

TR-AC-0023

002

コージェネレーションシステム
最適化プログラムの評価検討

山田 順一 北川 美宏 (ATR-I)
岡本 正紀 (法政大)

1998. 9. 2

ATR環境適応通信研究所

目次

概要

1 研究の目的	1
2 詳細データの作成とプログラム検証	1
2.1 データの設計	1
2.2 検証のための予想値計算	5
2.3 プログラムの動作の検証	5
2.4 収束パラメータの依存性	8
3 プログラム改善の検討	9
4 デモ用データの作成	9
5 まとめ	9

<付録> デモ用データ

概要

ATR 環境適応通信研究所では、NTT ファシリティーズと共同研究で、ハミルトニアンアルゴリズムを使用してコージェネレーションシステム(CGS)の最適化の研究を進めている。現在、投資回収年数を最小とする CGS の最適設計のためのプログラムを検討している。本研究は、プログラムの妥当性を検証するために、最適値が簡単な計算で可能な負荷データの提案と、CGS 動作を評価するための可視化プログラムに使用するデータの作成を目的とする。

1 研究の目的

本研究は、ATRで開発したハミルトニアンアルゴリズムを応用したコージェネレーションシステム(CGS)の最適な構成を求めるプログラムの妥当性について検証することを目的とする。このプログラムは、入力として電力、冷暖房負荷及び構成装置の容量とコストの関係式を与えると、投資回収年数を最小とするシステムの条件を計算するものである。購入電力やガスを考慮した最適化は非常に難しい課題であり、プログラムの妥当性を検証して、今後の研究に反映させていく。

2 詳細データの作成とプログラム検証

プログラムの妥当性を検証するために以下の手順で研究を進めた。

- ①投資回収年数の最小となる条件を予想できるいくつかの特徴のあるデータを用意する。
- ②用意したデータをアルゴリズムとは別の方法で計算する。
- ③プログラムの結果と②の結果を比較することによりプログラムを評価する。

2.1 データの設計

CGSの一般的な構成を図1に示す。GEはガスエンジン、ARは排熱利用吸収式冷凍機、HPはヒートポンプである。図1の各変数の説明を以下に示す。

- ・ $X_d(m,h)$ 電気購入量(kW)
- ・ $X_g(m,h)$ ガス購入量(kW)
- ・ $Z_t(m,h)$ 廃棄熱量(kW)
- ・ $Z_d(m,h)$ 廃棄電力量(kW)
- ・ $d_d(m,h)$ 電力負荷(kW)
- ・ $d_w(m,h)$ 冷房負荷(kW)
- ・ $d_w(m,h)$ 暖房負荷(kW)
- ・ $\eta_{gt}, \eta_{gd}, \eta_{hc}, \eta_{hw}, \eta_{ac}, \eta_{aw}$ エネルギー変換係数
- ・ m 月 (1月~12月)
- ・ h 時間 (1時~24時)

図1の構成に対していくつかの特徴のある簡単なデータを4つ用意した。ここでは、②の計算を容易に実現するためデータの値は月、時間に関係なく一定とした。以下に、各データと予想される最適システム構成を示す。

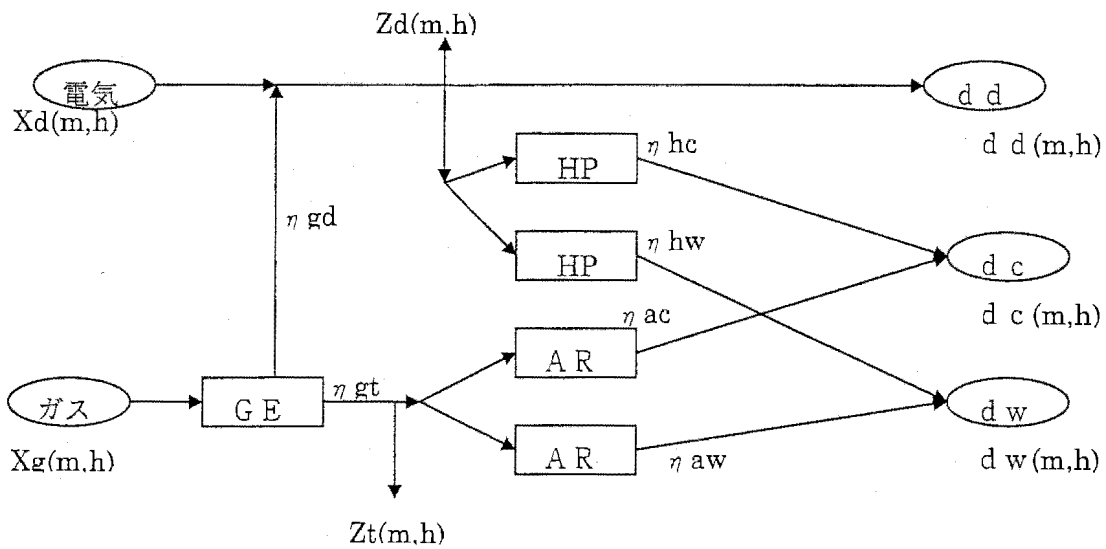


図1 CGSの構成

データ1：購入ガス 500kW を完全に利用し、冷房、暖房の出力を AR のみで全て賄う場合である。エネルギーの流れを図2に示す。ここで、図2中の 1/2 は GE からの排熱が AR 均等に二分割されていることを示す。入出力の単位は kW である。

データ2：購入ガス 1000kW を完全に利用し、冷房、暖房の出力を AR, HP 一台ずつで賄う場合であり、図3に示す。入出力の単位は kW である。

データ3：AR, HP を二台ずつ用意しそれらを均等分割した場合と非均等に分割した場合を検討する。

均等分割：ガス 1000kW を完全に利用し、冷房、暖房の出力を AR, HP 二台ずつで賄う場合で、図4に示す。ここで、図4の 1/2 は GE から排熱が AR 均等に二分割されていることと HP への入力電力量が均等に各 HP に分割されていることを示す。入出力の単位は kW である。

非均等分割：ガス 1000kW を完全に利用し、冷房、暖房の出力を AR, HP 二台ずつで賄う場合で、図5に示す。図5で、HP は非均等分割されている。なお、AR は二台とも暖房負荷に使用されている。入出力の単位は kW である。

データ4：電力購入を想定した場合で、図6に示す。ここで、AR, HP は二台ずつあるものとしている。入出力の単位は kW である。

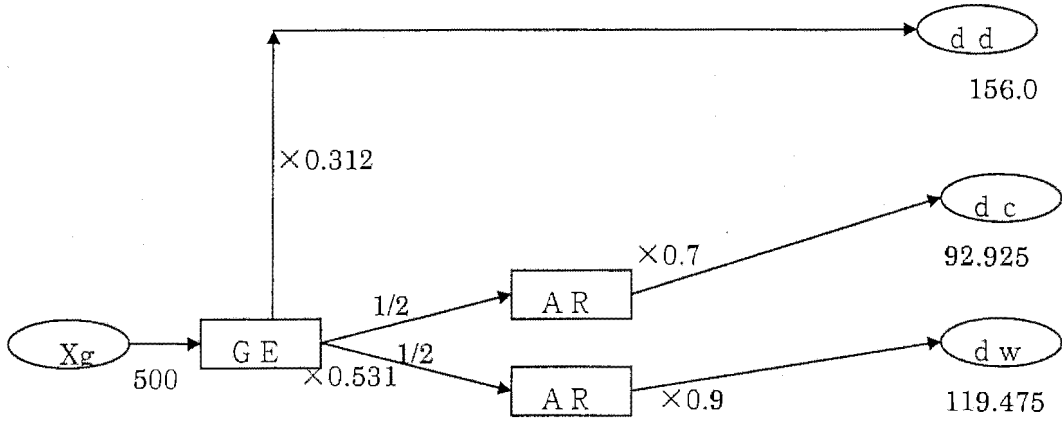


図 2 データ 1

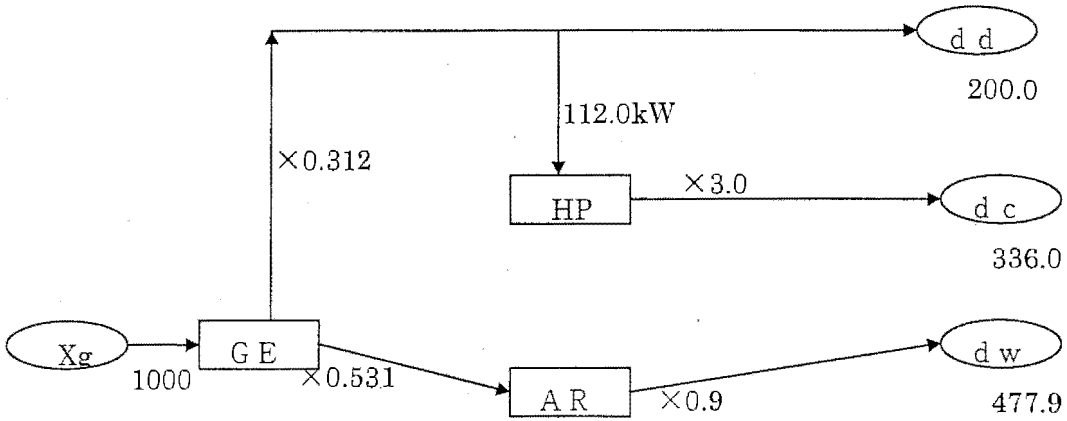


図 3 データ 2

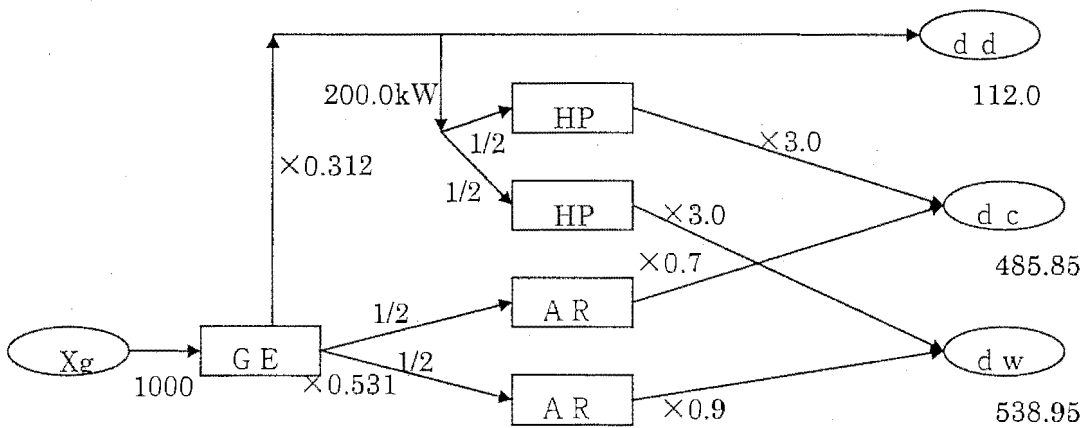


図 4 データ 3 (均等分割)

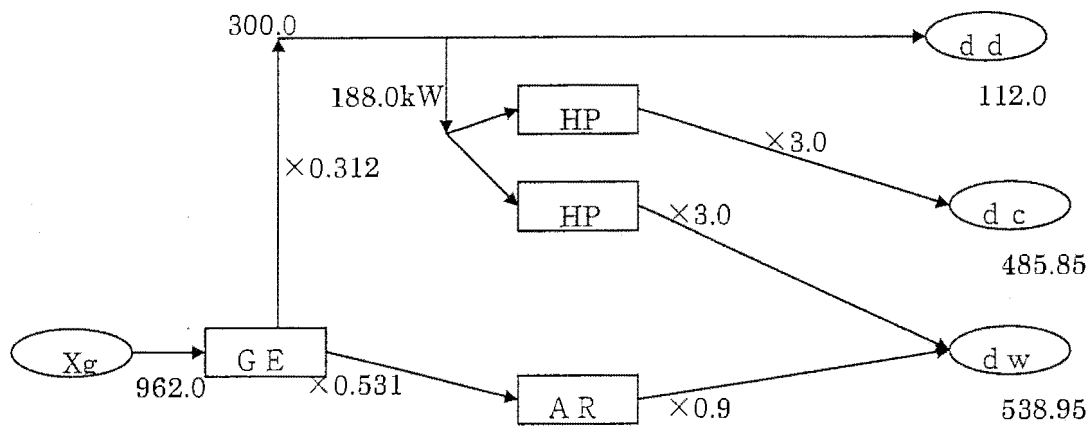


図5 データ3(非均等分割)

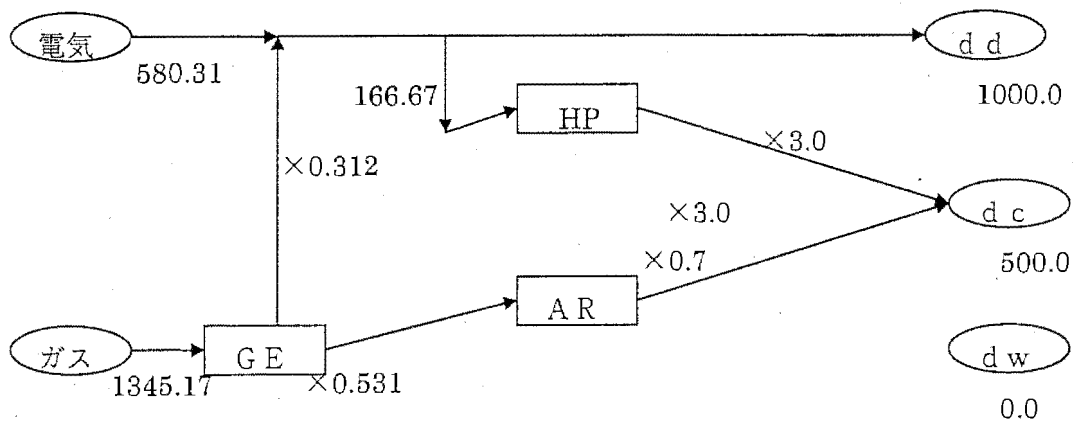


図6 データ4

各データの X_g 、 X_d 、 dd 、 dc 、 dw の入出力値を表1にまとめて示す。

表1 各データの入出力値

	$X_g(\text{kw})$	$X_d(\text{kw})$	$dd(\text{kw})$	$dc(\text{kw})$	$dw(\text{kw})$
データ1	500.0	0.0	156.000	92.925	119.475
データ2	1000.0	0.0	200.000	336.000	477.900
データ3(均等)	1000.0	0.0	112.000	485.850	538.950
データ3(非均等)	962.4	0.0	112.000	485.850	538.950
データ4	1345.2	345.0	1000.0	500.0	0.0

2.2 検証のための予想値計算

プログラムの検証に必要なものに、比較モデルのイニシャルコスト yic とランニングコスト yr_c 、CGS のイニシャルコスト xic とランニングコスト xr_c 、投資回収年数 a がある。プログラムの妥当性を調べるために、これらの値を各データごとに手計算で算出する。データ 1、データ 2、データ 3(均等分割)についてはデータの構成上から必然的に最適構成が分かるのでそれに基づいて計算式に数値を代入して求めた。データ 3(非均等分割)、データ 4については購入ガス量と AR の分割比率を変数として変化させて最適な解を求め、その構成に基づいて計算式に代入して求めた。これらの計算結果を表 2 に示す。

2.3 プログラムの動作の検証

用意したデータに対して実際にプログラムを実行した結果を表 3 に示す。現在、装置を非均等に 3 台以上分割したときの最適化のプログラムを検討中である。ここで、評価したプログラムは以下の 3 種類である。

- ・ CGSganew プログラム
AR、HP ともに均等に分割した CGS モデルの最適化プログラム
- ・ CGSga2 プログラム
AR は非均等で 2 台に分割、HP は均等分割した CGS モデルの最適化プログラム
- ・ CGSga2-2 プログラム
AR、HP ともに非均等に 2 台に分割した CGS モデルの最適化プログラム

検証の結果(表 3 参照)を以下にまとめる。

- ・ CGSga2-2, このプログラムは用意したすべてのデータに対して正しく動作し、プログラムが正常に動作していることを確認した。
- ・ CGSganew, このプログラムではデータ 2 における AR が二台の時の動作を除いて正しく動作することを確認した。つまり、AR を複数台 ($n_a > 1$) に分割したとき、予想される最小値まで a が収束しなかった。この結果からプログラムの均等分割の仕方に問題があることが予想できる。
- ・ CGSga2, このプログラムに対しては CGSganew と同様の結果となった。

表2 手計算

	yic	yrc	xic	gg	ga	gh	xrc	α
data1	13.3550	35.5985	73.4616	53.2398	20.2218	0.0000	15.4639	2.9852
data2	43.1164	73.9753	152.0089	101.4759	30.4435	20.0896	30.3878	2.4983
data3均等	52.2577	71.1971	165.1961	101.4759	30.4435	33.2767	30.3878	2.7675
data3非均等	52.2577	71.1971	159.2475	97.9765	29.6757	31.5952	29.2602	2.5512
data4	28.4385	183.1200	170.3296	132.8295	37.5000	0.0027	131.7661	2.7630

表2の各値を説明する。

yic・・・比較モデルのイニシャルコスト

yrc・・・比較モデルのランニングコスト

xic・・・CGSモデルのイニシャルコスト

gg・・・ガスエンジンのイニシャルコスト

の ga・・・ARのイニシャルコスト

gh・・・HPのイニシャルコスト

xrc・・・CGSモデルのランニングコスト

α ・・・最小投資回収年数

また、これらの値には以下の関係がある。

$$xic = gg + ga + gh \quad (1)$$

$$\alpha = (xic - yic) / (yrc - xrc) \quad (2)$$

表3 結果表

プログラム	データ	na	nh	dt	bpara	imax	yic	yr	xic	gg	ga	gh	xrc	α
CGSganew	データ1	2	2	0.002	0.999	1000000	13.35495713	35.59852800	73.46	53.24	20.22	0.00	15.47	2.9856
CGSganew	データ1	2	3	0.002	0.999	1000000	13.35495713	35.59852800	73.46	53.24	20.22	0.00	15.47	2.9856
CGSganew	データ1	2	4	0.002	0.999	1000000	13.35495713	35.59852800	73.46	53.24	20.22	0.00	15.47	2.9856
CGSga2-2	データ1	2	2	0.002	0.9999	1000000	13.35495713	35.59852800	73.46	53.24	20.22	0.00	15.47	2.9856
CGSga2	データ1	2	2	0.002	0.9999	1000000	13.35495713	35.59852800	73.46	53.24	20.22	0.00	15.47	2.9856
手計算	データ1						13.35495410	35.59852734	73.46	53.24	20.22	0.00	15.46	2.9852
CGSganew	データ2	1	1	0.002	0.999	1000000	43.11641765	73.97524800	152.01	101.48	30.44	20.09	30.39	2.4985
CGSganew	データ2	1	2	0.002	0.999	1000000	43.11641765	73.97524800	152.01	101.48	30.44	20.09	30.39	2.4985
CGSganew	データ2	2	2	0.002	0.999	1000000	43.11641765	73.97524800	161.26	104.36	35.28	21.63	31.33	2.7704
CGSga2-2	データ2	2	2	0.002	0.9999	1000000	43.11641765	73.97524800	152.01	101.48	30.44	20.09	30.39	2.4985
CGSga2	データ2	2	2	0.002	0.999	1000000	43.11641765	73.97524800	157.07	104.35	31.09	21.63	31.33	2.6720
手計算	データ2						43.11639844	73.97525000	152.01	101.48	30.44	20.09	30.39	2.4983
CGSganew	データ3	2	2	0.002	0.999	1000000	52.25775670	71.19705600	165.24	101.84	30.46	33.10	30.41	2.7702
CGSganew	データ3	1	2	0.002	0.999	1000000	52.25775670	71.19705600	177.65	97.98	29.68	50.00	29.28	2.9916
CGSga2-2	データ3	2	2	0.0003162	0.99999	1000000	52.25775670	71.19705600	159.25	97.98	29.68	31.60	29.27	2.5522
手計算	データ3(均等)						52.25774219	71.19705469	165.20	101.48	30.44	33.28	30.39	2.7675
手計算	データ3(非均等)						52.25774219	71.19705469	159.25	97.98	29.68	31.60	29.26	2.5512
CGSga2-2	データ4	2	2	0.002	0.9999	1000000	28.43851681	183.12000000	170.33	132.83	37.50	0.00	131.78	2.7638
手計算	データ4						28.43851681	183.12000561	170.33	132.83	37.50	0.003	131.77	2.7630

表3の各値を説明する。

yic・・・比較モデルのイニシャルコスト

yr・・・比較モデルのランニングコスト

xic・・・CGSモデルのイニシャルコスト

gg・・・ガスエンジンのイニシャルコスト

ga・・・ARのイニシャルコスト

gh・・・HPのイニシャルコスト

xrc・・・CGSモデルのランニングコスト

α ・・・最小投資回収年数

na・・・ARの分割台数

nh・・・HPの分割台数

dt,bpara・・・収束のためのパラメータ

imax・・・計算の回数

2.4 収束パラメータの依存性

収束しにくいデータに対して、ハミルトニアンアルゴリズムの収束パラメータ (dt、bpara) を変えると、投資回収年数の最小値 (alphamin) が異なる結果となった。そこで、CGSga2-2 プログラムを、データ 3 に対して dt、bpara を変化させた結果を、表 4 に示す。計算回数はすべて一定(100 万)にしてある。

この収束パラメータは、繰り返し計算の刻みとなる dt と、ハミルトニアンの運動を緩和させ収束させるための減衰定数 bpara である。これらのパラメータの最適化はまだ行っていないが、以下の傾向は明らかである。

表 4 より dt が大きいときは bpara は小さいほうが最小値が良く、逆に dt を小さくとしたときは bpara は大きくとるほうが最小値が良い結果が得られた。種々の計算を行った結果、後者の組み合わせの方が、用意したデータに対して予想する投資回収年数 α に近い値が得られることを確認した。

これらのパラメータは、計算時間、計算精度などにも大きく関係し、計算目的に応じて最適化が必要なことを確認した。

表4 dt,bpara関係表

dt	bpara	alphamin
0.010000	0.99900	2.563464003
0.010000	0.99990	2.606546975
0.010000	0.99999	2.915231433
0.003162	0.99900	2.553214333
0.003162	0.99990	2.557989069
0.003162	0.99999	2.577150529
0.001000	0.99900	2.656062303
0.001000	0.99990	2.552485151
0.001000	0.99999	2.555007342
0.000316	0.99900	2.769528880
0.000316	0.99990	2.655989898
0.000316	0.99999	2.552201070
手計算		2.551212741

3 プログラムの改善の検討

2.3の検証結果から、イニシャルコストを計算するときの装置の分割方法に問題がある可能性がある。なぜなら、ARが二台の場合の出力はARが一台の場合以下の α がプログラムから計算できるはずである。二台を同時に使うことにより一台と同じ α が求まることは明らかである。しかし、検証の結果、ARが二台の時の方が大きい α の値を計算したので、CGSganewとCGSga2のプログラムは、需要に対して複数台の装置に稼働をどう振り分けるかさらに検討する必要があることがわかった。

そこで、AR装置の均等分割において従来とは違う分配方法を導入したモデルについて検証してみた。

冷暖房装置の出力の大きさを w (暖房)、 c (冷房)とし、ARの台数を x とする。

$$xc = x \times \frac{c}{w+c} \quad (3)$$

$$xw = x \times \frac{w}{w+c} \quad (4)$$

xc , xw を四捨五入することによって冷房と暖房への装置数の割り当てが実現できる。この方法によって、従来では微量の xw などがあった場合にはそれにも装置を割り当てていたところを、エネルギー効率の良いARを最大限使えるように分配することができるようになった。そのとき、無視された微量な値はHPへ繰り越す。

この計算方法を使ってプログラムを修正した。その結果、以前より小さい α が出力されるようにはなったが、変動が大きいため、きれいに収束しないことがわかった。さらに、新しい計算方法の検討が必要である。

4 デモ用データの作成

10000m²の標準的なホテルの負荷データをもとにCGSga2-2のプログラムを使用して、デモ用のデータを作成した。出力結果を付録として添付する。

5 まとめ

ホテルの実データでは最適な解かどうかの判定が不可能なため、最適な解が求めやすいデータを作成してコージェネレーションシステムの最適化プログラムの妥当性を検討した。

検討した結果、CGSga2-2に対しては動作の妥当性を十分に示すことができたCGSganew,CGSga2においては上記のようにAR複数台による均等分割ではデータ2で推測される最小の α までは収束しなかった。このことにより、プログラムの装置分割の部

分に問題がある可能性が大きいことが予想された。そこで、新しい分割方法を試してみたが良い結果は得られなかった。評価データの作成によりプログラムに関するいくつかのバグは発見できた。しかし、分割時の計算方法の根本的な解決に結びつくプログラムの提案には至らなかった。

(参考文献)

山田、新上、北川、柳、植草、‘ハミルトニアンアルゴリズムによるコージェネレーションシステムの最適化’ 電子情報通信学会、電子通信エネルギー技術研究会 9月発表予定。

以上

Table with columns labeled 1 through 12 and rows of numerical data under the heading '購入電力量 (CGS)'.

Table with columns labeled 1 through 12 and rows of numerical data under the heading '購入電力量 (CGS)'.

Table with columns labeled 1 through 12 and rows of numerical data under the heading '購入電力量 (比較平均)'.

Table with columns labeled 1 through 12 and rows of numerical data under the heading '電力需要'.

Table with columns labeled 1 through 12 and rows of numerical data under the heading '購入電力量'.

Table with columns labeled 1 through 12 and rows of numerical data under the heading '購入電力量'.

Table with columns labeled 1 through 12 and rows of numerical data under the heading '発電電力量'.

Table with columns labeled 1 through 12 and rows of numerical data under the heading '発電電力量'.

Table with columns labeled 1 through 12 and rows of numerical data under the heading '発電出力 (MW)'.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

空房出力 (AR)

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

暖房出力

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

暖房出力 (MR)

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

暖房出力 (AR)

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

発電電力

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

発電熱量

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

発電電力

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

Table with 12 columns of numerical data, likely representing engine performance metrics over time.

Table with 12 columns of numerical data, continuing the performance metrics from the previous table.

----- G -----

Table with 12 columns of numerical data, labeled 'G', showing performance metrics.

----- H -----

Table with 12 columns of numerical data, labeled 'H', showing performance metrics.

Table with 12 columns of numerical data, continuing the performance metrics from the previous table.

----- I -----

Table with 12 columns of numerical data, labeled 'I', showing performance metrics.

----- J -----

- インシヤルコスト (CGS) = 177.770319147848E
インシヤルコスト (比較) = 47.7173903727643E
ランニングコスト (CGS) = 53.5221865187861E
ランニングコスト (比較) = 71.20342325581397E
投収回収年数 (比較) = 7.355872822988E

----- A -----

購入ガス量 (CGS)

Table with 12 columns (1-12) and 24 rows of gas purchase data.

購入電力量 (CGS)

Table with 12 columns (1-12) and 24 rows of electricity purchase data.

購入電力量 (比較モデル)

Table with 12 columns (1-12) and 24 rows of electricity purchase data for comparison model.

電力需要

Table with 12 columns (1-12) and 12 rows of electricity demand data.

Table with 12 columns (1-12) and 24 rows of data, likely continuation of gas or electricity data.

購入電力量

Table with 12 columns (1-12) and 24 rows of electricity purchase data.

発電電力量

Table with 12 columns (1-12) and 24 rows of electricity generation data.

発電需要

Table with 12 columns (1-12) and 12 rows of electricity generation demand data.

発電出力 (MW)

Table with 12 columns (1-12) and 12 rows of electricity generation output data.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data, likely representing power output or similar metrics.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data, labeled '各房出力 (AR)' at the top.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data, labeled '観測需要' at the top.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data, labeled '観測出力 (HP)' at the top.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data, including a sub-table for '観測出力 (AR)'.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data, labeled '発電電力量' at the top.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data, labeled '発電熱量' at the top.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data, labeled '発電電力量' at the top.

Handwritten mark resembling the number '5'.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

冷房出力 (AR)

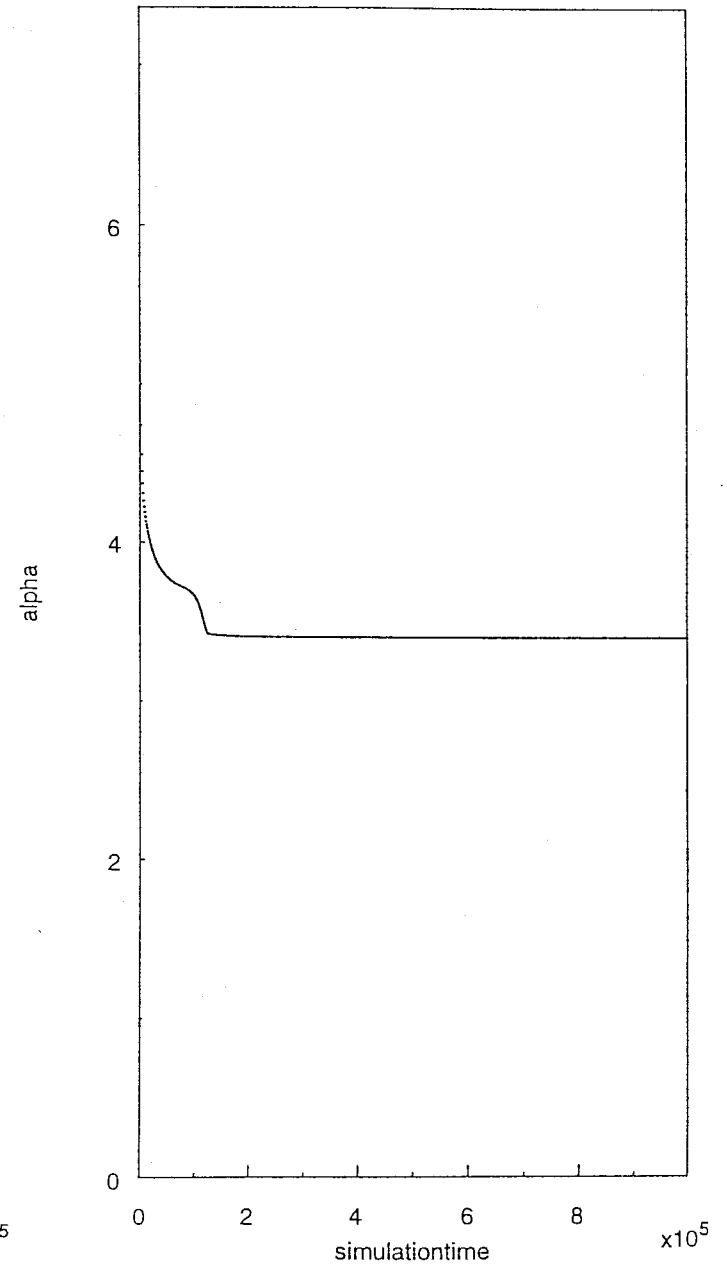
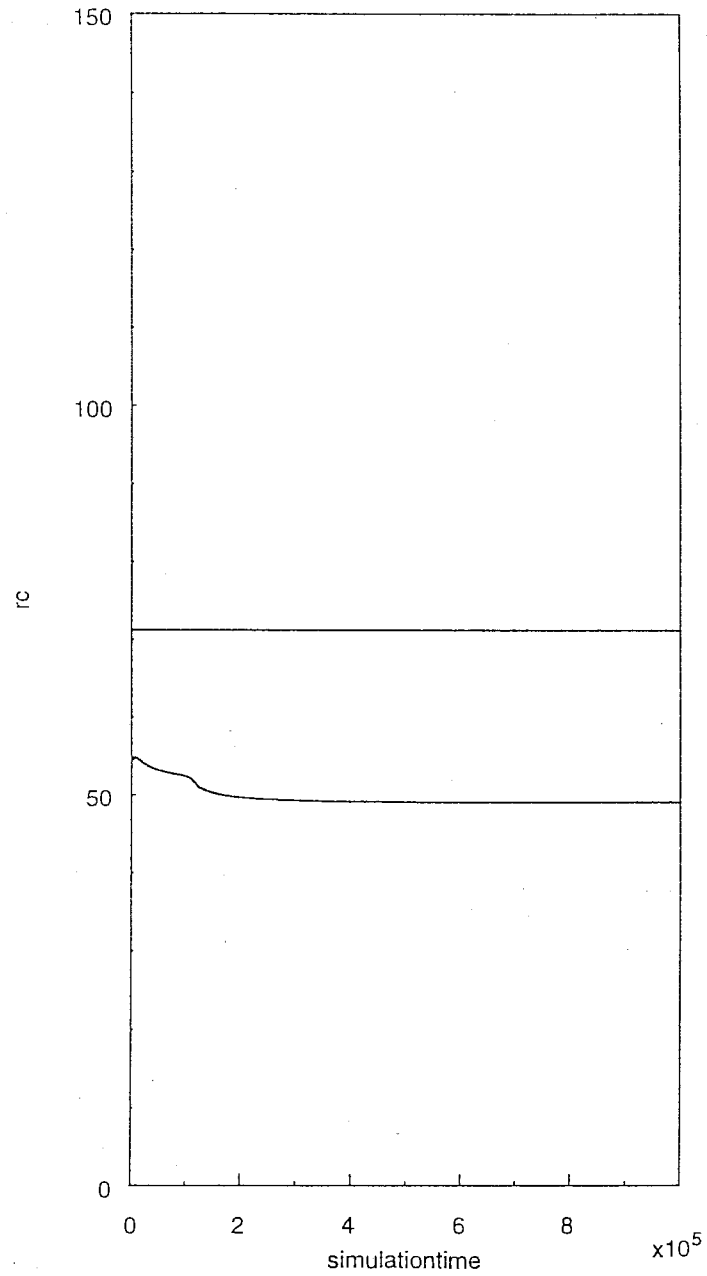
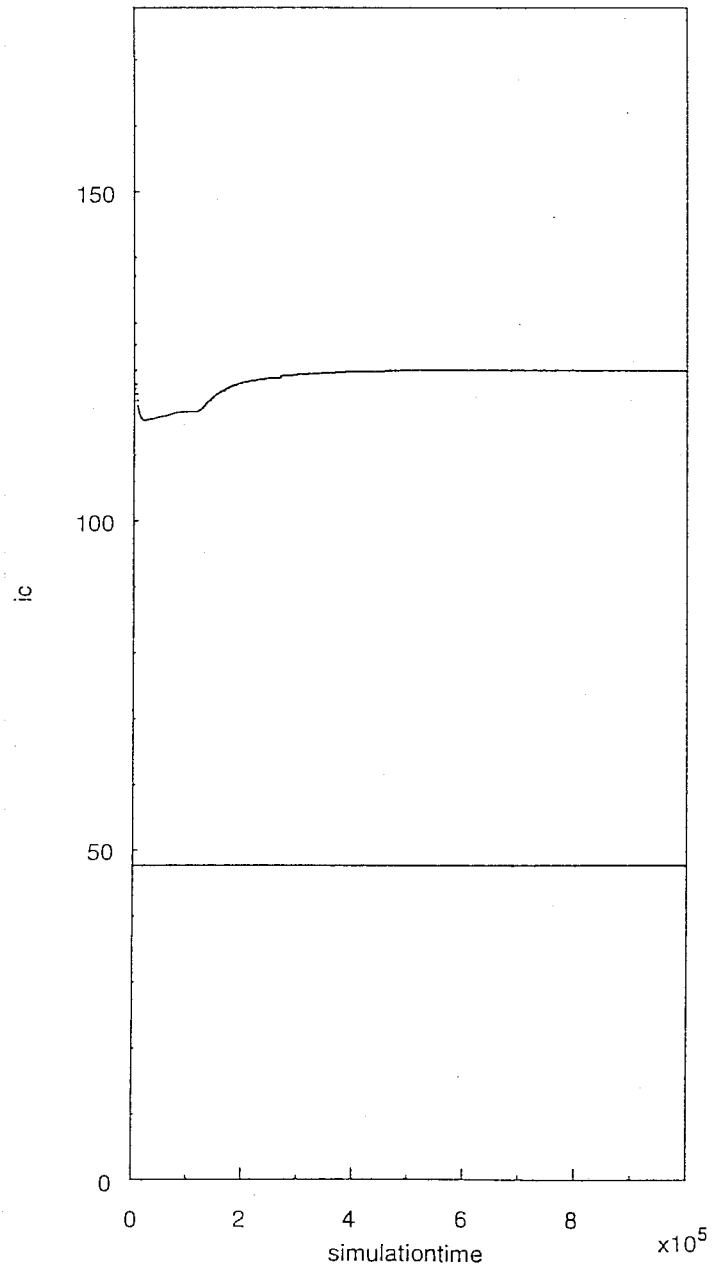
Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

Table with 12 columns and 24 rows of numerical data.

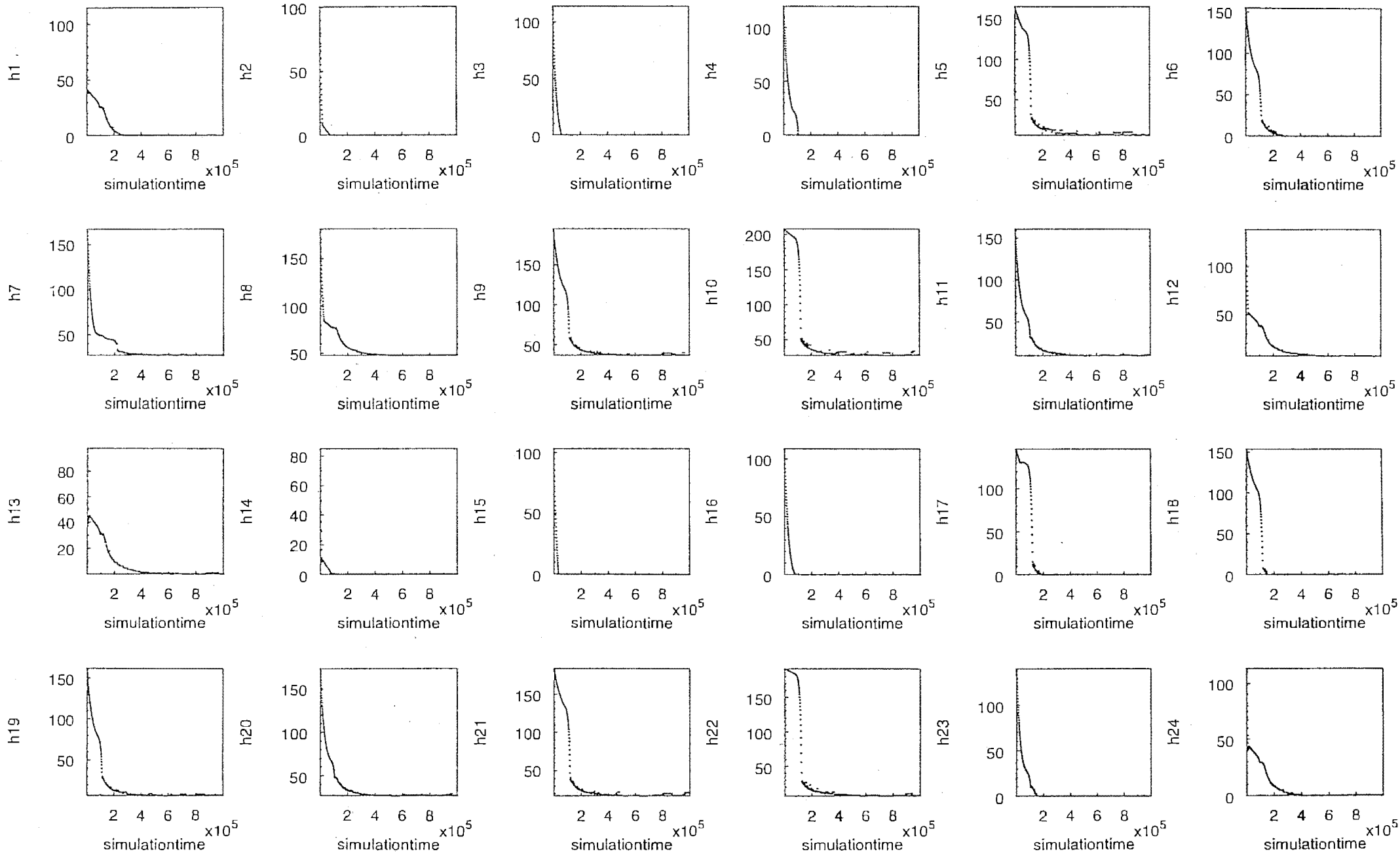
***** I *****
イニシャルコスト (CCS) = 122.921055513006
イニシャルコスト (比較) = 47.71739037276436
ランニングコスト (CCS) = 49.07216609099398
ランニングコスト (比較) = 71.20342325501397
投資回収年数 = 3.3980747040318

+

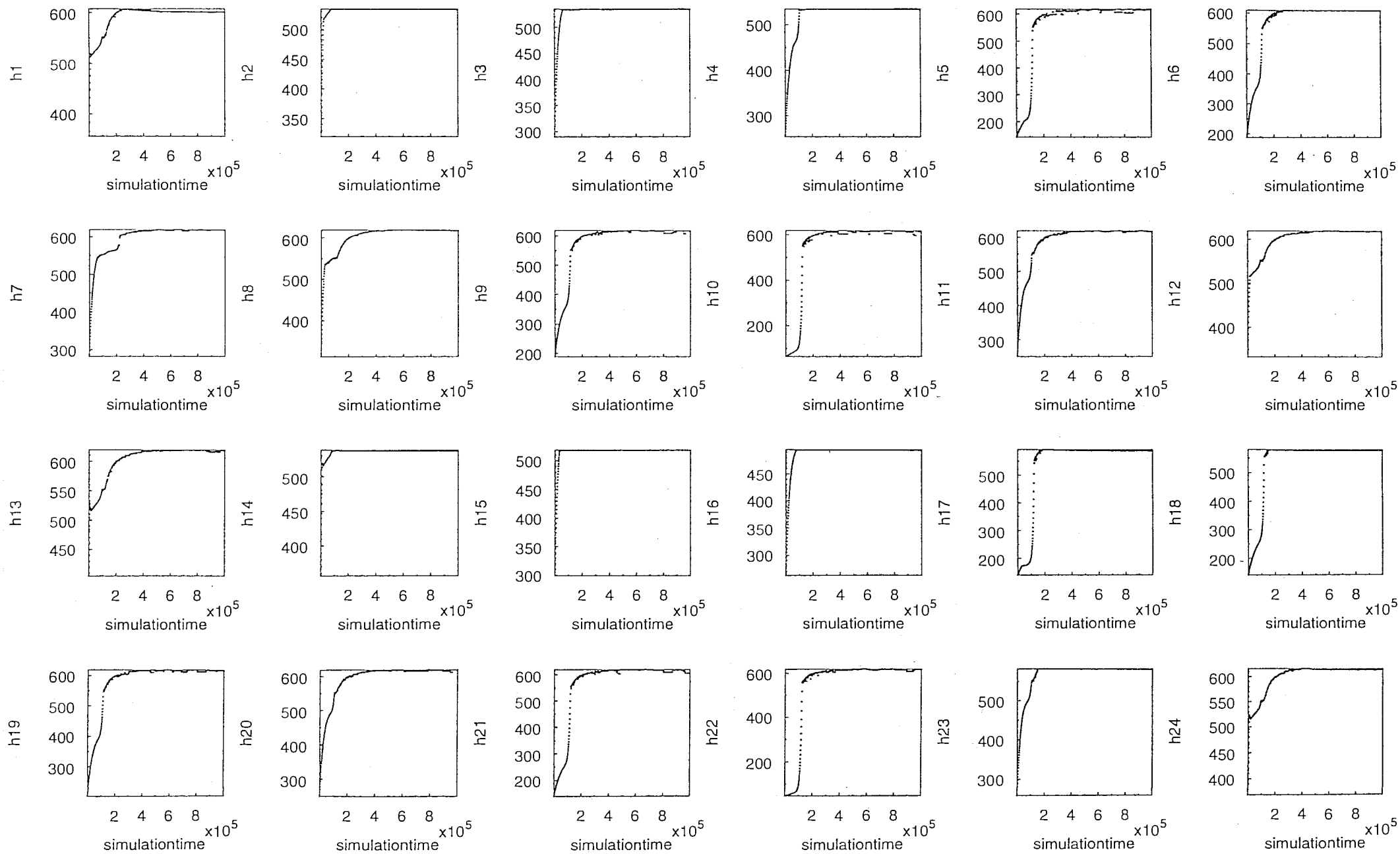
cogene



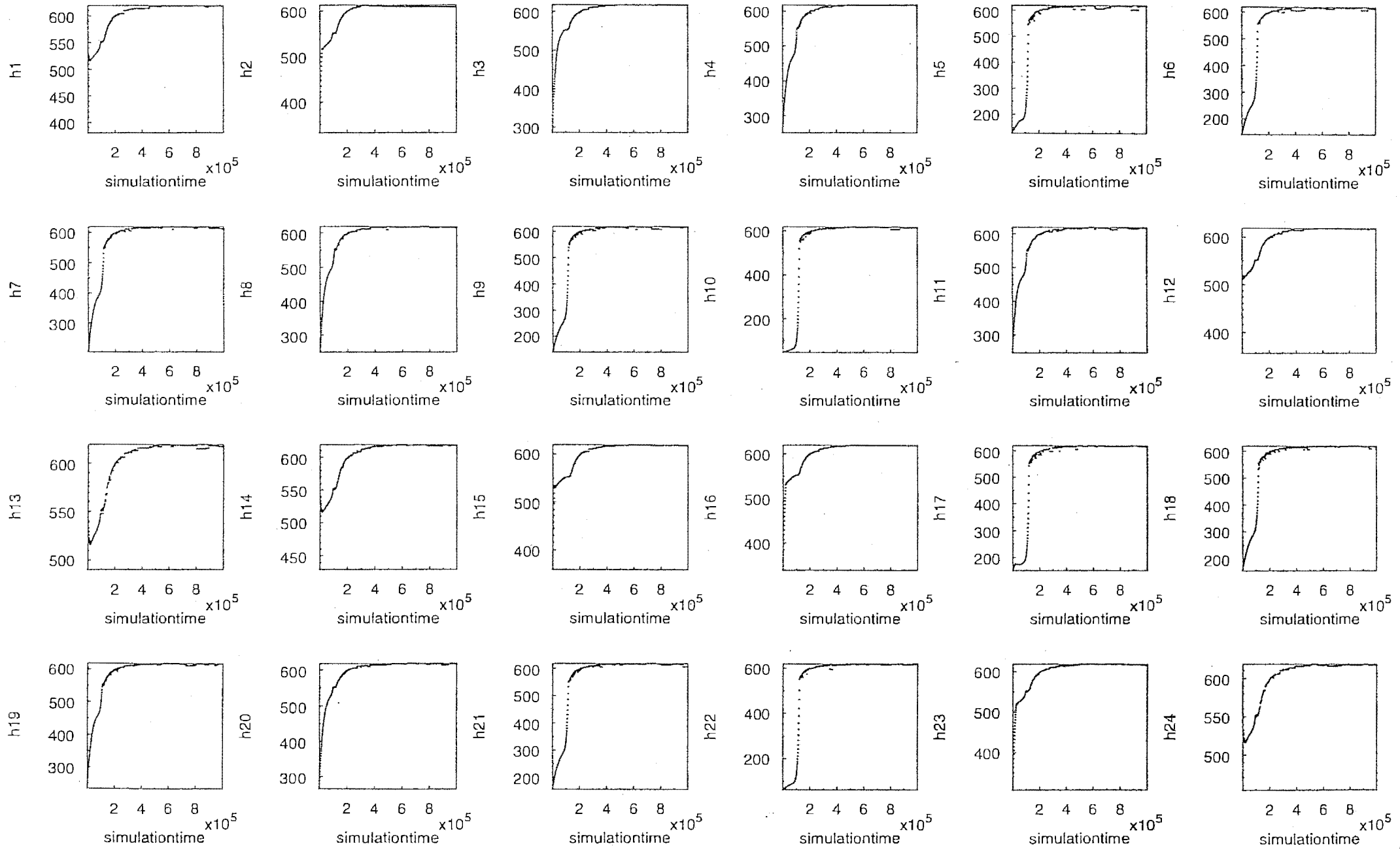
januaryE



januaryG

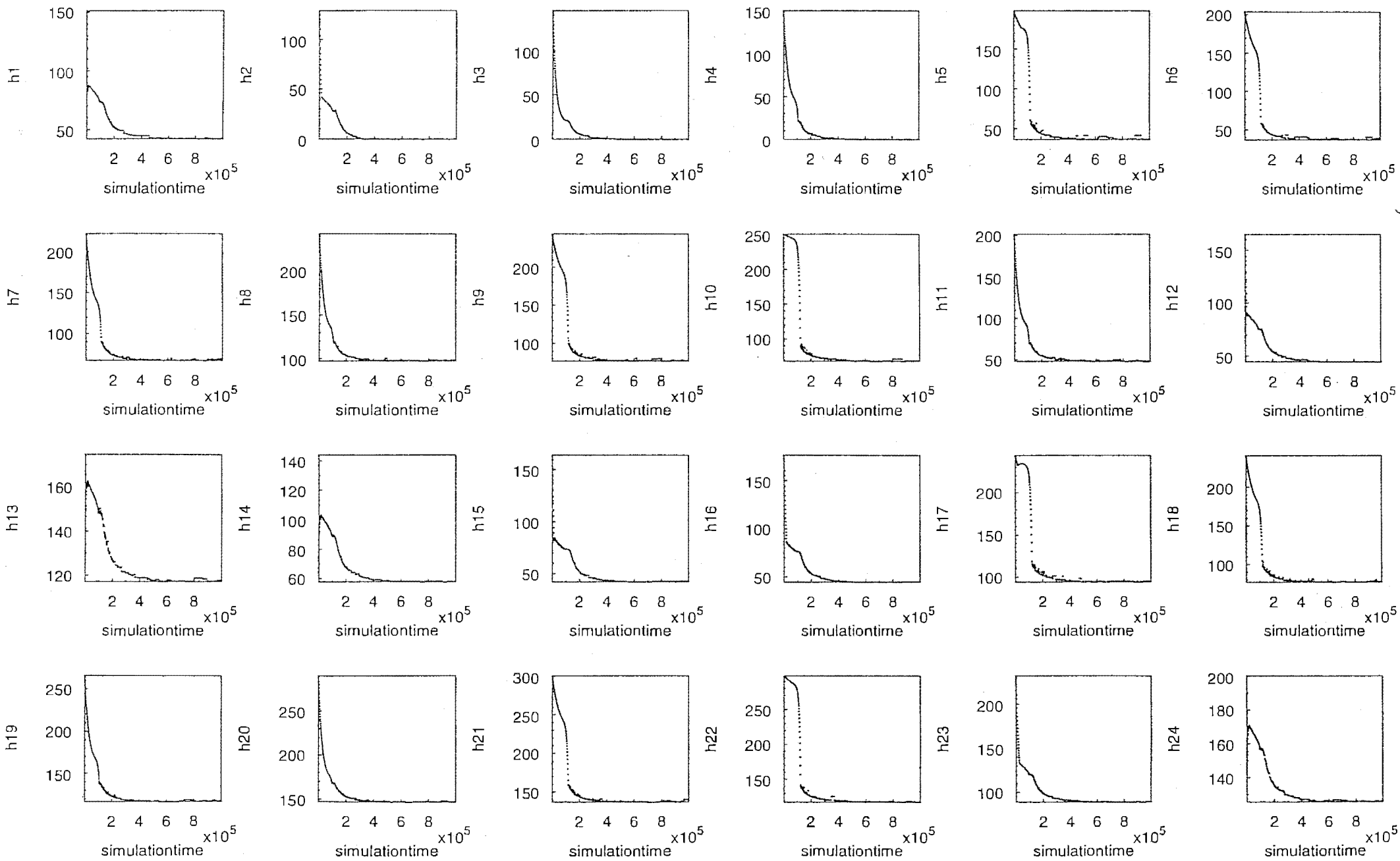


julyG



+

julyE



11E