

最終講義

オペレーションズマネジメントにおけるシミュレーション分析

2015年3月6日

名古屋大学大学院経済学研究科

高桑 宗右工門



左から、**SIMAN** (1987, 1993)、**Arena** (1999, 2001, 2005, 2007)、**Simio** (2014)



Dr. C.D. Pegden

```

BEGIN;
10      CREATE:EX(1,1):MARK(1);      客の到着
20      QUEUE,1;                     待ち行列
30      SEIZE:TENIN;                 サービス開始
40      DELAY:RN(2,1);               サービス時間
50      RELEASE:TENIN;               サービス終了
60      TALLY:1,INT(1):DISPOSE;      客の離脱
END;

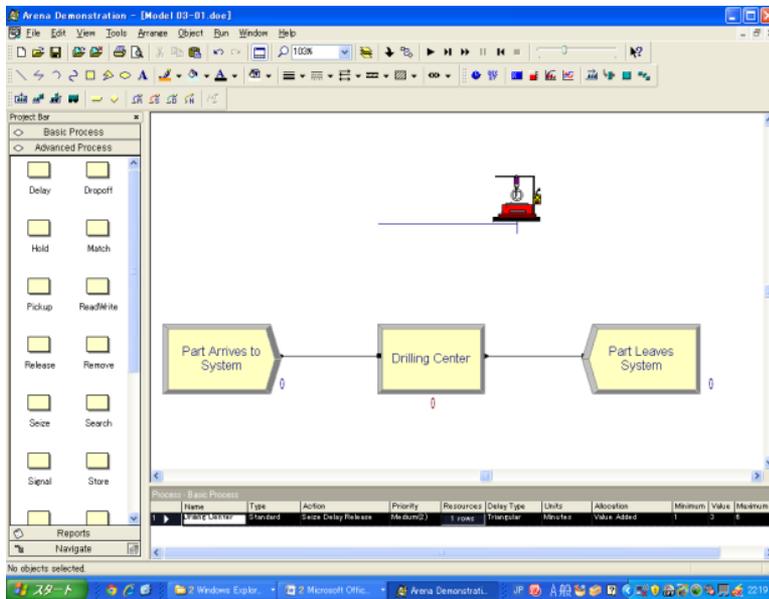
```

```

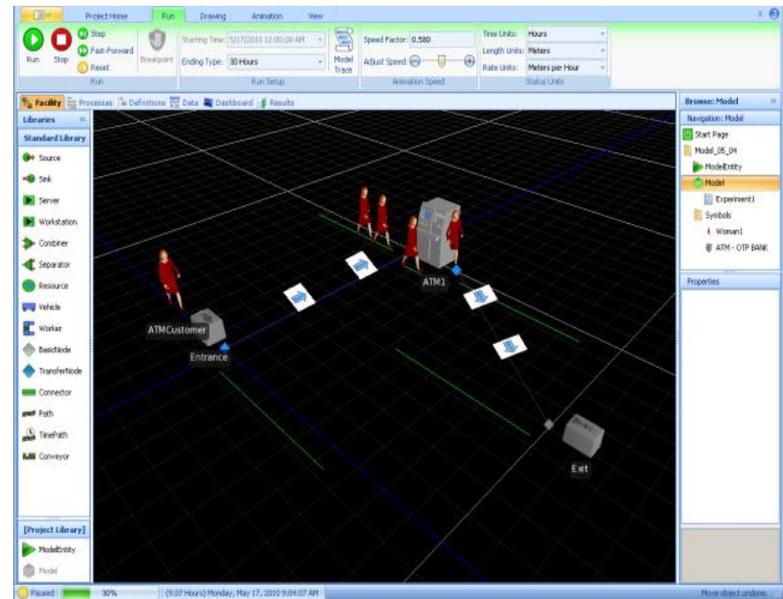
BEGIN;
10 PROJECT,PROJECT 1,TAKAKUWA,3/14/88;
20 DISCRETE,30,1,1;
30 PARAMETERS:1,5:                  !到着時間間隔(EX)
                                     2,5,1;          サービス時間1(RN)
40 RESOURCES:1,TENIN;
50 TALLIES:1,TIME IN SHOP;
60 DSTAT:1,NQ(1),# IN QUEUE:
                                     2,NR(1),TENIN;
70 REPLICATE,1,0,480;
END;

```

SIMAN

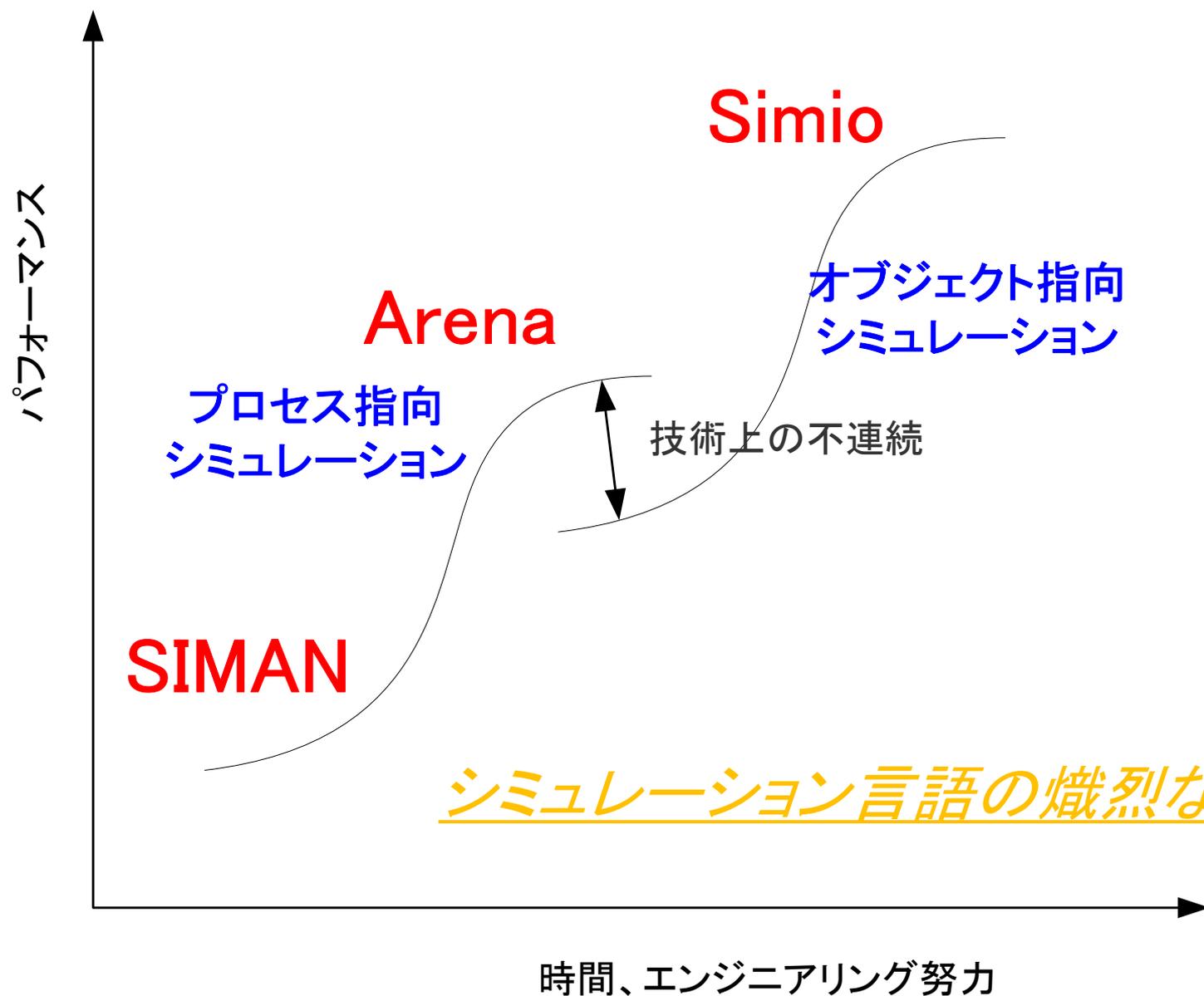


Arena



Simio

プロセス指向シミュレーションからオブジェクト指向シミュレーションへ

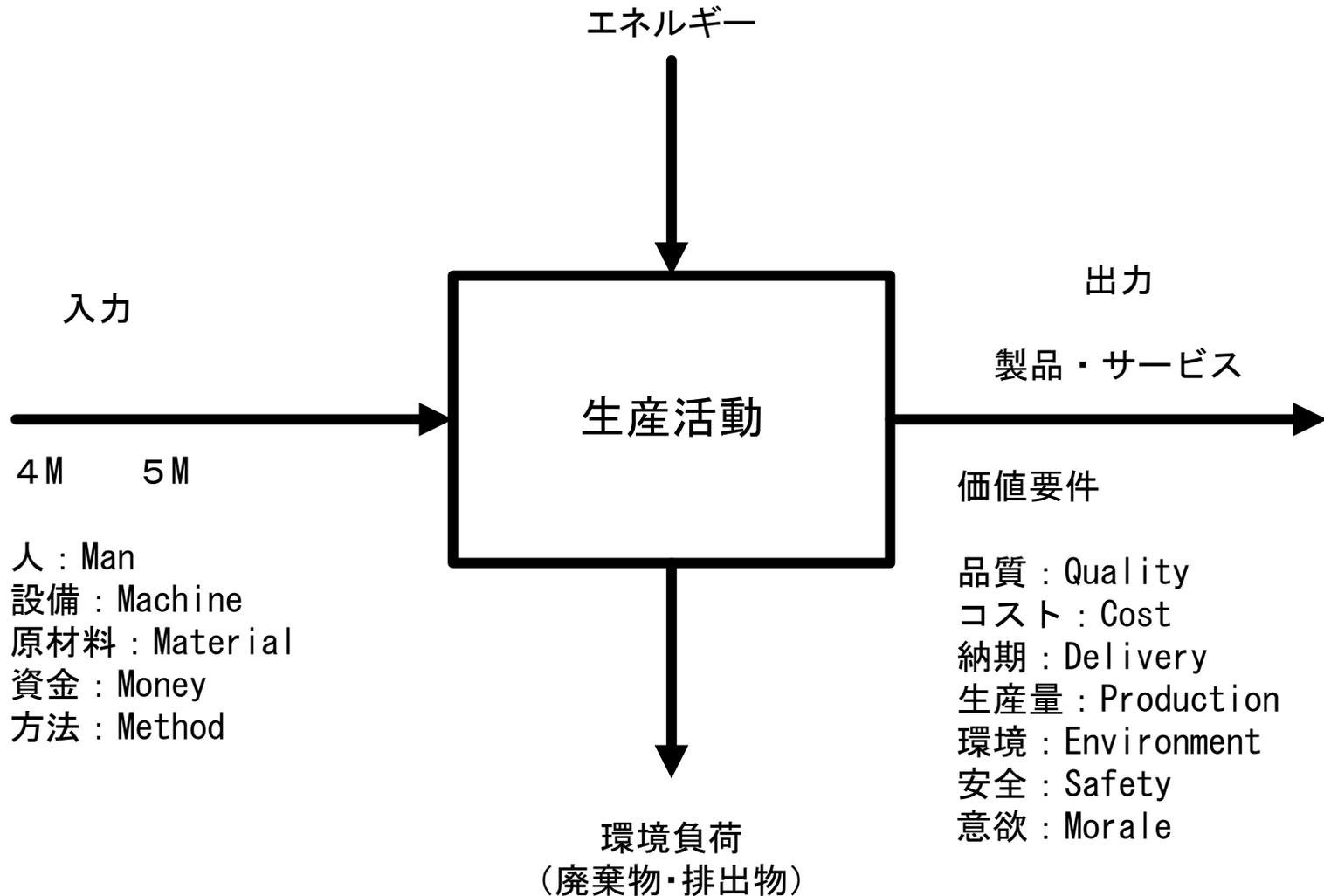


シミュレーションの実施手順

- ①システムを理解する。
- ②目標を明確にする。
- ③モデル表現を定式化する。
- ④モデリングをプログラムへ変換する。
- ⑤「プログラム」を検証する。
- ⑥モデルの妥当性を確認する。
- ⑦実験を計画する。
- ⑧実験を実行する。
- ⑨結果を解析し、知見を得て文書化する。

実効性のあるシミュレーションを実施するためには、高いモデリング能力とともに、問題把握、分析、問題解決に関する優れた能力や洞察力が必要である。

オペレーション(生産)の基本的構成



シミュレーション技法の有効性

1. 工程計画・日程計画におけるブレークスルー
2. スプレッドシートとの併用によるシミュレーション
3. シミュレーションによる最適化

フレキシブル生産システム

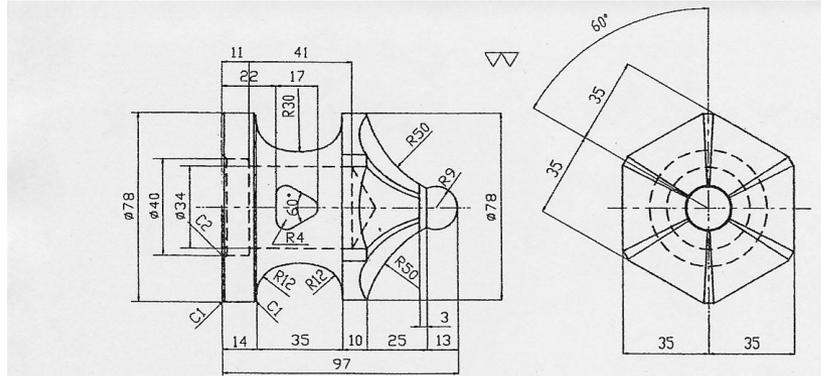


雇用能力開発機構(旧)・高度ポリテクセンター(千葉・幕張)

工作物の例(1)



工作物(1)の図面と工程分析図



工作物の例 (ジョブA)

No.	距離(m)	時間(秒)	工程系列	工程の内容説明
1			▽	段取台上へ置かれる
2	0.80	3.20	○	スタッカレーンによって移載
3	1.20	4.80	○	出入口へ移載
4			○	AGV待ち
5	0.80	3.20	○	AGVへ移載
6	5.10	8.95	○	AGVによってNC旋盤へ
7	0.80	3.20	○	APCへ移載
8			○	加工待ち
9		30.00	○	APC上で半回転
10		10.00	○	マテハンロボットによる取付け
11		116.40	①	NC旋盤において加工
12		10.00	○	マテハンロボットによる取外し
13		30.00	○	APC上で半回転
14			○	AGV待ち
15	0.80	3.20	○	AGVへ移載
16	10.10	22.32	○	AGVによってターニングセンタへ
17	0.80	3.20	○	APCへ移載
18			○	加工待ち
19		30.00	○	APC上で半回転
20		10.00	○	マテハンロボットによる取付け
21		306.00	②	ターニングセンタにおいて加工

工程分析図 (ジョブAに関する一部分)



FMS_1_part.exe

工作物の例(2)



工作物の工程順序と処理時間(単位:秒)

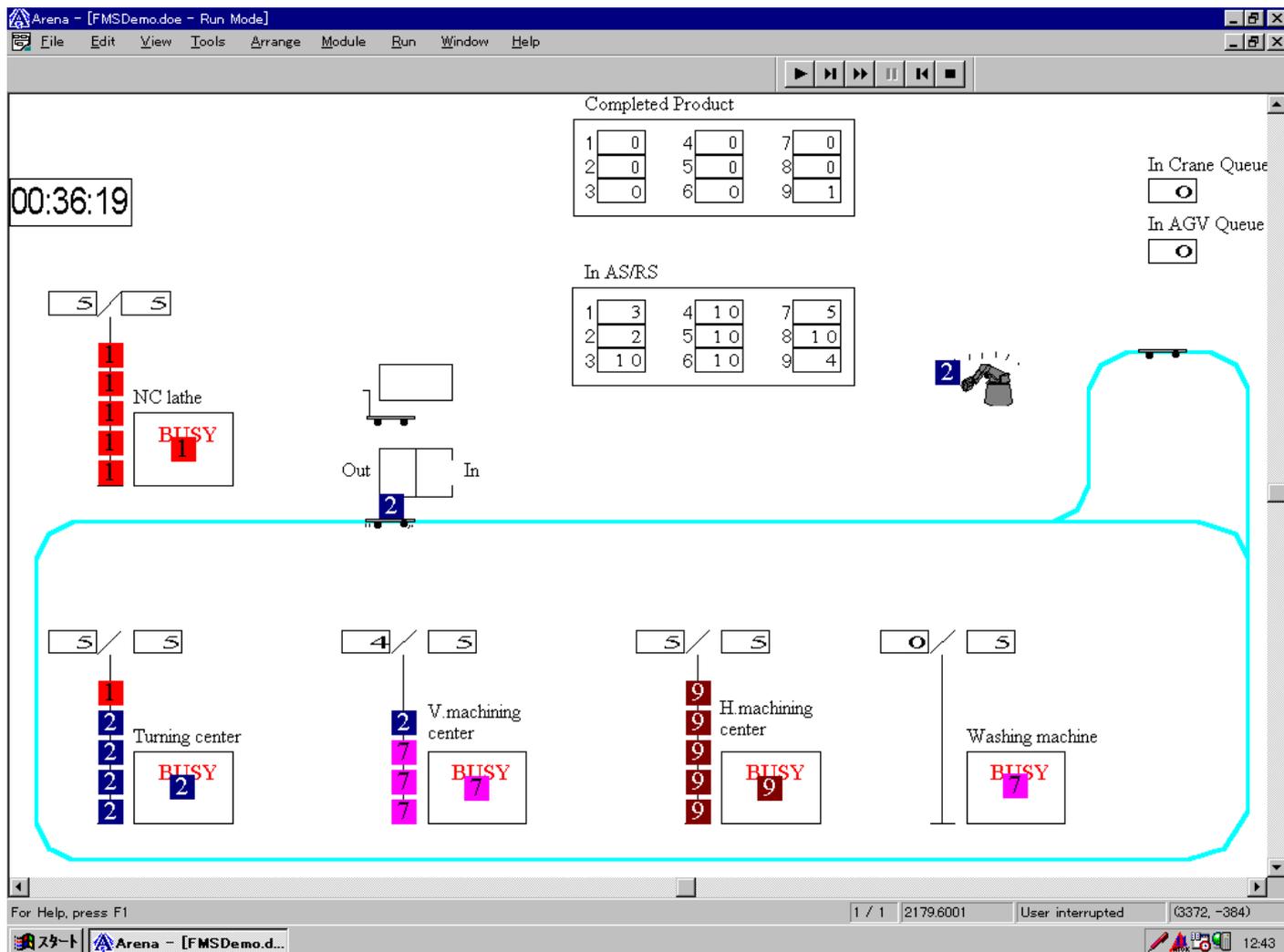
ジョブ	NC旋盤	ターニング センタ	マシニング センタ(立)	マシニング センタ(横)	洗浄機	段取作業	数量 (個)
ジョブA	1 116.4	2 306	4 604.7	7 793.8	5, 8 180(x2)	3, 6 180(x2)	1
ジョブB		1 255.6	3 510		4 180	2 180	1
ジョブC	1 386.4						1
ジョブD	1 291.6						1
ジョブE		1 666.6					1
ジョブF		1 605.4					1
ジョブG			2 791.4	5 853.2	3, 6 180(x2)	1, 4 180(x2)	1
ジョブH			2 796.2		3 180	1 180	1
ジョブI				2 864	3 180	1 180	1

1. 工程計画・日程計画におけるブレークスルー

【例1】9種類各1個をすべて加工を終えるのに要する時間はいくらか。

伝統的なIE手法では正確な時間を見積もることは困難である。

FMSのシミュレーション／アニメーション



Takakuwa, S. (1997). "The use of simulation in activity-based costing for flexible manufacturing systems," *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, pp.7 93-800.

単位時間当りの生産量である生産率として
生産性のパフォーマンスを評価する場合

$$\text{(生産性(生産率))} = \frac{\text{(総生産数量)}}{\text{(総生産時間)}}$$

$$\frac{1 \text{ pc.}}{51 \text{ min. } 51 \text{ sec.}}$$

$$\frac{9 \text{ pcs.}}{1 \text{ hr. } 21 \text{ min. } 10 \text{ sec.}}$$

2. スプレッドシートとの併用によるシミュレーション

1990年代以降、シミュレーション実行中に、Excelなどから大量のデータを読みこんだり、書き出したりすることが可能になった。

大規模なシステムに対するシミュレーションモデルが構築できるようになった。

【例2】部品A 1個当り製造原価をシミュレーションと原価計算により求める。

【例2】製造原価の計算 (シミュレーションとExcelの併用)

The screenshot displays four worksheets from an Excel file named 'FMS_Cost_Accounting.xls'.

Worksheet 1 (Sheet1): Contains input parameters for simulation.

[Day number per month]	30.4	day(s)/month				
[Cost constant]	0.3523102					
[Number of completed products per day]						
Product	Product1	Product2	Product3	Product4	Product5	Product6
Number	10	10	10	10	10	10
(unit)	piece(s)	piece(s)	piece(s)	piece(s)	piece(s)	piece(s)
[Unit material cost of each products]						
Product	Product1	Product2	Product3	Product4	Product5	Product6
Number	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
(unit)	\$	\$	\$	\$	\$	\$

Worksheet 2 (Sheet2): Lists equipment with their service life, initial cost, and salvage value.

	Service life	Initial cost	Salvage value
NC lathe	10 year	373,600.00 \$	37,360.00 \$
Turning center	10 year	436,700.00 \$	43,670.00 \$
V.machining center	10 year	461,600.00 \$	46,160.00 \$
H.machining center	10 year	501,100.00 \$	50,110.00 \$
Washing machine	10 year	175,800.00 \$	17,580.00 \$
AS/RS	10 year	732,500.00 \$	73,250.00 \$
AGV system	12 year	1,025,600.00 \$	102,560.00 \$
Tool management	10 year	293,100.00 \$	29,310.00 \$

Worksheet 3 (Sheet3): Shows the allocation of cost to each section (unit:\$).

	Cutting oil	(allocation rate)	Wages	Depreciation	Depreciation	(allocation rate)
NC lathe	0.52	0.1296	(nothing)	32.46	2.14	0.11
Turning center	0.81	0.2033	(nothing)	37.94	2.14	0.11
V.machining center	1.06	0.2642	(nothing)	40.10	2.14	0.11
H.machining center	0.97	0.2436	(nothing)	43.53	2.14	0.11
Washing machine	0.64	0.1593	(nothing)	15.27	2.14	0.11
AS/RS	(nothing)	(nothing)	(nothing)	63.63	2.14	0.11
AGV system	(nothing)	(nothing)	(nothing)	74.25	2.14	0.11
Tool management	(nothing)	(nothing)	(nothing)	25.46	(nothing)	(nothing)
System section	(nothing)	(nothing)	131.507	(nothing)	2.14	0.11
Office section	(nothing)	(nothing)	131.507	(nothing)	2.14	0.11

Worksheet 4 (Sheet4): Shows unit manufacturing cost for products 7 through 9.

	Cost
Product7	6.00 \$
Product8	6.00 \$
Product9	6.00 \$
[Unit manufacturing cost]	
Product1	33.248 \$/pc
Product2	17.190 \$/pc
Product3	10.319 \$/pc
Product4	9.244 \$/pc
Product5	11.772 \$/pc
Product6	11.229 \$/pc
Product7	32.159 \$/pc
Product8	20.274 \$/pc
Product9	20.219 \$/pc

Takakuwa, S. (1997). "The use of simulation in activity-based costing for flexible manufacturing systems," *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, pp. 793-800.

部品A 1個当り製造原価

US\$ 106.019/pc.

3. シミュレーションによる最適化

シミュレーション自体は、What if?問題への解を求めるための技法である。

最適化手法と組み合わせてシミュレーションを実施することにより、最適解を得られる場合がある。

【例3】大規模立体自動倉庫-ループ型AGVシステムにおいて、AGVの最適台数を求める。

立体自動倉庫一ループ型AGVシステム



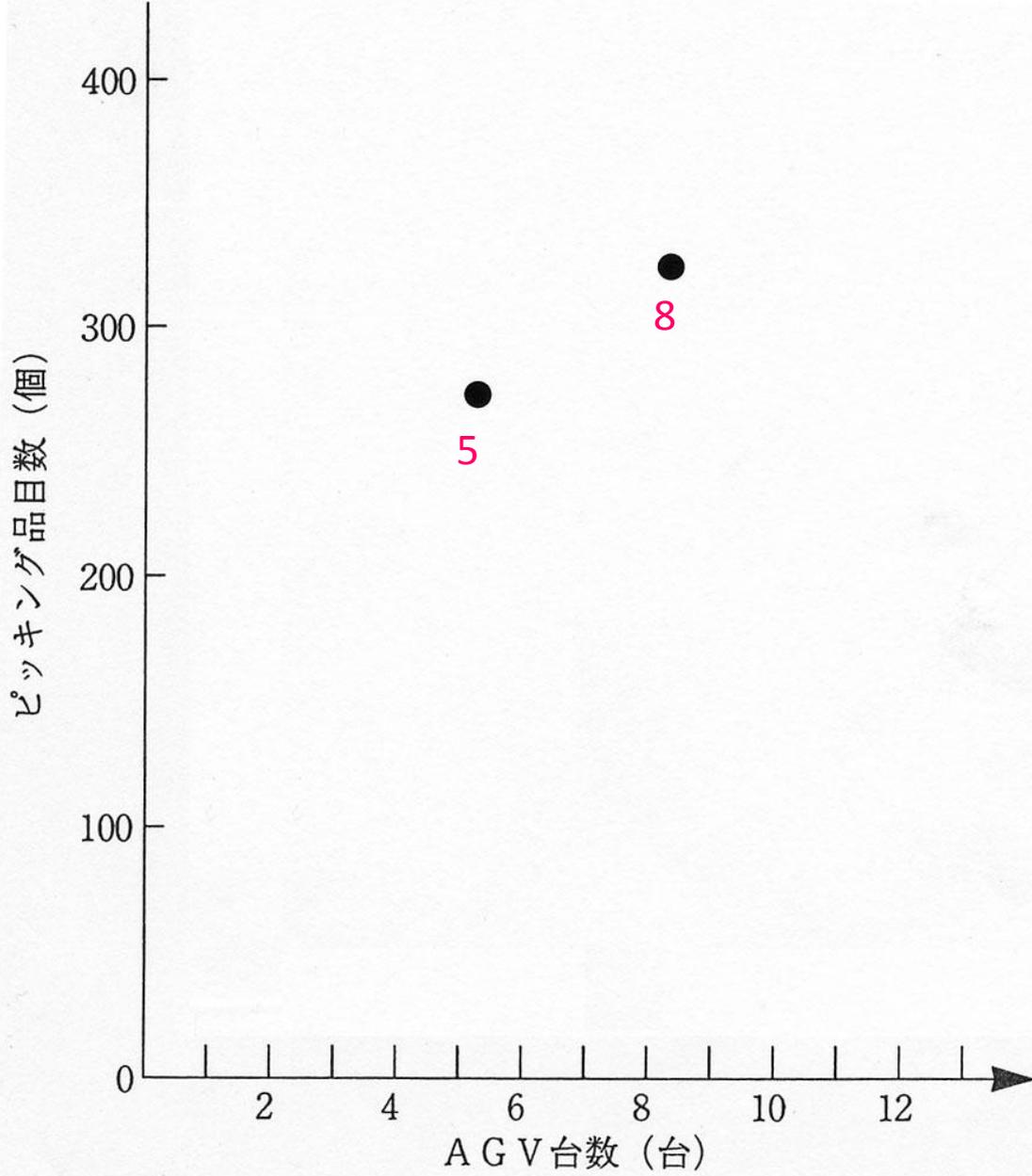
立体自動倉庫ーループ型AGVシステム

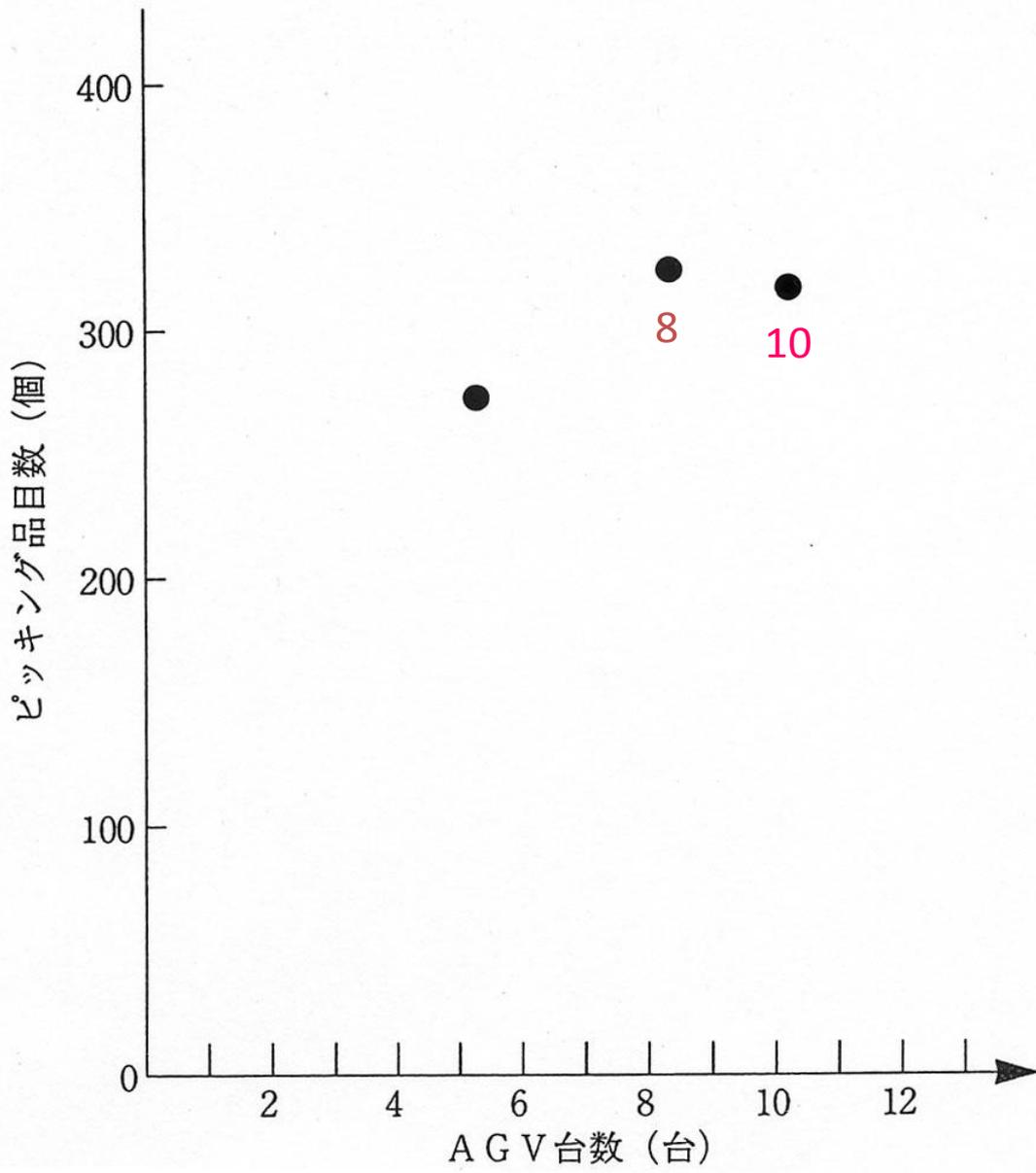


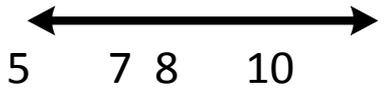
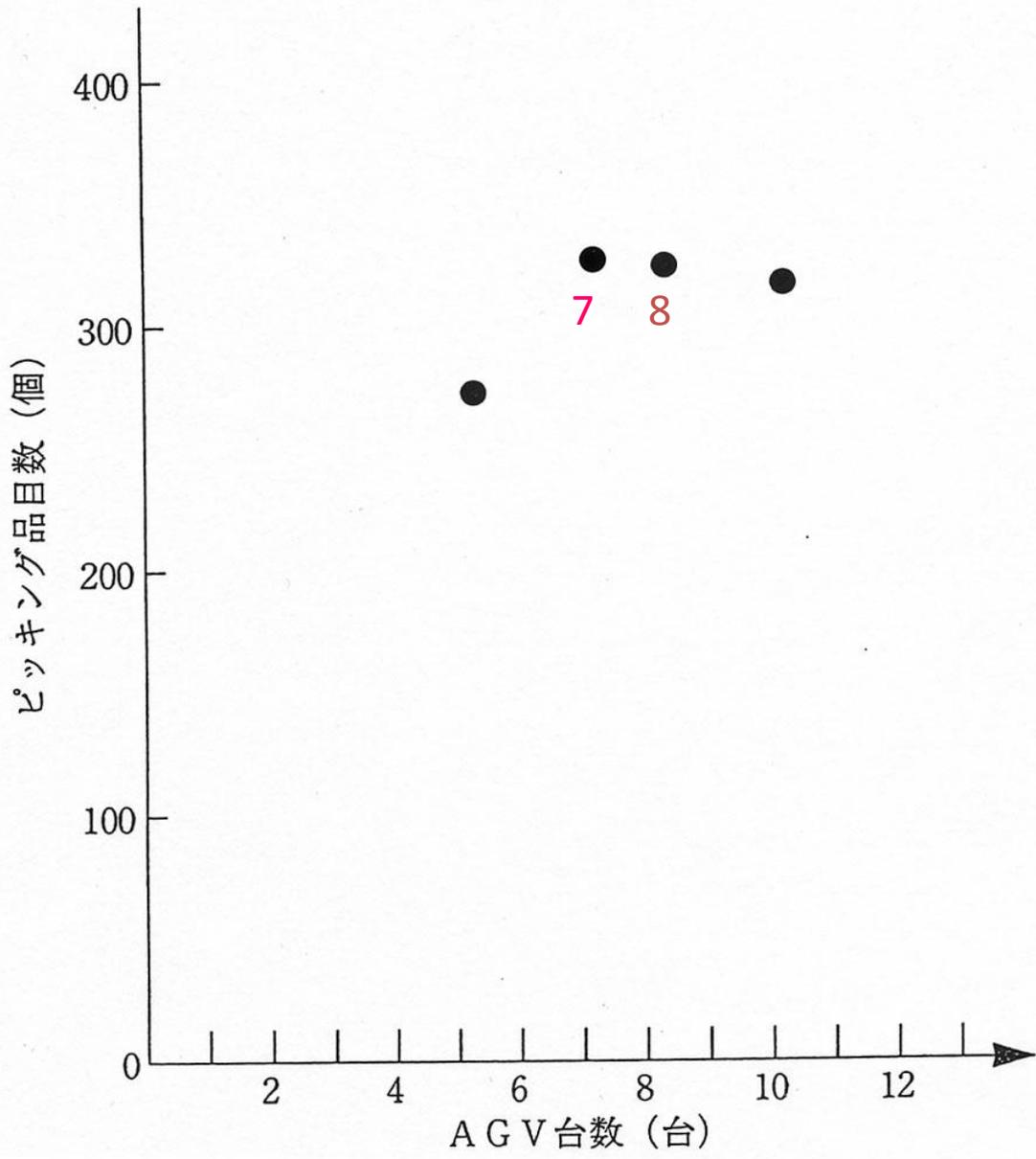
Takakuwa, S. (1998). "Quick and precise modeling of AS/RS and simulation analysis of its augmented systems with AGVs," *Progress in Material Handling Research: 1998*, pp. 579-595.

Fibonacci数表

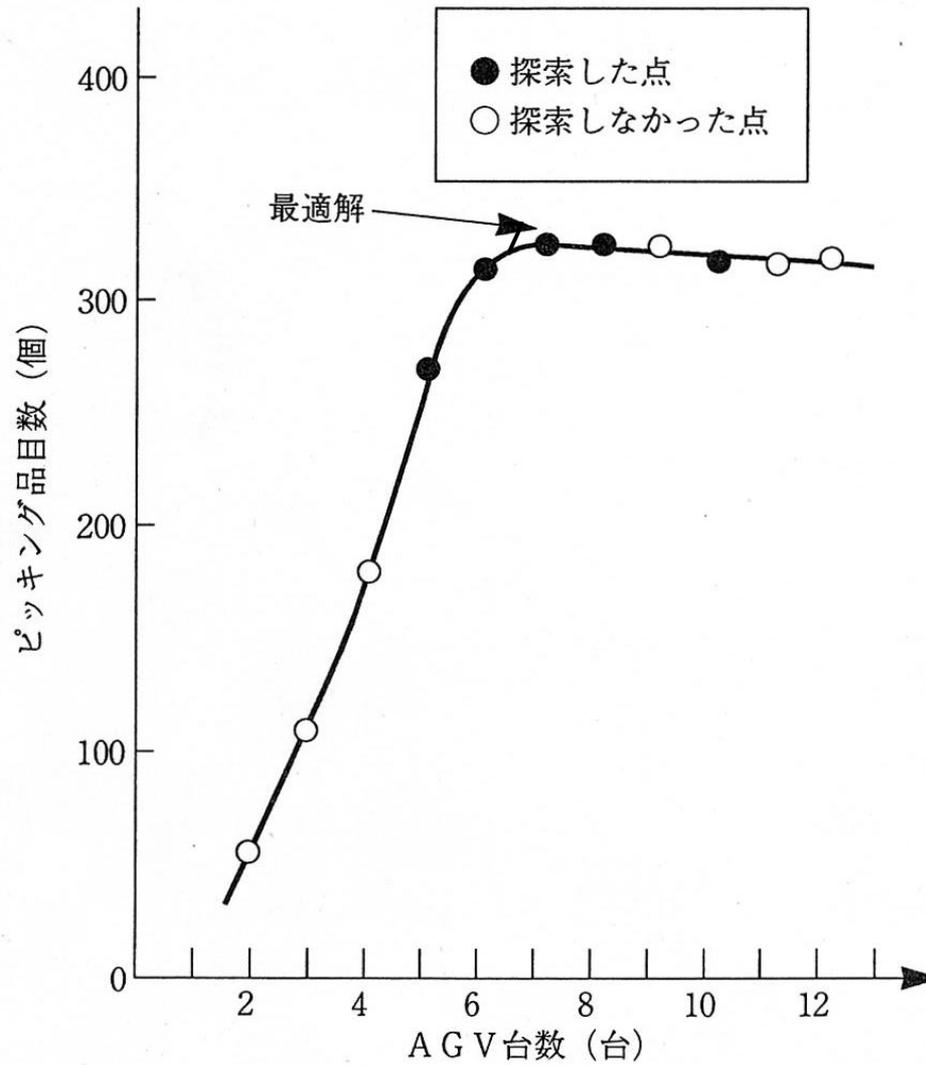
n	F_n	n	F_n	n	F_n
0	1	11	144	22	28 657
1	1	12	233	23	46 368
2	2	13	377	24	75 025
3	3	14	610	25	121 393
4	5	15	987	26	196 418
5	8	16	1 597	27	317 811
6	13	17	2 584	28	514 229
7	21	18	4 181	29	832 040
8	34	19	6 765	30	1 346 269
9	55	20	10 946	:	:
10	89	21	17 711	:	:





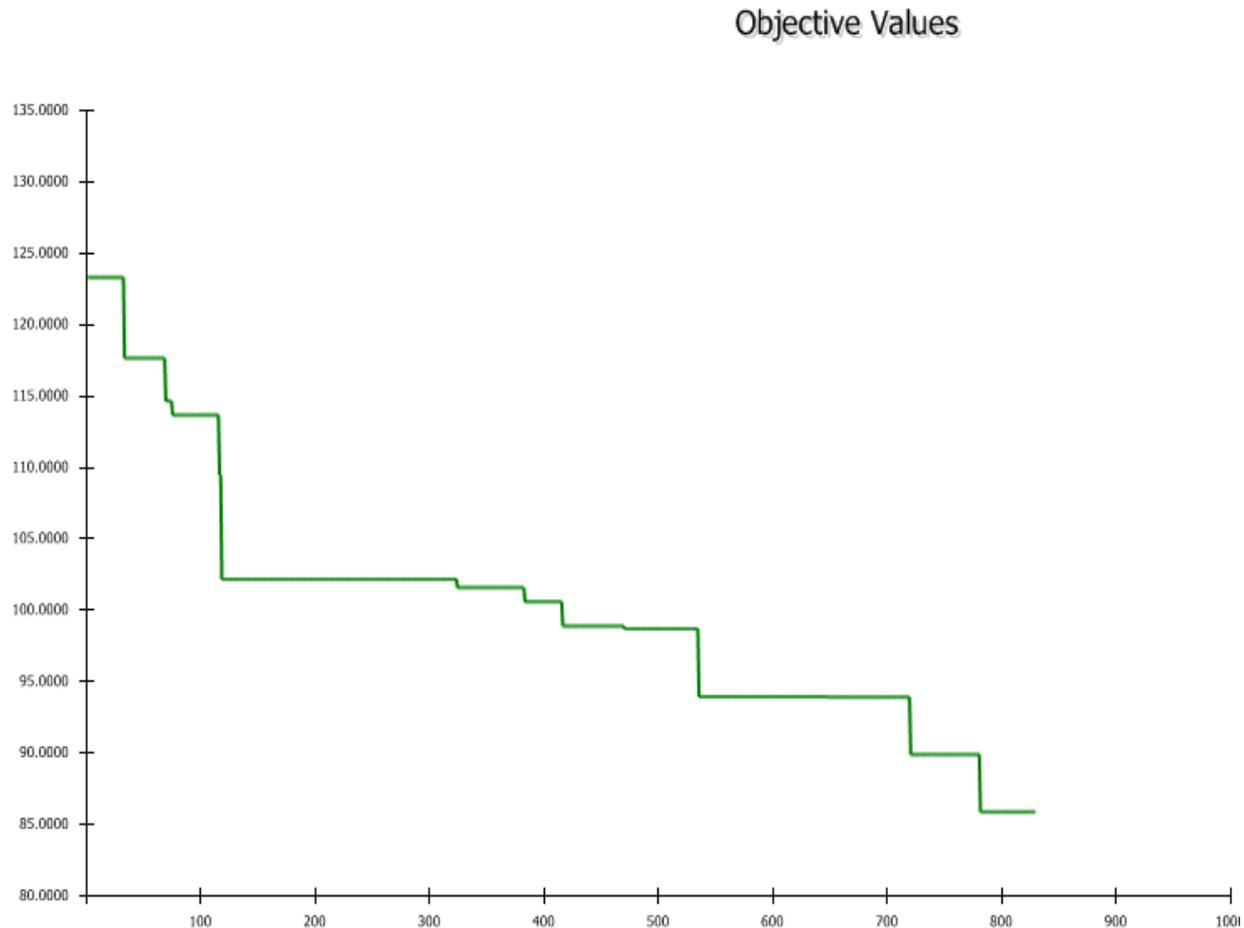


AGV台数の最適化



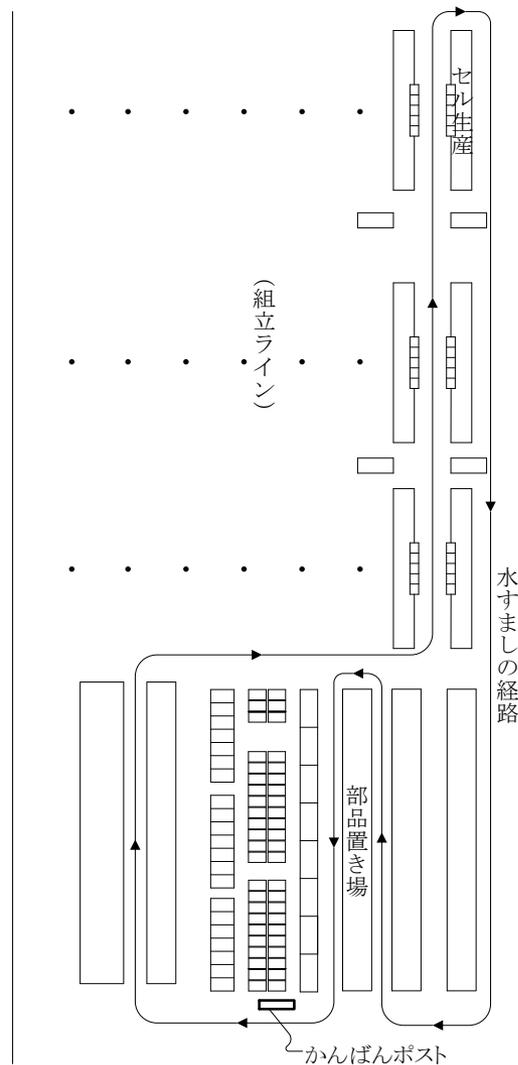
高桑宗右エ門 (1995) 『FA/CIMの経済性分析』、中央経済社。

最適化プロセス(OptQuest)の表示画面(例)



Takakuwa, S. and A. Wijewickrama (2008). "Optimizing staffing schedule in light of patient satisfaction for the whole outpatient hospital ward," *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, pp. 1500-1508.

ジャストインタイム生産(セル生産、水すまし、かんばん方式)



<セル生産>



<水すまし>



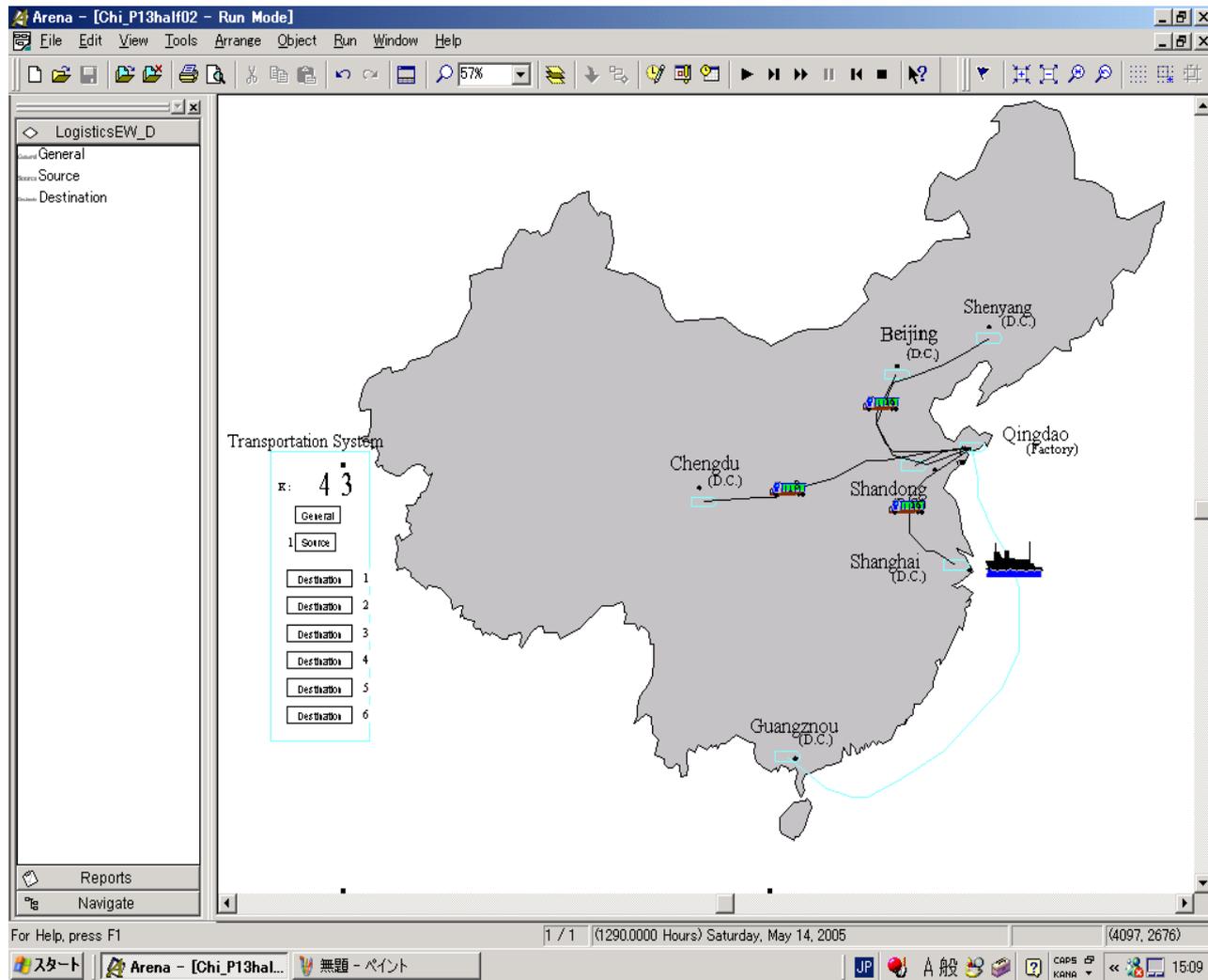
<部品置き場>



<引取りかんばんポスト>

高桑宗右エ門・三輪冠奈(2006)「セル生産・水すまし・かんばん方式援用生産システムにおける部品在庫管理のシミュレーション最適化」『オペレーションズ・リサーチ』Vol.51、No.7、445-453頁。

消費財(日用品)の工場から営業所への輸送(中国)



Miwa, K. and S. Takakuwa (2005). Flexible module-based modeling and analysis for large-scale transportation-inventory systems, *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, pp. 1749-1758.

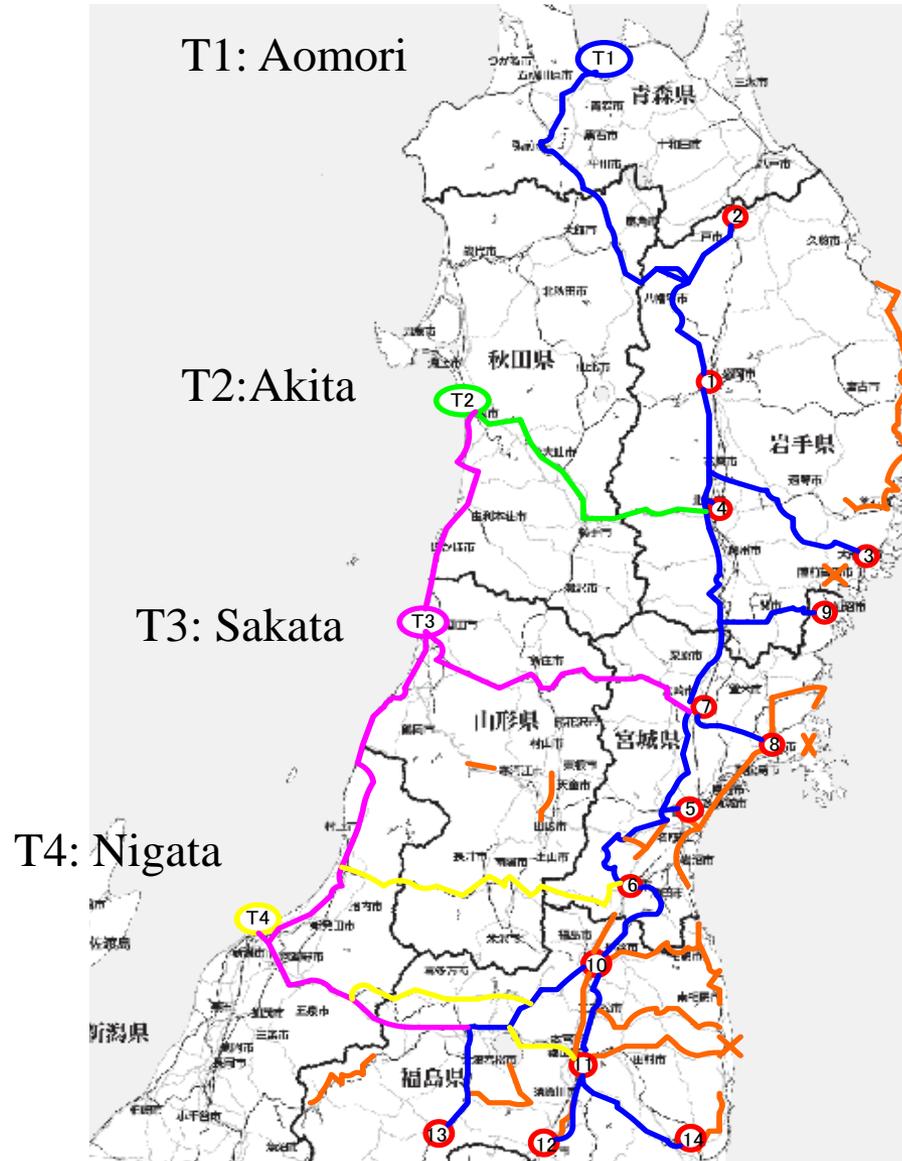
東日本大震災



(2011年5月撮影)



油槽所から被災地へのガソリン・灯油などの搬送



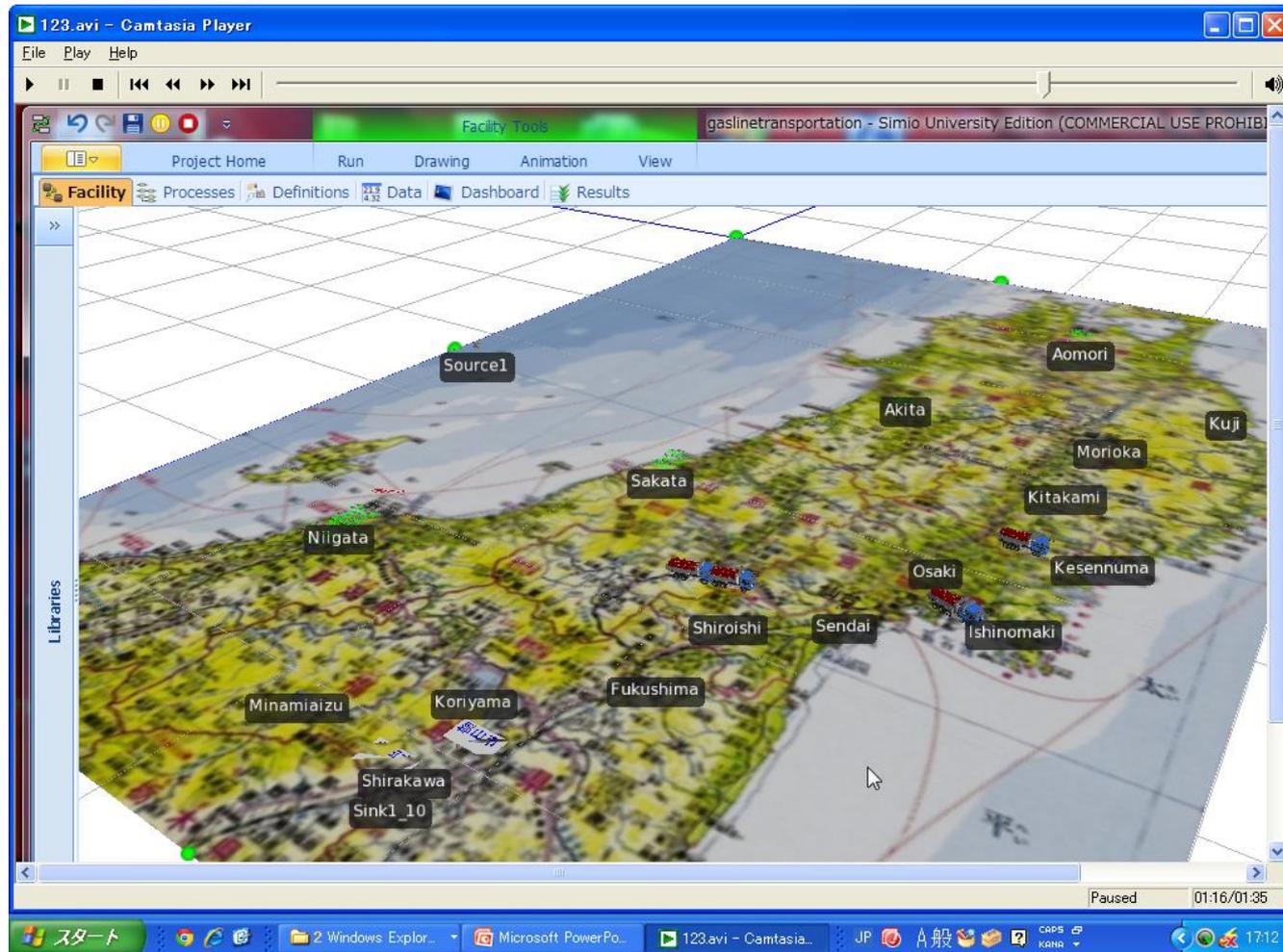
数値例： ガソリンと灯油の需要量の予測

- 5人家族で1台の自家用車を使用し、1日当たり 20の**ガソリン**を消費する。
- 避難所では、10人当たり1台の石油ストーブで1日当たり5ℓの**灯油**を消費する。

ガソリン・灯油の需要予測量 (kl/日)

	避難者数(人)	ガソリンの需要量(kl/日)	灯油の需要量(kl/日)
S1	709	0.28	0.35
S2	10174	4.07	5.09
S3	40455	16.18	20.23
S4	1171	0.47	0.59
S5	1836	0.73	0.92
S6	4808	1.92	2.40
S7	2409	0.96	1.20
S8	15098	6.04	7.55
S9	17738	7.10	8.87
S10	3172	1.27	1.59
S11	3115	1.25	1.56
S12	1269	0.51	0.63
S13	1339	0.54	0.67
S14	2587	1.03	1.29

東日本大震災直後の石油製品のトラック輸送計画

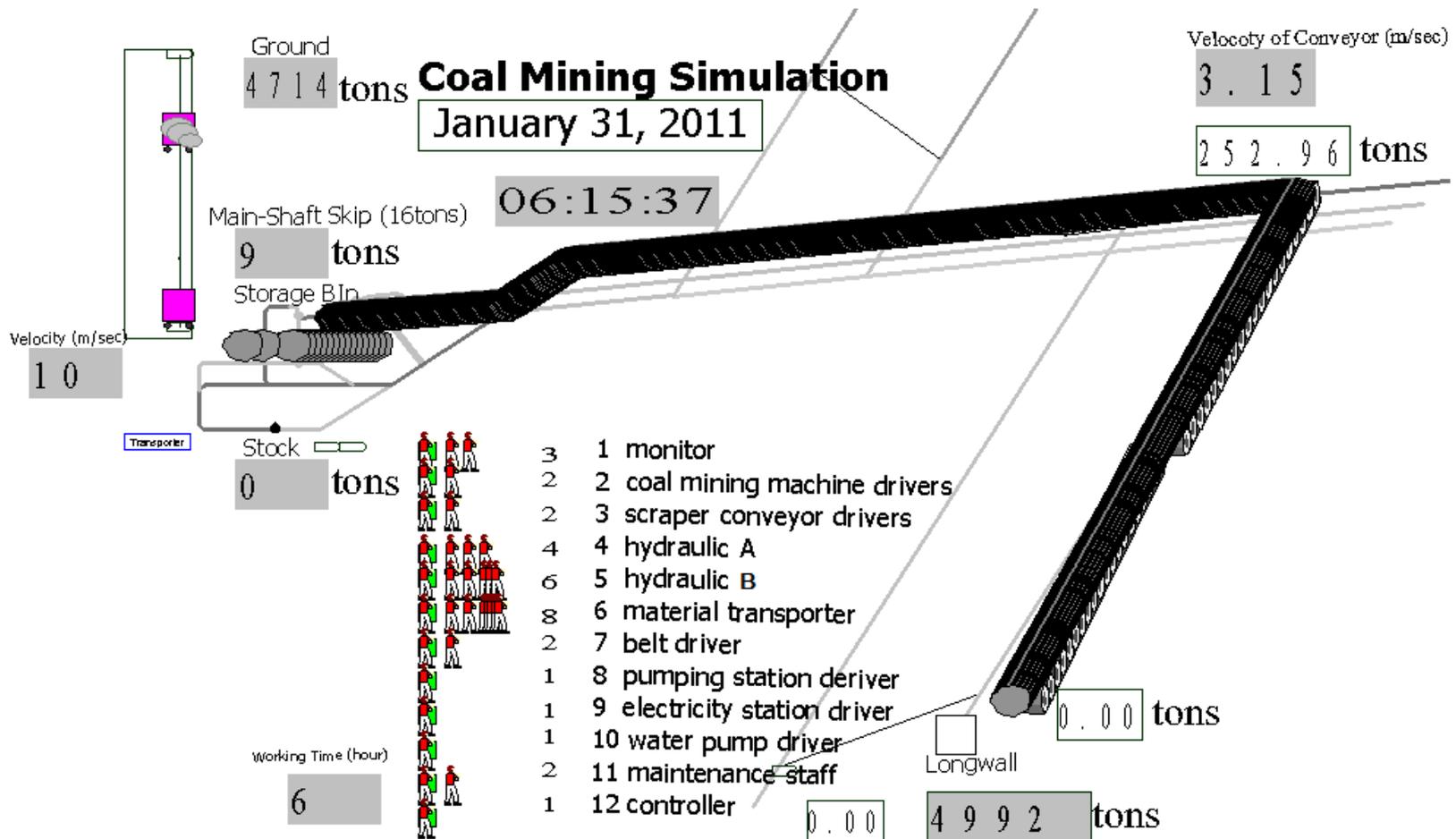


Inagaki, N., S. Oguri, Y. Horiuchi, Y. Liu, and S. Takakuwa (2011). "Transportation planning of petroleum products to area struck by Tohoku Japan Earthquake," *Proceedings of The 10th Northeast Asia Management and Economics Joint Conference*, pp. 309-312.

炭鉱の現地調査(中国・山東省齊寧市)



地下炭鉱での石炭の搬送(中国・山東省)



Miwa. K. and S. Takakuwa (2011). Operations modeling and analysis of an underground coal mine, *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, pp. 1685-1695.

銅鉞山(モンゴル・エルデネット)





РУДНИК ОТ

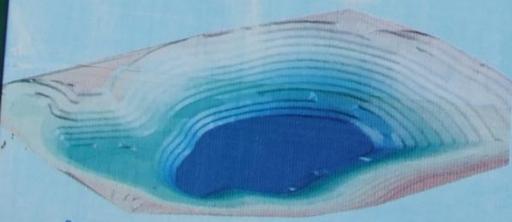
ПОКАЗАТЕЛИ



До начала отработки (вершина горы "ЭРДЭНЭТИЙН ОВОО" +1606м)



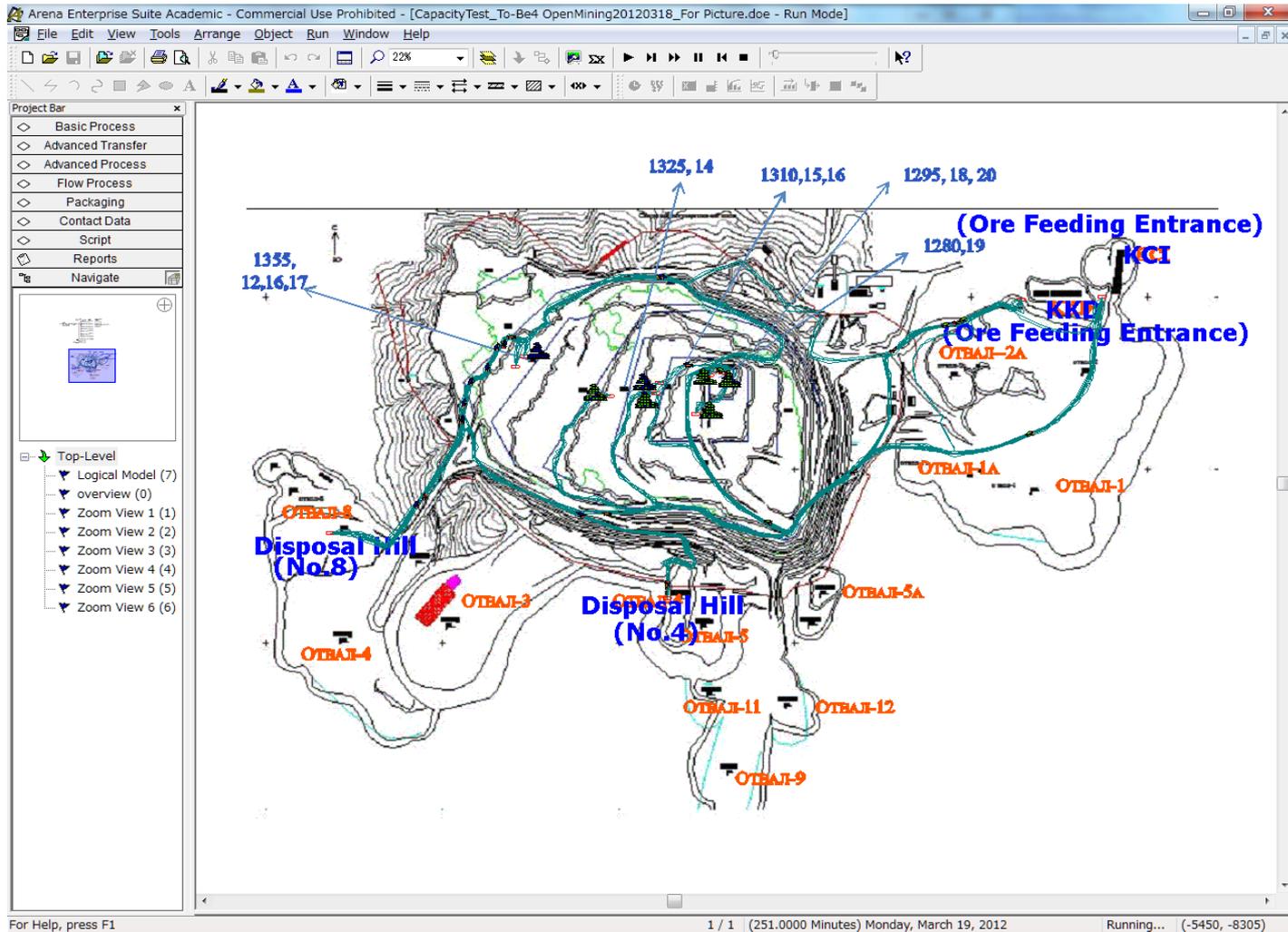
Настоящее время (дно карьера +1200м)



Окончательный контур карьера на отметке +1040м

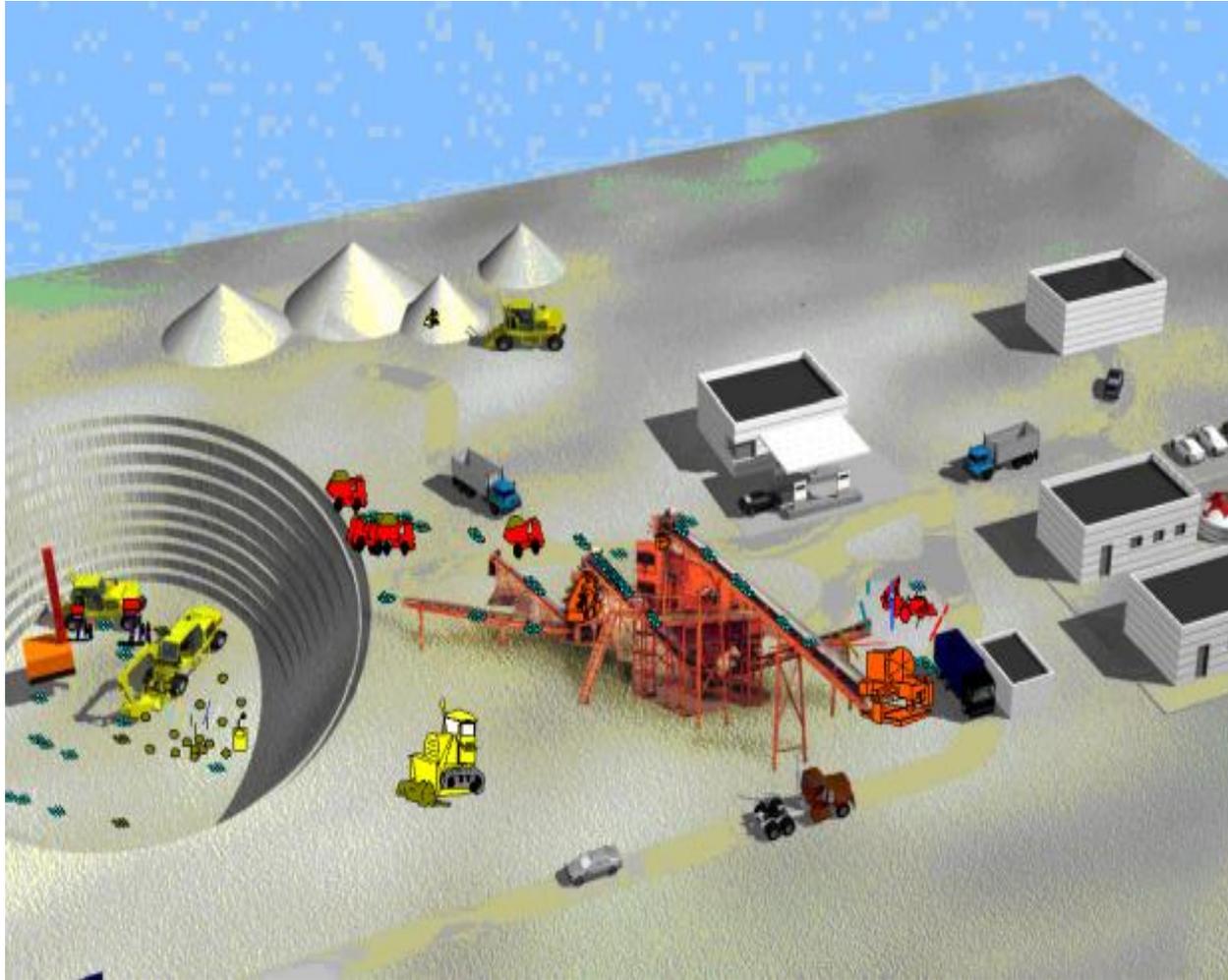
Годы	Объем горной массы
	тыс. м ³
1976-1978	10852
1978 IV кв.	623
1979	4238
1980	7726
1981	10941
1982	11600
1983	12000
1984	12878
1985	12635
1986	12881
1987	12883
1988	13091
1989	13584
1990	14022
1991	9151
1992	9290
1993	10528
1994	14499
1995	14460
1996	14680
1997	15373
1998	15012
1999	13812
2000	15006
2001	15889
2002	15865
2003	16730
2004	18410
2005	18650
2006	18550
2007	18780
2008	18430
2009	18430
2010	

銅鉱石採掘現場から精錬工場へのトラック輸送（モンゴル）



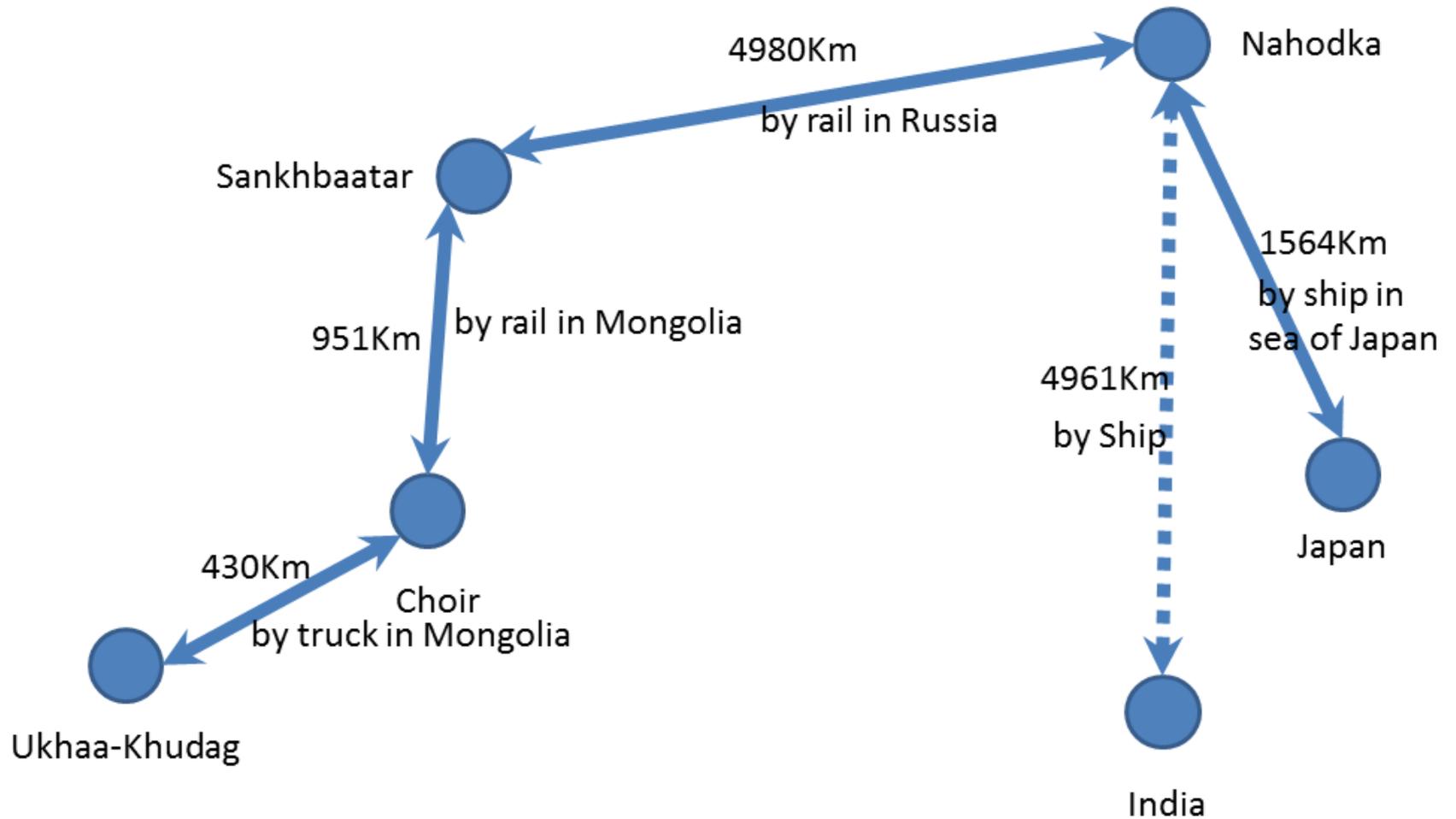
Tan, Y., U. Chinbat, K. Miwa and S. Takakuwa (2012). Operations modeling and analysis of open pit copper mining using GPS tracking data, *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference*, pp. 1309-1320.

鉄鉱石採掘オペレーション(モンゴル)

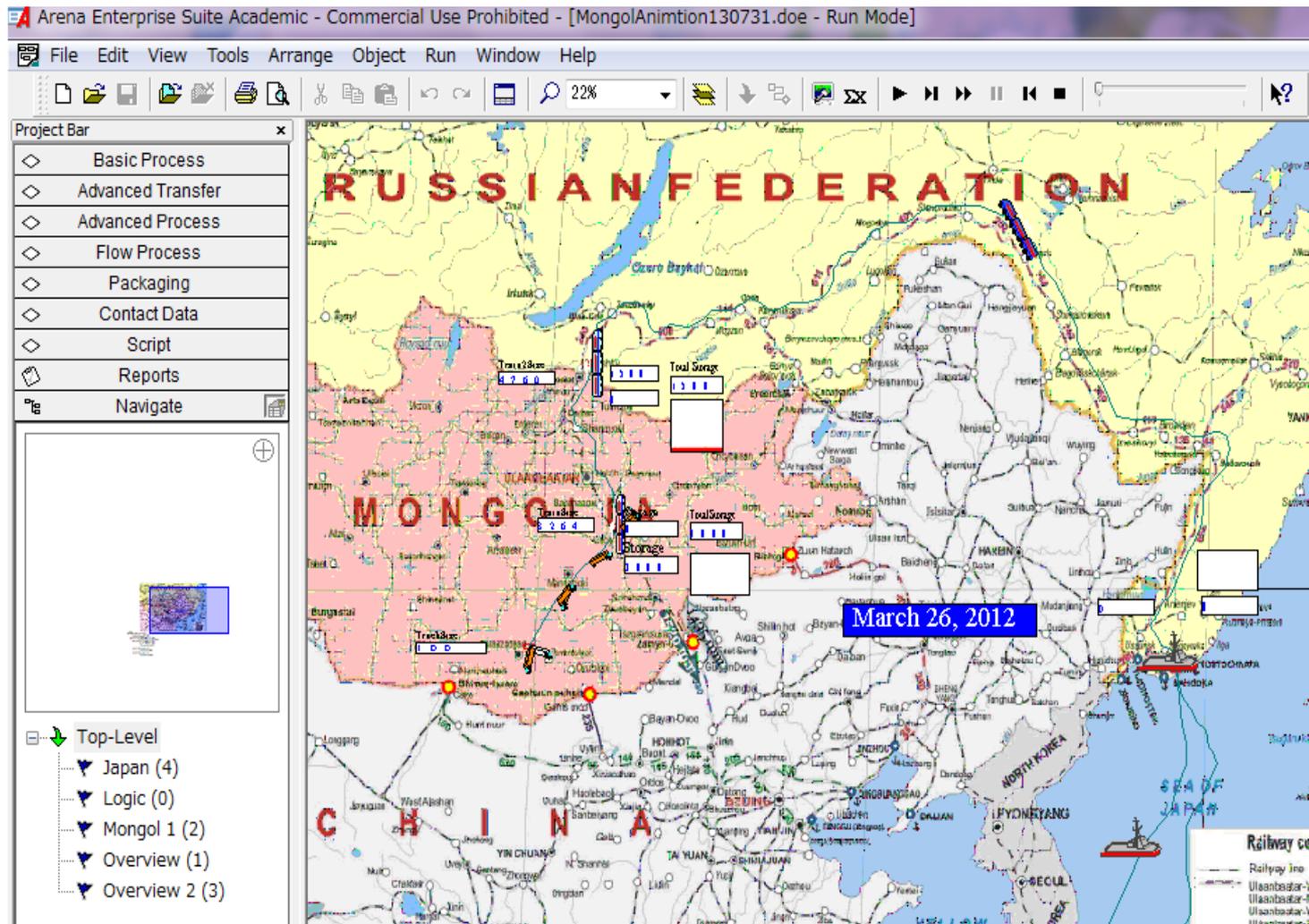


Chinbat, U. and S. Takakuwa (2008). Using operation process simulation for a six sigma project of mining and iron production factory, *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, pp. 2431-2438.

石炭の輸送経路(モンゴル→ロシア→日本)

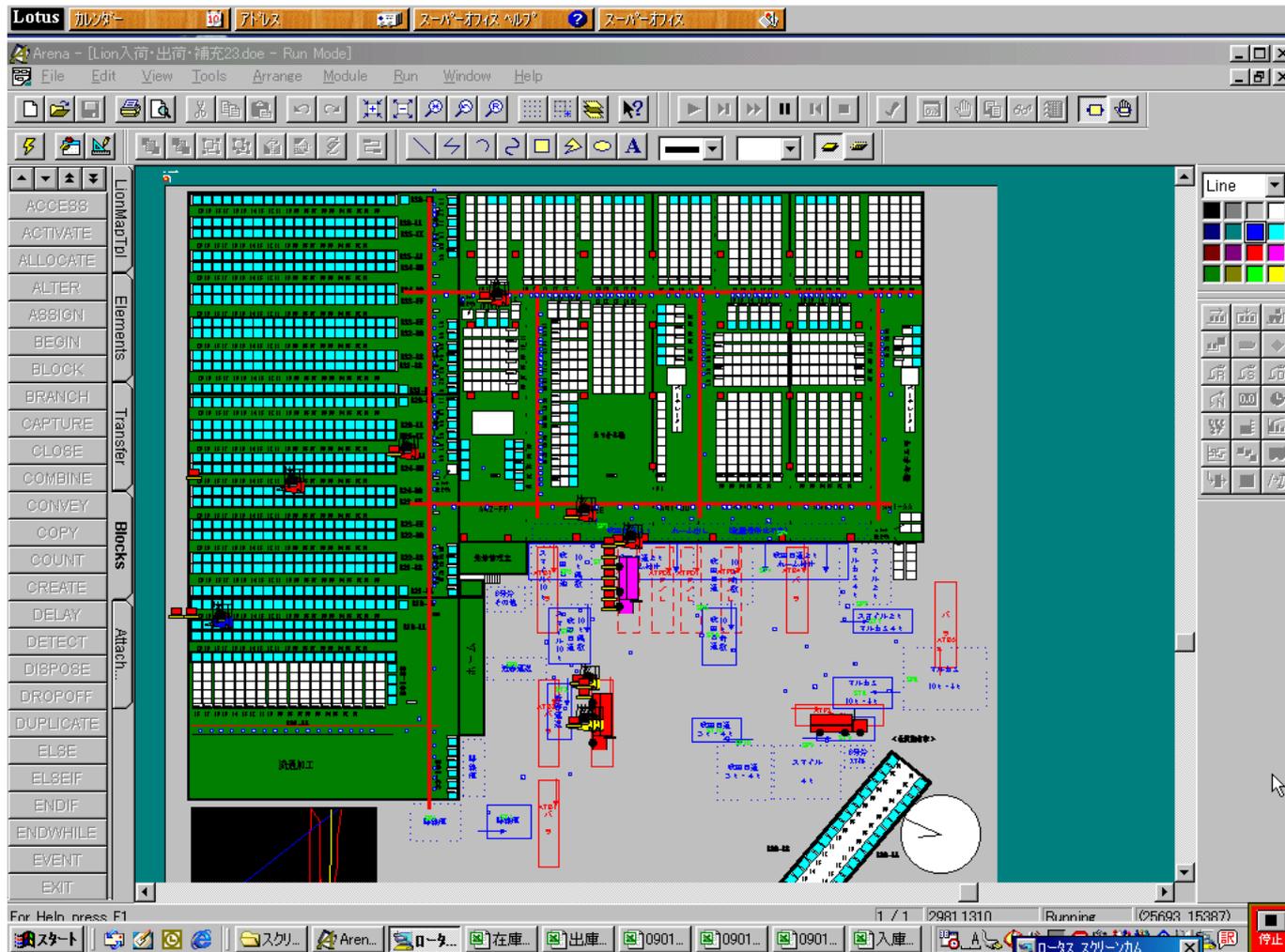


石炭の輸送経路(モンゴル→ロシア→日本)



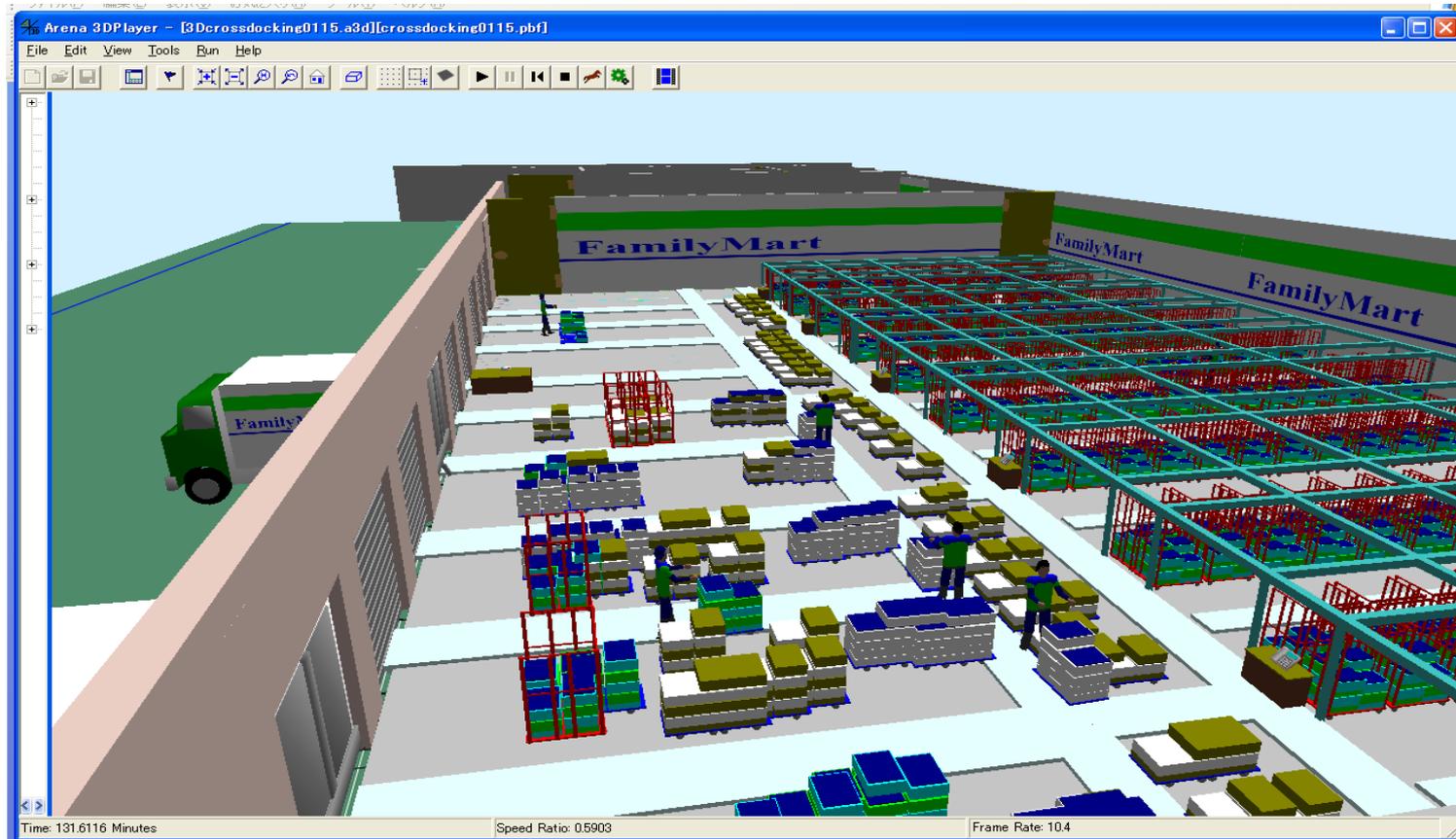
Miwa, K., Y.Tan, U. Chinbat, N. Batdelger, and S. Takakuwa (2013). "Simulation analysis of international coal transportation," *DAAAM International Scientific Book 2013*, pp. 351-360.

流通センター倉庫



Takakuwa, S., H. Takizawa, K. Ito, and S. Hiraoka (2000). Simulation and analysis of non-automated distribution warehouses, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, pp. 1177-1184.

クロスドッキングセンター内のオペレーション

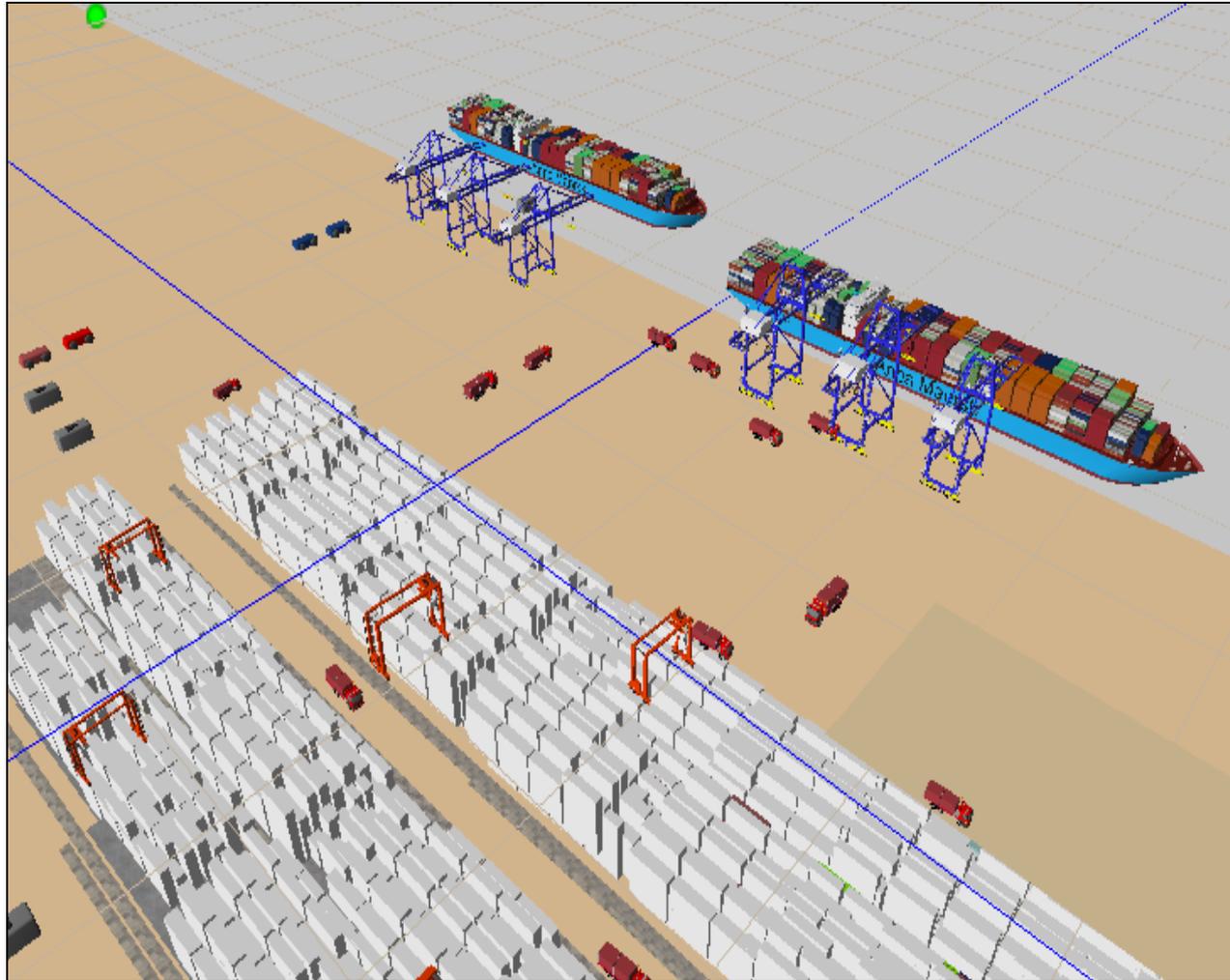


Liu, Y. and S. Takakuwa (2009). Simulation-based personnel planning for materials handling at a cross-docking center under retail distribution environment, *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, pp. 2414-2425.

名古屋港鍋田コンテナターミナル



コンテナターミナルでのオペレーション



Liu, Y. and S. Takakuwa (2011). Modeling of materials handling in a container terminal by using electronic real-time tracking data, *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, pp. 1596-1604.

ファミリーマート・名古屋大学店



電子タグを用いたPOSデータ自動集計システム実験(東京)

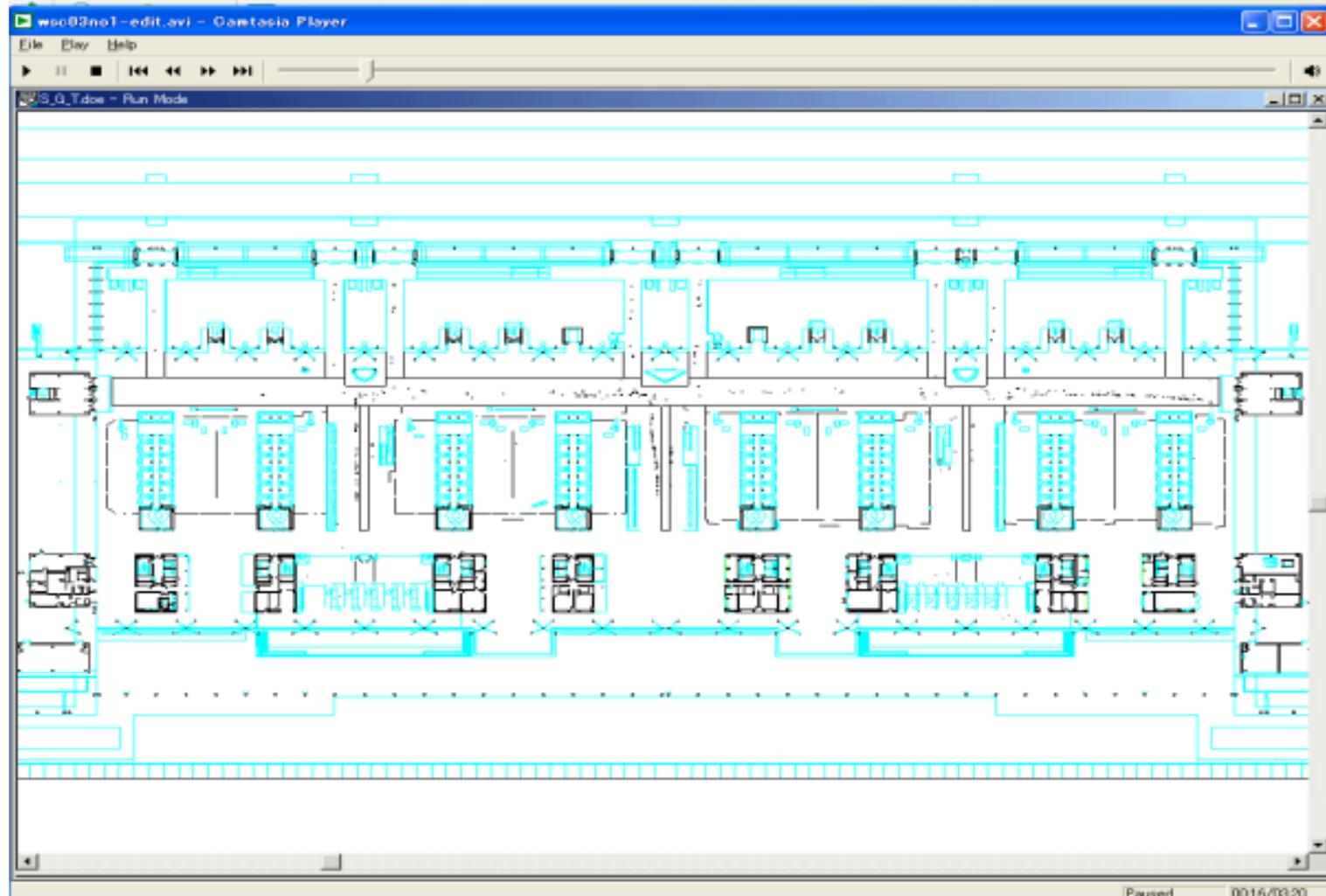


POSデータを活用した小売店舗内の顧客の動線分析



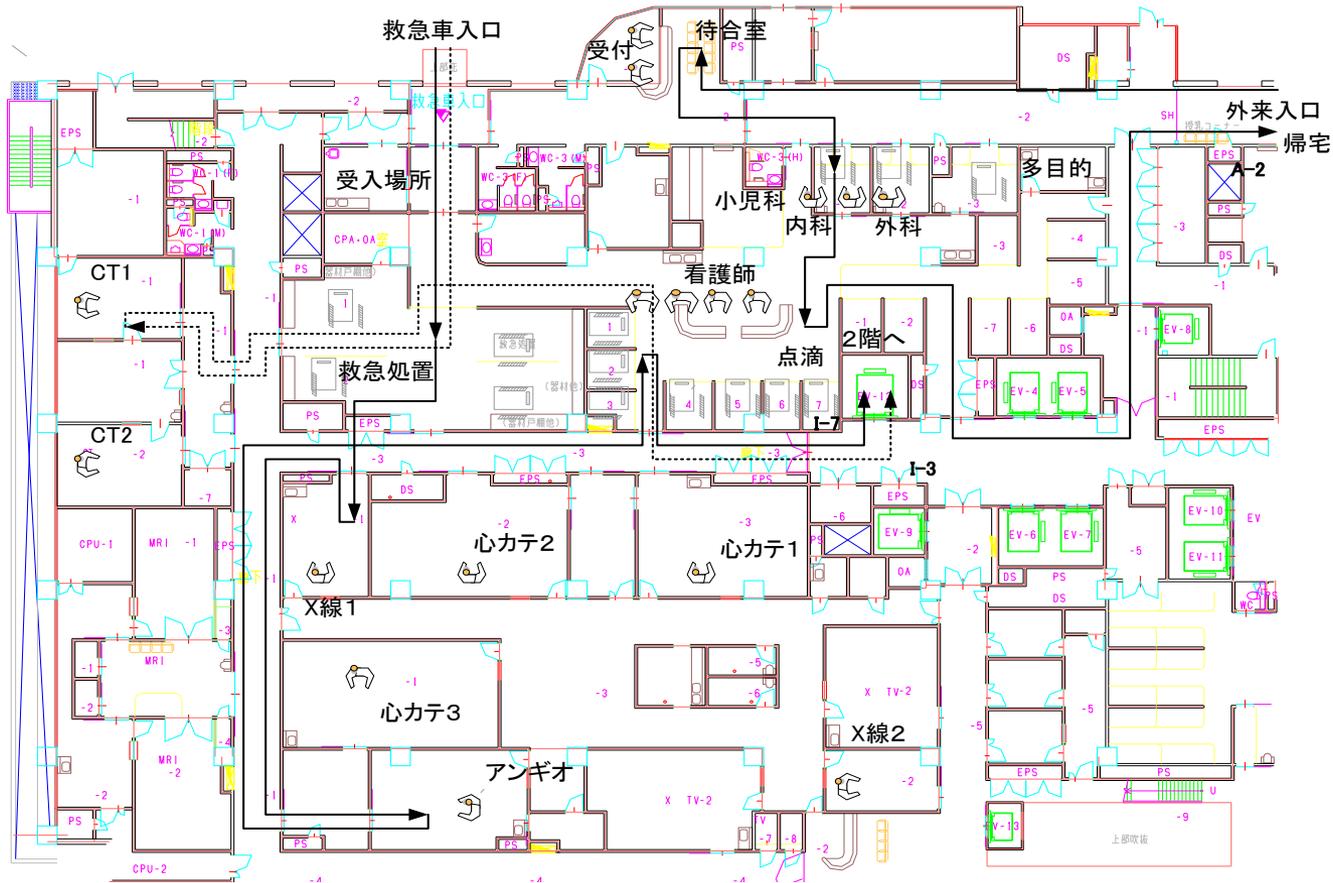
Miwa, K. and S. Takakuwa (2008). Simulation modeling and analysis for in-store merchandizing of retail stores with enhanced information technology, *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, pp. 1702-1710.

国際線出発 空港ターミナルビル



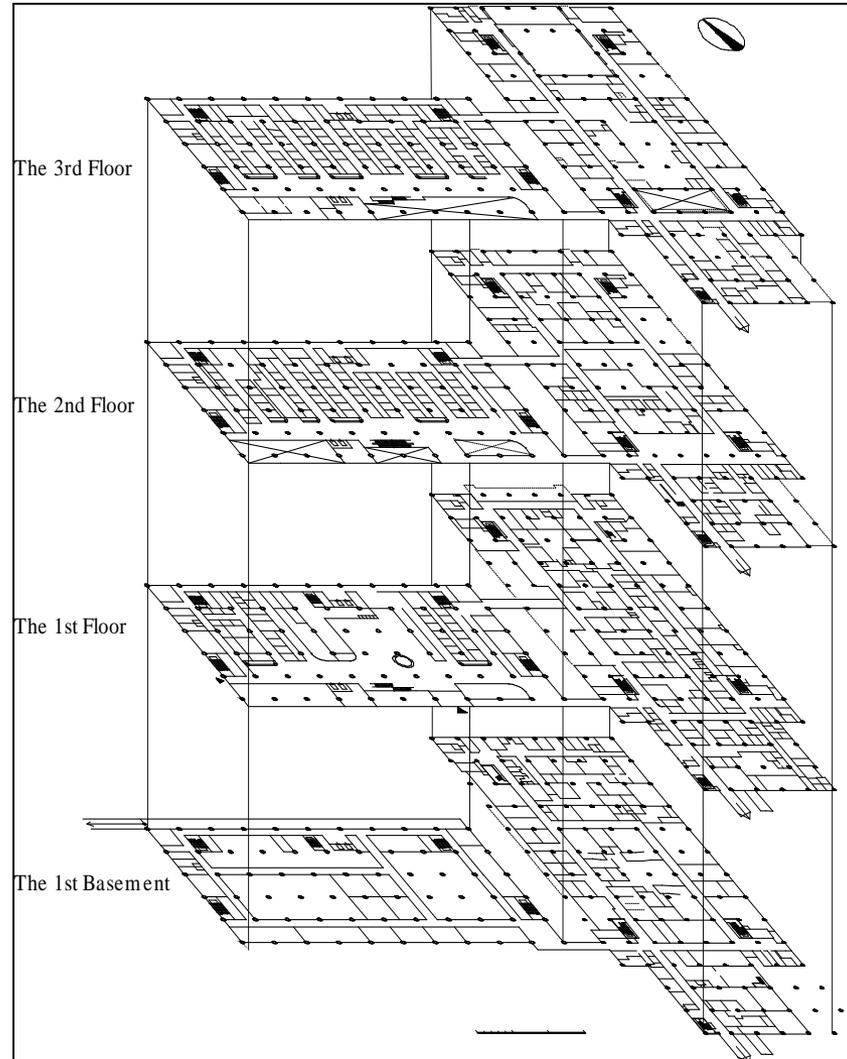
Takakuwa, S. and T. Oyama (2003). "Simulation analysis of international-departure passenger flows in an airport terminal," *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1627-1634.

総合病院内の救急救命センター



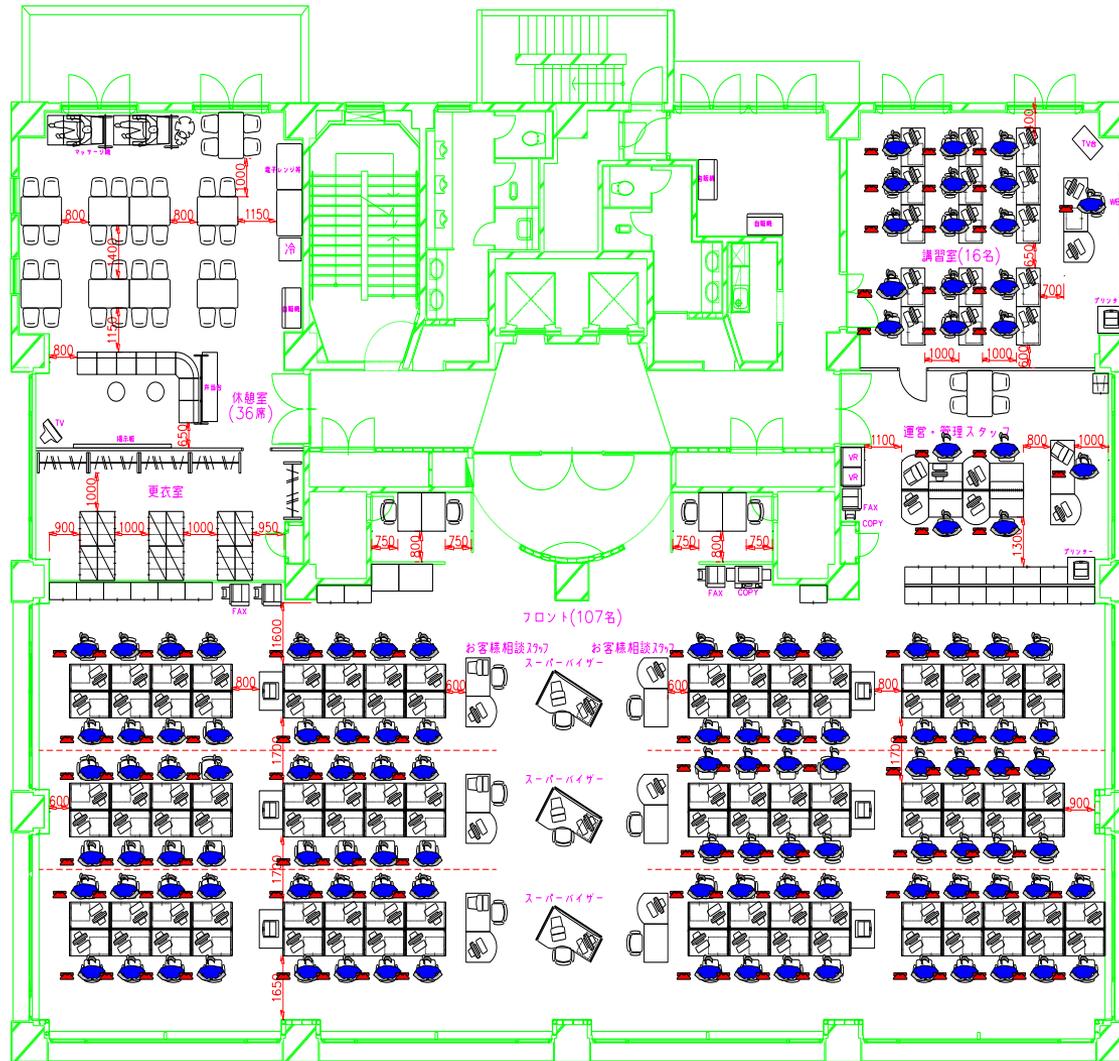
Takakuwa, S. and H. Shiozaki (2004). "Functional analysis for operating emergency department of a general hospital," *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, pp.2003-2011.

名大病院の外来病棟



Takakuwa, S. and D. Katagiri (2007). "Modeling of patient flows in a large-scale outpatient hospital ward by making use of electronic medical records," *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*, pp.1523-1531.

コールセンターでのオペレーション



Takakuwa, S. and T. Okada (2005). "Simulation analysis of inbound call center of a city-gas company," *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, pp.2026-2033.

まとめ

現在(2015年)、プロセス指向からオブジェクト指向へとシミュレーション言語が進展しており、これはシミュレーション言語におけるイノベーションともいえるものである。また、特に米国におけるシミュレーション言語のシェア争いは熾烈であり、このことがイノベーションの原動力になっているとみることができる。

シミュレーション技法は、伝統的なIE(インダストリアルエンジニアリング)手法では正確に予測・計算することが困難であった生産の所要時間を正確に予測することができ、強力なツールである。

シミュレーション自体はWhat if?タイプの問に対する解を得るツールである。しかし、目標関数について数学的な定式化が困難な問題に対して、シミュレーションモデルを構築することができれば、シミュレーション実験を実施してパフォーマンスを評価することにより、目標関数の値を得ることができる。

まとめ（その2）

1990年代以降、シミュレーションモデルと、モデル外部のExcelファイルなどを併用することにより、シミュレーション実行中に大量のデータが読書きできるようになり、大規模システムのシミュレーション分析が可能になった。

オペレーションズマネジメントの対象である生産システム、ロジスティクス・サプライチェーン、サービスなど、多種多様な大規模システムについてシミュレーション分析が可能であり、実際の応用事例の一部を紹介した。



ご清聴有難うございました。