、Comp に対する評価データ(接続行列)の生成例を説明します。

手順3：プロジェクトウィンドウの構成タブから Comp をダブルクリックし、キャンパス上に Comp の STPN を表示します(図9)。

手順4：メニューバの"ファイルー出力"より、評価データを生成します。生成された評価データは、DeKiRU.exe と同じディレクトリに Example / Result / Comp.csv として保存されます。

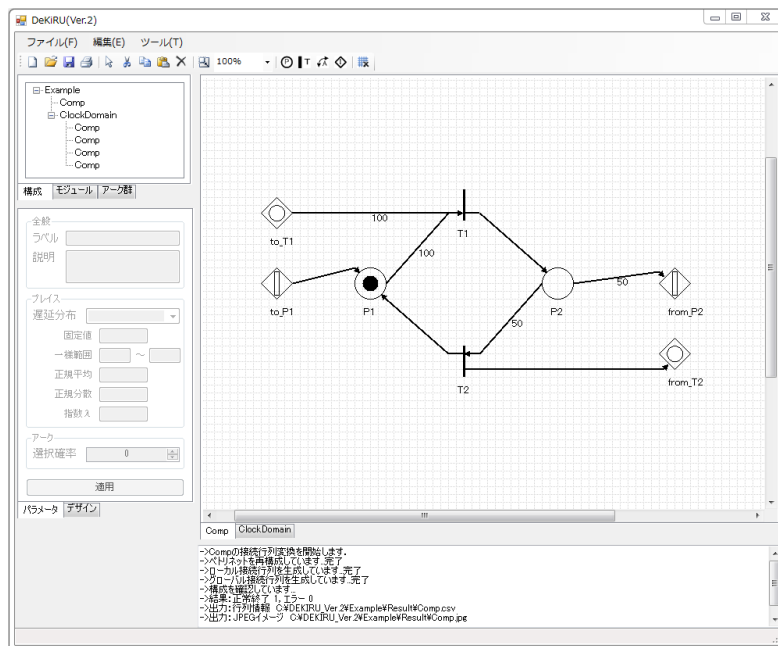


図9 Comp の構成と評価データの生成

### 3.2.性能評価指数の算出

本ツールには、SimSTPN の動作を確認するためのサンプル評価データ"2CD2C.csv"を同梱しています。本データは、2つのコンポーネントにより構成されるクロックドメインを2つ備えたGALS システムをモデル化したものであり、接続行列にはオーダリングを施して出力しています。以下、2CD2C.csv を用いた性能評価例を説明します。なお、本ツールでは、オーダリングによる性能評価時間の短縮効果を確認するため、以下の6種類のシミュレータを用意しています。

"NON.exe" : オーダリングによる行列演算の効率化を施さずシミュレーションを行います。

"MND.exe" : ブロック行列化を適用してシミュレーションを行います。

"ECM.exe" : 帯行列化を適用してシミュレーションを行います。

"IT.exe" : 演算要素に対する参照テーブルを用いてシミュレーションを行います。

"IT-MND.exe" : ブロック行列化と参照テーブルを併用してシミュレーションを行います。

"IT-ECM.exe" : 帯行列化と参照テーブルを併用してシミュレーションを行います。

いずれのシミュレータも算出される評価指数は同じですが、ここでは、最も高速化に評価指数を算出可能な IT-MEC.exe を使用する場合のシミュレーション手順について説明します。

手順1 : コマンドプロンプトを起動します。

手順2 : シミュレータと評価データを指定します。コマンドは以下の通りです。

> IT-ECM.exe "2CD2C.csv"

手順3 : トランジションペアを指定します。性能評価指数は、コンポーネントが非同期バスの使用要求を発してからその承認を得るまでの応答時間として、ここではトランジション番号 21 と 14 がこれに該当します。コマンドは以下の通りです。

> 21, 14

手順4 : シミュレーションが実行されます。

手順5 : 数十秒程度でシミュレーションが終了し、評価結果が表示されます(図 10)。

```

C:\Example>IT-ECM.exe "2CD2C.csv"
BandwidthMatrix
21 21 17 0 0 0
10 0 0 0 7 0 0
0 10 0 0 8 0 0
0 0 10 0 0 7 0
0 0 0 10 0 8 0
12 8 0 0 10 0 2
0 0 11 7 0 10 3
0 0 0 0 13 10 4
BandheightMatrix
6 7 8 9 0 0 0
5 0 0 0 22 0 0
0 5 0 0 21 0 0
0 0 5 0 0 22 0
0 0 0 5 0 21 0
1 1 0 0 8 0 13
0 0 1 1 0 6 10
0 0 0 0 15 16 7
2CD2C.csv
対象トランジションを入力。(1-143)(入力形式 t,t)
21, 14
[21]Comp1->T4 -> [14]Comp1->T10
平均の上界 314.370943
平均の下界 313.848960
評価時間 20.364000[s]
評価回数 28317[回]
評価一回あたりの測定箇所の平均 0.00071914397711621996[s]
最大TSE 2203
最小TSE 0
分散(上界) 51213.950135
分散(下界) 51316.579028
セグメント使用数 4
リセット回数 0

```

図 10 性能評価指数の算出

## 4. ディレクトリ構成

本ツールのディレクトリ構成を図 14 に示し、各フォルダおよびファイルの説明を以下に記します。

EvaTools / DeKiRU / DeKiRU.exe	.....	①
/ Example / am / ArcBus.am	...②	
/ md / Comp.md	...③	
/ pn / Comp.pn	...④	
/ ClockDomain.pn	...⑤	
/ Result / Comp.csv	...⑥	
/ Comp.jpg	...⑦	
/ Example.pnp	.....	⑧
/ SimSTPN / NON.exe	.....	⑨
/ MND.exe	.....	⑩
/ ECM.exe	.....	⑪
/ IT.exe	.....	⑫
/ IT-MND.exe	.....	⑬
/ IT-ECM.exe	.....	⑭
/ 2CD2C.csv	.....	⑮

図 11 実験機のディレクトリ構成

- ① : 入力インタフェースの実行ファイルです。
- ② : アーク群"ArcBus"のデータファイルです。
- ③ : モジュール"Comp"のデータファイルです。
- ④ : STPN"Comp"のデータファイルです。
- ⑤ : STPN"ClockDomain"のデータファイルです。
- ⑥ : "Comp"の接続行列が保存されている評価データファイルです。
- ⑦ : "Comp"の構成を表す画像ファイルです。
- ⑧ : サンプルプロジェクトのデータファイルです。
- ⑨～⑭ : 各種シミュレータの実行ファイルです。
- ⑮ : サンプル用の評価データファイルです。

## 4.参考文献

- [1] A.Xie and P.A.Beerel. : Performance Analysis of Asynchronous Circuits and Systems using Stochastic Timed Petri Nets, Proc. 2th Workshop on Hardware Design and Petri Nets (HWPN), 1999, pp.35-62.
- [2] 近藤真史, 横川智教, 佐藤洋一郎, 有本和民. : 共有バス型大規模デジタルシステムを対象とした性能評価の高速化, 電気学会論文誌 C, Vol.134, No.2 (2014), pp.312-319.