

平成 22 年 6 月 2 日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19710133  
 研究課題名（和文）  
 生産効率を評価尺度とした多層階工場レイアウト問題の実用的モデル化と解法の開発  
 研究課題名（英文） Practical modeling and solution methodology for the multi-floor facility layout problem with the evaluation criteria of production efficiency  
 研究代表者 伊呂原 隆 (IROHARA TAKASHI)  
 上智大学・理工学部・准教授  
 研究者番号：60308202

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、生産効率を評価尺度とした多層階工場レイアウト問題のモデル化と解法の開発を行った。具体的には次の3点に要約される。1) 建築制約を考慮したレイアウトモデルをベースとして実用的な多層階工場レイアウトの基礎モデルを作成。2) 1)で作成した基礎モデルの評価尺度に生産効率を導入したモデルに発展。3) 2)で作成した実用的な多層階工場レイアウトモデルを解くための頑健なアルゴリズムを構築。

## 研究成果の概要（英文）：

In this research, a new formulation of multi-floor facility layout problem with the evaluation criteria of manufacturing efficiencies and the optimization algorithm for the formulation were proposed. The points are summarized as follows. 1) Several building constraints for the multi-floor facility layout problem are considered and the basic layout model was constructed. 2) The basic layout model was developed to introduce the evaluation criteria of manufacturing efficiencies such as lead time, throughput and work-in-process. 3) The robust optimization algorithm was developed to solve the practical multi-floor facility layout model.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	700,000	0	700,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,700,000	300,000	2,000,000

研究分野：生産システム工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：経営工学，工場計画，レイアウト，生産効率，最適化，シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

日本では、国土の狭さから多くの工場が多

層階であり、その比率は高まりつつある。特に、今後日本国内での生産比重が高まるとされている半導体・液晶・医薬品工場など高付

加価値製品をクリーンルームで生産するような先端的工場では多くの工場が多層階である。しかしながら、国内・国外ともにこれまで発表されている工場レイアウトの研究では、その大半が単層建屋を対象としたものであり多層階を扱う研究は少ない。また、多層階工場を対象とした研究でも、レイアウトの評価尺度やエレベータの位置・台数の設計などの観点で実用性に乏しい。

## 2. 研究の目的

本研究では、前述の研究背景を踏まえて、生産効率を評価尺度とした多層階工場レイアウト問題のモデル化と解法の開発を行う。具体的には次の3点を目的とする。

- (1) 従来研究の成果として得られている建築制約を考慮したレイアウトモデルをベースとして、エレベータ・ダムウエーダの導入や、吹き抜けのある工場建屋の検討などを行い、実用的な多層階工場レイアウトの基礎モデルを作成する。
- (2) 従来研究の成果として得られている確率的変動要因の解析方法をエレベータのキャパシティ検討に応用すると同時に、(1)で作成した基礎モデルの評価尺度に生産効率を導入したモデルに発展させる。
- (3) (2)で作成した実用的な多層階工場レイアウトモデルを解くための頑健なアルゴリズムを構築する。

## 3. 研究の方法

本研究の取り掛かりとして、エレベータ・ダムウエーダが建築構造上および搬送上の観点から具備すべき条件を整理し、建築制約（階高・床加重・柱位置・搬送用通路・搬出入口など）との整合性を満たした数理的モデルを作成する。この時点では加工時間や生産効率などの確率的変動要因を含まない静的モデルとし、搬送コスト最小化を目的関数とする混合整数計画法による定式化を行う。このモデルは同種の評価指標を持つ従来研究との比較、生産効率を評価指標とするモデルとの比較によるレイアウトの相違などの考察を行う際に利用する。

モデルの作成と並行して、工場レイアウト分野の最新の研究成果を調査し、本研究に利用可能な解法の研究を進める。この段階では本研究で新たに構築されるレイアウト問題が最適化という観点からどのような特徴をもつのか、解法に要求される条件は何であるかということをはっきりさせる。

ここまでで作成したレイアウトモデルに動的要素（加工時間や搬送時間等の各種パラメータ）を組み込み、評価尺度として生産効率を導入する。単層工場を対象とした研究Bの

成果として、バッファスペース配分とレイアウトが複雑に生産効率に影響を及ぼすことがわかっている。本研究ではこの成果を踏まえて、多層工場で必須となるエレベータ・ダムウエーダ等の垂直搬送装置がどのようにバッファスペース配分やレイアウトに影響を与えるかを解析し、確率的変動要因を加味したエレベータの台数・キャパシティ等の検討に応用する。

エレベータの検討では、次の点などの検討も必要である。(1) エレベータの位置・台数や搬送の割当に応じてエレベータ利用時の待ち時間を含む職場間の搬送時間が変化するので、異なるフロアに配置された職場間の最短距離経路は必ずしも最短移動時間に対応するとは限らない。(2) 複数台のエレベータがある場合にエレベータの利用が一部に集中することは避けなければいけないので、多層階工場のレイアウト問題ではエレベータ負荷の偏りをなくす。

そして、最終的には本研究で提案する実用的な多層階工場レイアウトのモデルを解くための頑健な最適化アルゴリズムを構築する。本問題は、決定変数・制約条件が多く非常に複雑な組合せ最適化問題であると同時に、評価尺度である生産効率を求めるためにはマルコフ解析もしくはシミュレーションを必要とするため、定式化したモデルをCPLEX等の数理計画最適化ソフトを用いて厳密解を求めることは出来ないと予想される。したがって、前述の研究Aや研究Bで大きな成果を挙げたメタヒューリスティクスおよびサンプルパス最適化等の手法を応用・発展させることにより、効率的なアルゴリズムを開発する。そして、仮想的な数値データを用いることにより提案する解法の特徴や限界などを明らかにし、実際の工場から実データを得て、提案するモデルの実問題への適用可能性・有用性などを検証する。

## 4. 研究成果

本研究では、生産効率を評価尺度とした多層階工場レイアウト問題のモデル化と解法の開発を行った。具体的には次の3点に要約される。(1) 従来研究の成果として得られている建築制約を考慮したレイアウトモデルをベースとして、エレベータ・ダムウエーダの導入や、吹き抜けのある工場建屋の検討などを行い、実用的な多層階工場レイアウトの基礎モデルを作成。(2) 従来研究の成果として得られている確率的変動要因の解析方法をエレベータのキャパシティ検討に応用すると同時に、(1)で作成した基礎モデルの評価尺度に生産効率を導入したモデルに発展。(3) (2)で作成した実用的な多層階工場レイアウトモデルを解くための頑健なアルゴリズム

を構築.

本研究で提案する実用的な多層階工場レイアウトのモデルを解くための頑健な最適化アルゴリズムを構築した. 本問題は, 決定変数・制約条件が多く非常に複雑な組合せ最適化問題であると同時に, 評価尺度である生産効率を求めるためにはシミュレーションを必要とするため, 定式化したモデルを数理計画最適化ソフトにより厳密解を求めることは出来ない. したがって, 当分野の従来研究で大きな成果を挙げているメタヒューリスティクスを応用・発展させることにより効率的なアルゴリズムを開発した. そして, 仮想的な数値データを用いることにより提案する解法の特徴や限界などを明らかにし, 実際の工場から実データを得て, 提案するモデルの実問題への適用可能性・有用性などを検証した.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① 角元謙太, 伊呂原隆, CO2 排出を考慮した国際輸送計画問題の最適化及びそのパラメータ解析, 日本経営工学会論文誌, 査読有, Vol. 61, No. 2, pp. 46-53 (2010)
- ② Takashi Irohara, Lagrangian relaxation algorithms for hybrid flow-shop scheduling problems with limited buffers, International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences, 査読有, Vol. 15, No. 1, pp. 21-28, (2009)
- ③ 伊呂原隆, 半導体工場におけるレイアウトとバッファ配分問題, 日本設備管理学会誌, 査読有, Vol. 20, No. 4, pp. 83-89, (2009)
- ④ Takashi Irohara and Hideaki Yamashita, Stochastic Facility Layout Problem with Search Range Grouping for AGV delivery demand, Journal of Japan Industrial Management Association, 査読有, Vol. 59, No. 6, pp. 457-463, (2009)
- ⑤ 渡辺浩司, 戸泉和也, 伊呂原隆, 非一様型並列機械において納期ずれ最小化を行うスケジューリング方法の提案, 日本経営工学会論文誌, 査読有, Vol. 58, No. 5, pp. 333-341, 2007年12月
- ⑥ Takashi Irohara, Hideaki Yamashita and Yo Ishizuka, Facility Layout Problem with Buffer Space Allocation for Throughput and Material Handling Cost, Journal of Japan Industrial Management Association, 査読有, Vol. 58, No. 2, pp. 87-96, (2007)

[学会発表] (計 32 件)

- ① Jeongja Jeong and Takashi Irohara, A scheduling based reorder point system with variable lead time in a multi-item production environment, Asia Pacific Industrial Engineering and Management Science (APIEMS), Kitakyushu, Japan, December 14-16, 2009
- ② Takashi Irohara and Naoki Uchida, Lagrangian relaxation for parallel machine scheduling with sequence-dependent set-up times, Institute for the Operations Research and Management Science (INFORMS), San Diego, CA, USA, October 11-14, 2009
- ③ 内田直樹, 伊呂原隆, 順序依存段取り時間を考慮した並列機械スケジューリング問題に対する TSP 手法の応用, スケジューリングシンポジウム, 2009年9月17-18日, 岡山大学
- ④ Takashi Irohara and Kenta Kakumoto, Optimization Model for Freight Transportation Planning Incorporating CO2 Emission Levels, Institutional Supply Chain Management (ISCM), Xi'an, China, 8-10, August, 2009
- ⑤ Takashi Irohara and Tsutomu Araki, Applications of RFID Technology for Improving Merchandise Allocation in an Apparel Retail Store, Institute for the Operations Research and Management Science (INFORMS) International Conference on Service Science (ICSS), Hong Kong, China, 6-8, August, 2009
- ⑥ Kenta Kakumoto and Takashi Irohara, A Heuristic Method for International Transportation Scheduling Problem Incorporating CO2 Emission Levels, 20th International Conference on Production Research (ICPR), Shanghai, China, 2-6 August, 2009
- ⑦ Susumu Fujii, Yosuke Nonogaki, Takashi Irohara and Yuichiro Miyamoto, A Study on Autonomous Distributed Operation of FMS for Small Parts Production, 20th International Conference on Production Research (ICPR), Shanghai, China, 2-6 August, 2009
- ⑧ 鄭貞子, 伊呂原隆, 多品種生産により生じる着手待ちリードタイムの変動を考慮した発注点方式に関する研究, 日本ロジスティクスシステム学会全国大会, 豊橋創造大学, 2009年6月27-28日
- ⑨ Takashi Irohara, Performance Evaluation of the Multi-floor

- Pharmaceutical Factories for Solid Dosage, IIE Annual Conference and Expo 2009 (Industrial Engineering Research Conference), Miami, Florida, USA, May 30 - June 3, 2009
- ⑩ 内田直樹, 伊呂原隆, 順序依存段取り時間を考慮した並列機械スケジューリング問題の最適化, 日本経営工学会春季大会, 2009年5月16-17日, 城西大学
- ⑪ 野々垣陽介, 藤井進, 伊呂原隆, 宮本裕一郎, 井上達男, 小物FMSの自律的運用法の基礎的研究, 日本機械学会, 生産システム部門研究発表講演会, 法政大学, 2009年3月10日
- ⑫ Takashi Irohara and Kenta Kakumoto, Optimization of International Transportation Scheduling Problem Incorporating CO2 Emission Levels, International Symposium of Case Studies involving Statistics and Operations Research for Decision Making: Solving Human Problems in Business, Society and Scientific Areas, The Institute of Statistical Mathematics, Tokyo, Japan, March 2nd, 2009
- ⑬ 折登, 山本, 井ノ口, 下田, 伊呂原, GAと相関係数による動的選択アセットで構成されるポートフォリオの最適化, 人工知能学会, 第2回ファイナンスにおける人工知能応用研究会, 東京理科大学, 2009年1月25日
- ⑭ Takashi Irohara, Facility layout and buffer allocation for overhead hoist transport in semiconductor fabrication facilities, Asia Pacific Industrial Engineering and Management Science (APIEMS), Indonesia, December 3-5, 2008
- ⑮ 井上高尚, 伊呂原隆, 多層階の製薬工場におけるレイアウト評価に関する研究, 日本経営工学会秋季研究大会, 2008年10月18-19日, 大阪府立大学
- ⑯ Takashi Irohara, Multi-floor Facility Layout Methodology with Location Matrix, Institute for the Operations Research and Management Science (INFORMS), Washington DC, USA, October 12-15, 2008
- ⑰ 角元謙太, 伊呂原隆, CO2排出を考慮した国際輸送計画問題の最適化とその感度解析, スケジューリングシンポジウム, 2008年9月19-20日, 青山学院大学
- ⑱ Susumu Fujii, Tomomitsu Motohashi, Takashi Irohara, Yuichiro Miyamoto and Satoko Moriguchi, A Study on Job Shop Scheduling Based on Two-way Auction in Ubiquitous Environment, Advances in Production Management Systems (APMS), Espoo, Finland, September 14-17, 2008
- ⑲ 藤井進, 植竹友彦, 伊呂原隆, 森口聡子, 宮本裕一郎, 生産管理システムの効率化の導入のための分散仮想工場-MRPシステムの導入-, 日本機械学会, 生産システム部門研究発表講演会, 産業技術大学院大学, 2008年7月4日
- ⑳ Yosuke Nonogaki, Susumu Fujii, Takashi Irohara, Satoko Moriguchi and Yuichiro Miyamoto, A Study on an auction-based operation for FMS with a single automated vehicle, International Symposium on Flexible Automation, Atlanta, GA, USA, June 23-26, 2008
- ㉑ Takashi Irohara, A Stochastic Facility Layout Problem with Delivery-dispatching Rules for AGV, 10th International Material Handling Research Colloquium (IMHRC), Dortmund, Germany, May 28 - June 2, 2008
- ㉒ Takashi Irohara, Yuta Takahashi, Hybrid flowshop scheduling to minimize total weighted tardiness and earliness with sequence-dependent setup times, IIE Annual Conference and Expo 2008 (Industrial Engineering Research Conference), Vancouver, Canada, May 17-21, 2008
- ㉓ 本橋智光, 藤井進, 伊呂原隆, 宮本裕一郎, 森口聡子, 双方向型オークションに基づくジョブショップスケジューリングに関する研究, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都情報大学院大学, 2008年5月16-18日
- ㉔ 角元謙太, 伊呂原隆, CO2排出を考慮した国際輸送ネットワーク最適化問題に関する研究, 日本経営工学会 春季大会, 2008年5月10-11日, 電気通信大学
- ㉕ 山下英明, 伊呂原隆, 確率的施設配置問題について, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 春季研究発表会, 2008年3月25-26日, 京都情報大学院大学
- ㉖ Takashi Irohara, Lagrangian relaxation algorithms for hybrid flow-shop scheduling problems with limited buffers, Asia Pacific Industrial Engineering and Management Science (APIEMS), Kaohsiung, Taiwan, ROC, December 9-12, 2007
- ㉗ 鈴木嘉一, 伊呂原隆, 天井引上げ式搬送装置を用いた半導体工場における設備配置とバッファ配分に関する研究, 日本設備管理学会 秋季研究発表大会, 論文集 pp.175-180, 2007年11月21-22日, 神戸市産業振興センター

- ②⑧ 堀田卓志, 伊呂原隆, 藤井進, 山下英明, AGV の搬送スケジューリングを考慮した確率的職場配置問題に関する研究, 日本経営工学会秋季研究大会, 2007 年 10 月 20-21 日, 小樽商科大学
- ②⑨ 高橋裕太, 伊呂原隆, 藤井進, 順序依存段取り時間を考慮したハイブリッドフローショップスケジューリング問題に対するラグランジュ分解調整法, スケジューリングシンポジウム, 京都大学, 2007 年 9 月 29-30 日
- ③⑩ Takashi Irohara and Marc Goetschalckx, Decomposition Solution Algorithms for the Multi-Floor Facility Layout Problem with Elevators, 19th International Conference on Production Research (ICPR), Valparaiso, Chile, July 29-August 3, 2007
- ③⑪ Takashi Irohara and Marc Goetschalckx, Formulations and Optimal Solution Algorithms for the Multi-Floor Facility Layout Problem with Elevators, IIE Annual Conference and Expo 2007 (Industrial Engineering Research Conference), Nashville, TN, USA, May 19-23, 2007
- ③⑫ 伊呂原隆, 多層階工場レイアウト問題の定式化と妥当不等式の提案, 日本経営工学会 春季大会, 2007 年 5 月 12-13 日, 成蹊大学

[図書] (計 3 件)

- ① 共著: Takashi Irohara, 『Progress in Material Handling Research: 2008』, “A Stochastic Facility Layout Problem with Delivery-Dispatching Rules for AGV”, pp. 261-276 を執筆, 総ページ数 = 750, Material Handling Institute, Charlotte, NC, USA (2008)
- ② 共訳書: 黒田充, 大野勝久監訳 『サブライチェーンハンドブック』, 伊呂原・第 9 章 「階層的計画・モデル化・先進的計画システム」 pp. 429-493 を執筆, 総ページ数 = 719, 朝倉書店, 2008 年 11 月 25 日
- ③ 共著: 高橋勝彦, 伊呂原隆, 関庸一, 平川保博, 森川克己: 『シミュレーション工学』, 3.1 節 (pp. 79-86), 4.1 節 (pp. 104-113), 4.4 節 (pp. 128-136), 総ページ数 = 138, を執筆, 朝倉書店, 2007 年 9 月 15 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊呂原 隆 (IROHARA TAKASHI)

上智大学・理工学部・准教授  
研究者番号: 60308202

(2) 研究分担者  
なし

(3) 連携研究者  
なし