

自動機器レイアウト作成システムの実現と実運用による評価

本 多 一 賀[†] 横 山 透^{††}

建物の建築や改修にともなう機器、家具などの配置問題は頻度が多く、手間もかかり、システムによる自動化が期待されている。我々は数十の機器からなる配置問題を、機器を機能ごとにグルーピング化したゾーン単位の配置とゾーン内の機器単位の配置の2つのレベルに分割し、これらのレベル間での配置を協調させることで、詳細な配置を実現する方法を開発した。配置にあたっては、対象領域に依存したルールの導入によって得られる配置基準線を利用し、作業導線を確保したレイアウトを実用的な計算時間で導出することに成功している。本稿では、業務用厨房システムの例を使って、我々の方法の有効性を説明するとともに、主に実用性評価の観点から、約3年間の実運用で得られた知見を示す。

The Development of the Automatic Appliance Layout System and Its Experimental Evaluation

KAZUYOSHI HONDA[†] and TORU YOKOYAMA^{††}

Spatial layout planning is to place the required objects such as furniture and appliances into the restricted area like the room. We need the system that can solve these problems easily, because it takes much effort for human expert. Our new method represents the group of appliances for zone, and put them into the specific area such as room and floor of buildings. The characteristic of our methods are (1) do not fixed the shape of zone, (2) consider the relationship between two appliances that includes another zone, and (3) make feasible pathway to use these appliances because we have to put many appliances into the small area with feasibility. We have applied our methods to real-life system for commercial layout, so we explain our methods using this system and show the cognitive ergonomics in our experience of using this system for three years.

1. はじめに

建物の建築や改修にともなう機器（家具なども含む）の配置問題は頻度が多く、手間もかかり、システムによる自動化が期待されてきた。

従来の機器配置の自動化の方法は、機器を1つ1つ配置していく、もしくは、機器群からなるゾーンのどちらかを配置するものである。前者の例としては、部屋の家具の配置の問題⁸⁾、後者の例としてはオフィスのレイアウト問題²⁾や計算機室内の機器のレイアウト問題⁹⁾がある。

しかしながら、より現実的なゾーンの設定、ゾーン内に含まれる個別機器の特性などを考慮して、機器を柔軟に配置するための研究は少ない。また、入力条件としても、配置領域（たとえば、部屋など）も凸凹の

ない矩形に限定しており、凸凹なども含む現実の配置対象を扱ったものは少ない。

オフィスレイアウトの例²⁾では、矩形の部屋に、1つのゾーンに対応したいいくつかの形状パターンを用意し、ゾーン間の関係に応じて、これらの形状パターンを配置領域（たとえばビルの1フロアや部屋）に配置し、その後、各々のゾーンの中に個別機器を独立に配置するという方法がとられた。

しかし、この方法では、(1)すべての機器を配置するために、形状パターンを大きめにとらざるをえないため無駄が多い、(2)異なるゾーンにまたがって存在する機器どうしの関係が考慮されない、(3)配置の際、ゾーン間の人の移動などを考慮していない、という問題があり、我々の扱いたい、以下の特徴を持つ配置問題には適用困難であった。

対象とする問題の特徴

- (1) ゾーン間の無駄なスペースの発生を最小限にしたい。
- (2) ゾーン間に特定の位置関係がある。

[†] 東京ガス株式会社

Tokyo Gas Co., Ltd.

^{††} 株式会社ティージー情報ネットワーク

TG Information Network Co., Ltd.

- (3) ゾーンの形は任意.
- (4) ゾーン内の機器どうしにも特定の位置関係がある.
- (5) 配置対象機器は大きさの異なるものの中から1つを選択可能.

たとえば、我々がターゲットとしたレストランなどの業務用厨房の設計では、機器は熱機器ゾーン、調理機器ゾーン、下調理機器ゾーン、盛付ゾーン、配膳ゾーン、下膳ゾーン（食器を下げる）などの様々なゾーンに分割できる。

さらに、ゾーン間には、調理ゾーンと熱機器ゾーンは隣接、盛付ゾーンと配膳ゾーンは隣接などの制約がある。しかも、ゾーンをまたがる個別機器間の関係として、熱調理ゾーンのオープンと調理ゾーンの冷蔵テーブル（上が調理台、下が冷蔵庫の機器）は、対向させてはいけないという制約を持つ。しかも一般にオフィスの賃貸料を抑える意味で、スペース的な余裕があまりないので、ゾーンの形状というものをつねに一定のパターンに限定できない。

これらの複雑なレイアウトの問題は、考慮すべき制約条件と配置候補の数が多く、配置のための計算量が大きくなるため、Flemmingら³⁾の簡単な電器回路設計の例があるのみである。

しかも我々の問題には、電器回路にはない「配置した機器を使って仕事ができること（作業動線の確保）」という、実現の難しい制約条件と、配置領域を凸凹のない矩形では近似できないという問題があり、業務用厨房自動設計システムについても、厨房機器を扱う電機メーカーなどが作成を試みたが、実用化にはいたっていない。

そこで我々はこの種の問題に対して、以下の(1)、(2)を実現して、妥当な解を実用的な時間で得るために(3)、(4)のアプローチを導入し、システムの作成を試みた。

- (1) ゾーン間の望ましい関係.
- (2) ゾーンにまたがる機器の望ましい配置.
- (3) 機能を満足することを条件に、ゾーン内が複数列への分割の許容.
- (4) 配置後のゾーンの移動、配置中の配置対象機器の入れ換えの許容.

(1)、(2)の融合のために、階層的なレイアウト手法を導入する一方、配置そのものを単純にし、探索空間を小さくすることと、柱などによる配置領域の凸凹を吸収するための配置基準線導出の方法を開発した。

我々の配置基準線の導出方法は、(a) 作業に人間の移動をとまなう、(b) 機器の平均的な奥行の2つに注目した方法であり、作業空間の設計問題としては一般

的な性質として利用できる（具体例は、本文中に示す）。この方法によって最も重要な作業動線の確保の実現と、配置問題で発生する組合せの増加の問題が回避できる⁷⁾。

また(3)は、配置ゾーンの形状がつねに変化することを意味し、形状が任意であっても1つのゾーンとして扱うために、ゾーンの機能ごとに定義される「まとまり度」の概念を導入することで実現した。

(4)は、(3)と組み合わせて設計をしやすくするための工夫であり、探索の際の後戻りを少なくする役割を持つ。

これらの方法により、我々は業務用厨房自動設計システムNICEを作成^{5),6)}し、東京ガスのフードサービス部門のショールームに設置し利用している。

本稿では、NICEの例を使って、実システム実現のための我々のアプローチを説明する。また、同種のシステムを実現、運用するという観点から、3年にわたってシステムを利用してきて明らかになった利点、問題点についても示す。

次の2章では、我々の取り扱う業務用厨房設計問題を代表とした、作業動線を確保することと、機器のグルーピングと個別配置の融合が重要である配置問題のクラスを定義する。3章では業務用厨房設計問題を導入し、モデル化、配置のための基準線の導出、配置の基準線に基づく配置アルゴリズムを示す。

4章では、3章の方法をもとに、我々が作成した業務用厨房設計システムの紹介と、約3年間の運用結果から得られた知見について示す。

最後に、結論を述べる。

2. 対象とする配置問題とその一般的解法

本章では、対象とする設計問題の一般的な特徴と具体例、さらには我々の提案する解法について示す。

2.1 対象とする配置問題

我々が取り扱っているものは、ゾーンのみならず、ゾーン内の機器の特性に着目した配置を行う必要がある問題であり、前章で「対象とする問題の特徴」として示した5つの条件を持つもので、具体的には、以下のような現実問題が存在する。

(1) 陳列棚への商品の配置問題

たとえば、コンビニエンスストアで、棚のうちのどこからどこまでを、雑貨ゾーンにして、どこから菓子ゾーンにするか決め、適切な棚や冷蔵庫などを選択する問題。たとえば、前章で「対象とする問題の特徴」(3)の例でいえば、菓子ゾーンは、分割して、向かい合わせの棚に連続した形で配置

できるが、飲物のゾーンは分割して向かい合わせには配置しない(たいていは、一列か、連続するコーナーである)。(4)の例では、加工食品ゾーンのパンは、たいてい、冷蔵庫ゾーンの牛乳、オレンジジュース類の近くに配置するのが普通である。

(2) 小規模なオフィスの机の配置問題

たとえば、ある会社の総務セクションにおいて、社員の福利厚生を担当するグループと、会計業務に携わるグループの配置を、共用のOA機器用の机の配置利用を念頭に入れて決める問題。上述の(4)の特徴として、会計セクションのプリンタが載っている机は、福利厚生担当グループで頻繁に印刷する担当者の近くが好ましいなどである。

(3) 業務用の厨房設計問題

レストランなどの大規模な厨房機器の配置の問題。詳細は、次の章で示す。

以上のいずれのケースにおいても、オフィススペースの節約と、使い勝手の向上、配置の手間の削減が自動化の目標である。

2.2 一般的解法

これらの問題の解法は、(1)問題分析と近似の導入、(2)配置の基準線の設定、(3)制約による問題の表現、(4)領域の知識の追加、(5)おおまかな配置、(6)配置位置の決定、というプロセスで解く。

(1)は、問題を現実的に解こうとした場合、必ずしも、もとの問題をそのまま解く必要がない。そこで、問題に近似を導入して、問題を簡略化する。近似の1つの要素は、配置の対象の部屋や領域の凸凹の扱いである。

配置領域の凸凹については対象とする領域依存した基準(どの程度の柱を無視するかなど)を設けて、考慮するか無視するか決める。実際に配置するものの形状については、矩形に近似する。

(2)の配置基準線は以下のように得る。

与えられた配置領域は、たいていは通路と機器を配置する配置エリアに分離できる。通路になるか、配置エリアになるかは、配置領域の持つ入口出口などの情報、配置対象機器の一般的性質に依存する。これらを考慮して、実際に機器を配置する領域を切り出す。

(3)はゾーン間の関係、ゾーン内で満足するべき関係を数式などで表現する。さらに、ゾーンに含まれる機器間についても制約として表現する。

(4)の領域知識の追加は、配置問題では必要な情報をすべて与えることができなかつたり、矛盾する情報を与えてしまうことがある。これを避けるための方法として制約の追加を行う。また、配置対象機器は必ず

しも1つの機種ではないので、機能を満足するように、複数の候補を加える。

(5)のおおまかな配置は、機器群からなるゾーン内の配置をトップレベル、機器間の配置をサブレベルとして考える階層的な探索により配置を行う。「おおまか」という意味は、各ゾーン配置のレベルにおいて、ゾーンに含まれる機器を、範囲を制限して移動を可能にすることである。これによって、ゾーン配置の後半における機器配置を容易にする。

(6)は、配置の途中まで移動可能にしてきた機器の位置を固定することであり、経験則を利用する。たとえば、すきまの調整作業などである。

3. 業務用厨房設計問題の解法

ここでは業務用厨房設計問題を例として、我々の方法による配置問題の解法について示す。

3.1 業務用厨房設計問題

業務用厨房設計問題は、以下の入力条件をもとに専門的な知識を使って、レストランなどの厨房の機器を選択し、機器を配置する問題である¹⁾。

(1) 配置領域

(2) 配置領域の構成要素の属性(壁、ドア、窓など)

(3) 設計するレストランのスペック(食数、業種)

業務用厨房設計作業は、習熟した専門家の助けを借りながら、基本的な設計ができるようになるのに3年、1人で設計ができるようになるまでに5年以上必要であるといわれている。

設計作業が困難な理由は、必要な知識が広範囲にわたることである。建築的な設計知識以外に、調理機器、食品衛生、料理、空調、各種法規、ガス、水道、電気の基本知識が必要である。

業務用厨房設計業務は資格制度として認定されており、先の基準に対応して二級厨房設備士、一級厨房設備士の区分がある。

3.2 問題の分析と近似の導入

問題分析をもとに、システムの実用性を損なうことがないという条件のもとで、元の問題に導入されるのがここでの近似である。目的は問題を簡略化し、システム的に実現しやすくすることである。

業務用厨房の設計問題では、ターゲットは二級の厨房設備士と同程度の設計案を導出することにあり、設計作業のうちの一次設計作業を担当することに相当する。これらを仮定すると、問題は、以下の前提がおける。

(1) 最終的な設計案は、専門家がチェックする。

(2) 設計領域(一般には部屋)は1つ。部屋の形状

は問わない。

- (3) 食数 50~200 程度 (200 人分の料理を同時に作れる) まで。
- (4) 入口と出口とその機能 (配膳用, 下膳用か, 搬入用かなど) は与えられる。

前提に基づくと, 元問題は以下のように簡略化できる。

- (1) 三次元的な形状は無視する
一次設計では, 機器を機器の上部へ配置することは考慮しない。
- (2) 取扱機器の奥行きは, 300~900 mm である。原則的に市販品を利用するので, この範囲に収まる。
- (3) 与えられる設計対象エリアで機器が配置できないほどの細かな凸凹は無視する。しかし, 入口, 出口周辺の凸凹は通路確保の観点からは無視しない。

次節以降では, これらの簡略化を前提として, 問題のモデル化を行う。

3.3 配置の基準線の設定

配置問題において, 配置対象をどのような規則で配置するかを決定する必要がある。

配置は一般には, (a) すでに配置されている機器, 既存のもの (たとえば壁) を基準にして配置する, (b) 配置のための基準線に沿って配置する, という 2 つの戦略があるが, ここでは我々は, これらを組み合わせる。

ここでは, (b) の配置のための基準線の導出について説明する。基準線の 1 つの要素は壁であり, 壁沿いに機器を配置することができる。しかし, 壁だけに機器を配置するわけではなく, 内部にも配置する必要がある。さらには壁側であっても, 途中で, ドアやカウンターなどが存在する場合はそこには直接的には配置できない。

これらの条件を考慮して配置の基準線を導出する。

手順は以下で, 図 1 のベクトルを導出することに相当する。ベクトルの持つ意味は, ベクトル方向の右側が機器の配置エリア, 左側が通路である。

- (1) 壁際の凸凹の処理 壁際に存在する凸凹について, 小さな凸凹は無視し, 大きなものは残す。大きさの基準は, 機器が配置できる 600 mm を基準にする。
- (2) 壁際からの輪郭線の抽出 壁際から, 機器の平均寸法 600 mm を離れた位置に配置基準線を設定する。
- (3) ドア, カウンター前の処理 配置基準線がドアや

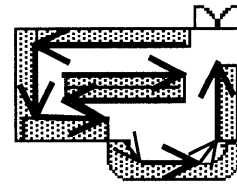


図 1 配置基準線

Fig. 1 Guideline of layout.

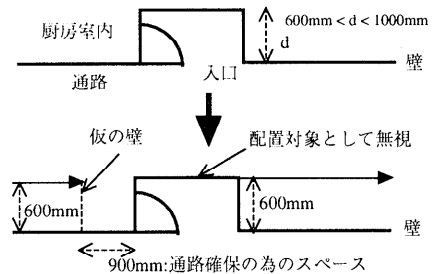


図 2 基準線の導出のルール例

Fig. 2 The example of rule that draw the guideline.

カウンターであれば, それらを基準線の上にマップする。また, 通路の確保も行う。

- (4) 中洲配置基準線の作成 壁際の配置基準線から通路を確保し, 中央に配置基準線を設定する。基準線の方向などは出入口の方向に対応して決定する。

各々の処理において, 過去の事例に基づく「経験則」を導入する。たとえば, 通路の確保, カウンター前の配置基準線の設定などがこれにあたる。たとえば, 図 2 では, くぼみとその中に存在するドアの取扱いを示している。図 2 の下の図のように, くぼみは, 機器の奥行を考慮して, 600 mm を超えて, 1000 mm 未満ならば, この前には配置の基準線を設定しない。また, 厨房室内での通路の確保の意味で, ドアの正面を 900 mm 空けて, 配置の基準線を設定している。これ以外にも中洲 (中央部の領域) の設定, 凹凸の扱いなど, 全部で 150 弱のルールを作成して配置領域形状の特性にあわせた配置基準線の導出を行っている。

以上の配置基準線の導出は, (a) 人間が移動して作業をする, (b) 機器の奥行きがある範囲に収まる, という条件のみ満足すればよく, 先の陳列棚や, 小規模のオフィスの例のように, 実際によくある一般的な問題である。

3.4 制約による問題の表現

3.4.1 ゾーンと列の定義

機器配置を行うための準備として, 始めに機器のグルーピング化を行う。機器は対象とする業種と食数によって, 表 1 のようにグルーピング化できる。各々の

表1 機器テーブルの例 (和食, 100食の例)
Table 1 Example of appliance table (Japanese, capacity 100).

ゾーン	機器名	サイズ 幅 × 奥行 × 高さ (mm)	選択	削除
洗浄	食器洗浄機	1800 × 600 × 1500	1	5
洗浄	食器洗浄機	1500 × 600 × 1500	5	9
洗浄	食器洗浄機	1200 × 600 × 1500	9	10
洗浄	シンク	1500 × 600 × 1500	1	6
洗浄	シンク	1200 × 600 × 1500	6	12
...
熱	ガスレンジ	1500 × 600 × 850	1	20
熱	ガスレンジ	1200 × 600 × 850	20	25
熱	ガスレンジ	900 × 600 × 850	25	XX
熱	台	1200 × 600 × 850	1	4
熱	台	900 × 600 × 850	4	XX
...
下処理	台	1500 × 600 × 850	1	13
下処理	台	1200 × 600 × 850	13	15
下処理	台	900 × 600 × 850	15	XX
下処理	シンク	1500 × 600 × 1500	1	8
下処理	シンク	1200 × 600 × 1500	6	8
...

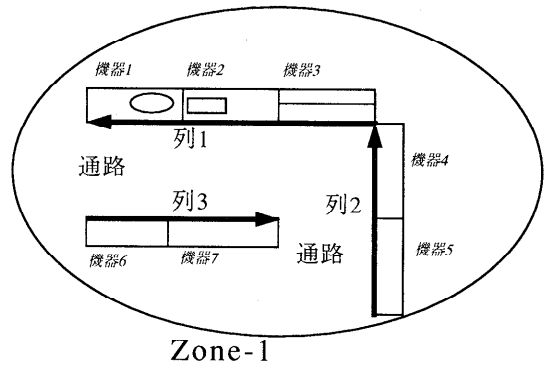


図4 ゾーンの例
Fig. 4 The example of the zone.

3.4.2 ゾーン間の位置関係

ゾーン間には以下の関係が定義できる。

図中で使われている距離は、作業の特性にあわせて設定されている。たとえば機器間が図面では同じ距離であっても、背中合わせの機器と、隣合わせの機器では、作業性は異なり、これらの距離を一緒にはできない。

- (1) 隣接 2つのゾーン内の列の一部が、図3の関係のうちの一つを満足すること。このため、列の一部が接点を持つ必要はない。物理的に隣接する必要はない。
- (2) 近い 配置の際に考慮することで、配置する際に、配置候補の中で最も近くに配置できるようにすること。
- (3) 隣接しない (1)の条件を満足しないこと。

3.4.3 ゾーンの属性

ゾーンは、その機能によって、好ましい形と、配置位置が異なる。形は、1列が好ましいものや、向かい合わせが好ましいものがある。配置位置は、壁ぎわか、中洲に別れる。たとえば、熱調理ゾーンは、排気の問題などから、壁ぎわに1列で配置するのが好ましい。

3.4.4 機器間の配置位置関係

一部の機器に関しては、対抗や、隣合うことが好ましくないものがある。これらを、制約として加える。たとえば、冷蔵庫機能のあるものは、熱機器の正面にはおかないなどである。

3.5 領域の知識の追加

対象とする業種や食数によって、前節で示した制約のうち典型的な制約が存在する。これを業種と食数ごとに分類してテーブルとして持つ。

各々のテーブルの機能は、以下である。

- (1) 機器テーブル ゾーンごとに必要な機器を整理したものの。配置の際にサイズの変更のために、削除

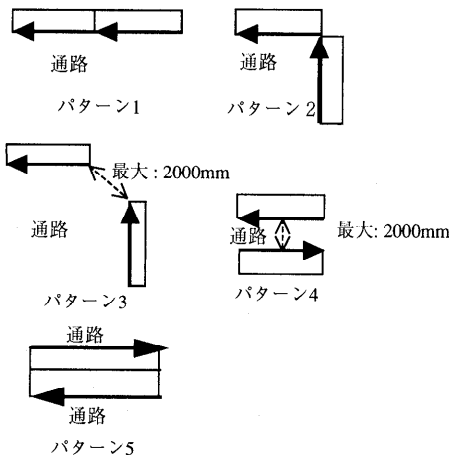


図3 同一ゾーンと見なす列間の関係
Fig. 3 The relation between LINE that represent the same zone.

グループをゾーンと呼び、下処理、熱調理、冷温調理、盛付、洗浄、調理具格納、冷蔵などという名称がある。

各々の機器はベクトルで表現される配置基準線上に配置され、隣接して1列で配置される同一ゾーンの機器からなるベクトルを「列」と呼ぶ。また、同一ゾーンに存在する機器は図3の関係満足する「列」上にある必要がある。図4は、同一ゾーンに属する機器配置の一例である。各々の列が図3の関係のうちいずれかを満足している。列を表すベクトルは、配置基準線と同様にベクトルの方向の右側が機器の配置エリア、左側が通路である。

表2 配置位置テーブルの例 (和食, 100 食の例)
Table 2 Example of position table (Japanese, capacity 100).

	配膳	下膳	搬入	洗浄	下処理	熱	調理	...
配膳			X	隣				
下膳								
搬入				隣				
洗浄		隣			X			
下処理						隣		
熱					近			
調理						隣		
...								

と選択の番号がついている。表1は、和食, 100 食の厨房の例である。始めに配置候補として選択されるものが、選択番号の1であり、レイアウトの途中で、削除フラグの順番に従ってレイアウトが行われる。サイズの変更などは、始めにそれまで選択されているものを削除して、新しい物を選択することになるので、同一の番号がついている。XXとあるのは、これ以上は、変更できないことを示す。

ゾーンにまたがって連続的な番号がついているのは、始めに選択する機器の幅の合計値を配置基準線の長さの合計値の一定割合以下に抑え、レイアウトをやりやすくするためである。

配置の際の同一ゾーン内での機器サイズ変更は、ゾーン内で番号の小さいものから順に行われる。

- (2) 配置位置テーブル 各ゾーン間の位置を先に示した3つの位置関係で示す (表2)。
- (3) ゾーン属性テーブル ゾーンごとの配置の仕方を表現する。先に示した関係で表現する。

3.6 おおまかな配置

ここでは配置アルゴリズムについて示す。以下の説明では、機器テーブルのゾーンの項目から配置対象ゾーンの一覧 (ゾーンリストと呼ぶ) が、配置位置テーブルから制約条件集合が得られているとする。

我々の配置アルゴリズムの特色は2つある。(1) 列からなるゾーンレベルでの配置と列の中の機器配置という2つの階層の配置を融合していること、(2) 図5のようにゾーンレベルの配置を2つの部分に分けて行っていることである。なお、図5では配置基準線を省略して表記しているが、実際に各ゾーンは、配置基準線に沿って配置される (図4参照)。

このうち(1)については、配置アルゴリズムの中で詳しく示すので、(2)について始めに説明する。2つに分ける理由は、ゾーンを1つずつ配置する場合、各々の局面で最適と思われる配置をしても、全体としてバ

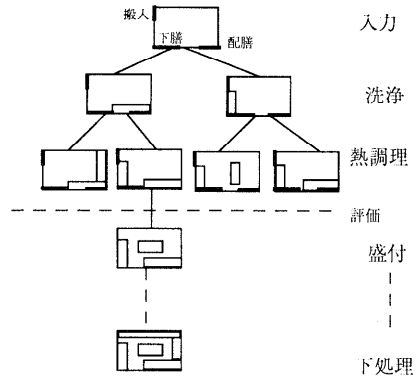


図5 ゾーン配置のための探索木
Fig.5 Search tree for the zone layout.

ランスの悪い配置が行われる可能性があり、これを避けるためである。

実際には、図5中の点線までの前半で最もレイアウトの質に影響しそうな部分の全解に近い候補だし、バランスのとれた良い部分配置を行う。全解に近いという意味は、各ノードにおける生成される候補の数を一定数に制限し、計算時間を一定の範囲に抑えている。また、点線より下の部分は、候補の質にはあまり影響しないので、必要最低限のチェックをして、残りを配置する。点線以下のレイアウトプロセスで、全解に近い候補を出さないのは、計算時間を短くするためである。

3.6.1 隣関係による配置

ここで配置するゾーンは、「隣」関係を持つゾーンのみである。一般に、「隣」関係 (特に出入口と) の制約を持つゾーンは、配置に影響を与えるものが多く、始めに配置することが望ましい。

以下では前半部分 (図5中の点線より前) の配置アルゴリズムを図6に示す。

Step 0とStep 6は、探索木の横方向の探索を行うためである。配置の初期段階で利用できる「隣」関係は出入口とのものであるので、Step 1でまず、出入口と「隣」関係を持つゾーンを選択して、配置が進むにつれて、既配置ゾーンとの間の「隣」関係を持つゾーンを選択するようにしている。

Step 2では、選択したゾーンに関係のある制約 (隣, 近, 隣接しない) のうちで、出入口と既配置のゾーンと関係のあるものを取り出す。

その後、Step 3で探索の際の候補数の広がりをも一定数にして、複数のレイアウト候補を作成するビームサーチを行う⁴⁾。

ここでは、Step 1で選択の基準となった「隣」関係を満足するような起点を選択するとともに、他の「隣」

関係も満足させるために、レイアウト上で機器を配置すべき点を配置基準点として設定する。この始点の設定と配置基準点の設定でゾーンレベルの配置は終了である。

次の Step 4 以降で機器レベルの配置を行う。起点からベクトル（未配置の配置基準線）に沿って、機器を配置していく。配置の際に考慮するのは、機器の幅のみである。この際、同じベクトル上にそのまま機器を配置していくのか、それとも正面や、他のベクトルに移るのかなど（図3参照）は、ゾーン属性を利用して決定する。たとえば、熱調理機器などは図3の(a)のように、長く一列に配置されるが、盛付けゾーンなどは、図3の(e)形式になるように機器を配置する。

実際の機器配置においては、ゾーン属性に従って配置できないケースもあるので、その際は、Step 4の

- 【「隣」関係を持つゾーンがなくなるまで以下の処理を行う】
- (Step 0) 途中配置結果のうちの1つを選択（スタート時は入力条件）
- (Step 1) ゾーンリストから「隣」関係を持つ未配置のゾーンを1つ取り出す（以下配置対象ゾーンと称す）。取り出す際には、出入口と「隣」関係を持つもの、すでに配置されているものと「隣」関係を持つものを優先させる。
- (Step 2) 配置対象ゾーンに関する制約条件を制約条件集合から取り出す（以下対象制約集合と称す）。ただし、他のゾーンとの関係については既配置のゾーンとの関係のみ取り出す。
- (Step 3) [ゾーンレベルの配置]
対象制約集合の中の「隣」関係を利用して、配置対象ゾーンを配置するための起点を決定する（ただし、すでに配置を試みた起点は使わない）。起点決定に利用した以外の出入口や、既配置ゾーンに「隣」関係の制約があれば、各々の候補の起点と同一のベクトル上、もしくは、このベクトルと「隣」関係を満足する点（配置基準点）を設定する。複数あれば、複数設定する。
- (Step 4) [機器レベルの配置]
各々の起点を配置の始点として、配置ゾーンのゾーン属性と機器間の制約を満足し、配置基準点を含むように、対象ゾーン内の機器の配置を試みる。
- (Step 4.1) 配置できないときは、以下を順に実施する。
- (Step 4.1.1) 機器テーブルを利用して、含まれる機器の縮小を行う。
- (Step 4.1.2) 同一ゾーン内の既配置機器との入れ換えを行う。
- (Step 4.1.3) 同一ゾーンの既配置機器が含まれるベクトル（列）と「隣」関係にあるベクトル上に配置を試みる。
- (Step 4.2) 対象ゾーン内のすべての機器が配置ができたか？
- (Step 4.2.1) 配置できない→Step 3へ
- (Step 4.2.2) 配置できた→Step 5へ
- (Step 5) 規定数までの配置候補ができたか？
- (Step 5.1) できない→Step 3へ
- (Step 5.2) 配置できた→Step 6へ
- (Step 6) 途中配置結果は他にもあるか？
- (Step 6.1) ある→Step 0へ
- (Step 6.2) ない→途中配置結果を1つ下のレベルに下げてStep 0に戻る。

図6 「隣」関係による配置アルゴリズム

Fig. 6 Layout algorithm by "close to" relation.

ように、機器の縮小（サイズの小さな機器の選択）を行ったり、他の配置基準線上に配置する。また、ここは同一ゾーンの機器配置であるが、他のゾーンに含まれるものも含めて「機器間の配置位置関係」を考慮して配置する。そのため、Step 4.1.2のように、他の制約条件を壊さない範囲で、配置しようとしている機器を、現在、配置中のゾーンの機器の中ですでに配置済みの機器と入れ換えてしまうという方法が選択できる。

以上のように、始めに決定されるゾーンは、配置の起点と、機器をおく必要のある、配置基準点だけで表されるので、全体として図3の関係を満足させる必要はあるが、機器レベルでの配置はかなり自由に行うことができる。

3.6.2 配置候補の評価と「近」関係のみによる部屋の配置

ここでは、始めに前節までで得られた候補を評価関数を用いて順位づける。

評価関数は、「ゾーンのまとまり度（ゾーンが分割されていないか）」、「ゾーン配置属性の実現度」、「ゾーン内の隣接関係の強さの合計値（たとえば向かい合いの場合は、重なっている部分の大きい方が好ましい）」を総合的に評価する。

次のステップでは、配置順位に従って、以下の方法で残りのゾーンの配置を行う（図5の点線以降の処

- 【未配置のゾーンがなくなるまで、以下の処理を行う】
- (Step 1) 配置候補リストの中からすでに配置されているレイアウト案を1つ選ぶ。
- (Step 2) ゾーンリストから未配置の配置対象ゾーンを1つ取り出す。
- (Step 3) 配置対象ゾーンに関する制約条件を制約条件集合から取り出す。ただし、他のゾーンとの関係については既配置のゾーンとの関係のみ取り出す。
- (Step 4) 「近」関係を利用して、配置対象ゾーンを配置するための起点を決定する。
- (Step 5) [機器レベルの配置] 配置ゾーンのゾーン属性と機器間の制約を満足するように起点から機器を配置する。その際、起点決定に利用した以外の既配置ゾーンとの「近」、「隣接しない」関係を考慮する。
- (Step 5.1) 配置できない時は、以下を順に実施する。
- (Step 5.1.1) 機器テーブルを利用して、含まれる機器の縮小を行う。
- (Step 5.1.2) 同一ゾーン内の既配置機器との入れ換えを行う。
- (Step 5.1.3) 既存の配置ゾーン位置をずらすことで配置を試みる。
- (Step 5.1.4) 同一ゾーンの既配置機器が含まれるベクトル（列）と「隣」関係にあるベクトル上に配置を試みる。
- (Step 5.2) 配置できたか。
- (Step 5.2.1) 配置できた。→Step 2へ
- (Step 5.2.2) 配置できなかった。→Step 1に戻って別の候補を探す。

図7 「近」関係による配置アルゴリズム

Fig. 7 Layout algorithm by "near" relation.

理に相当)。残りのゾーンは、一般的には他のゾーンと「近」と「隣接しない」関係だけを持つものになり、図7で示すアルゴリズムを利用する。

図7では、Step 4でゾーンの配置の起点を決める。近関係においては、ゾーンレベルの配置は、この始点の決定のみである。次のStep 5で機器配置を行う。前半の「隣」関係による配置と異なり、すでに配置されている機器も多く、配置できない場合も多く発生する。そこで、サイズの縮小や同一ゾーン内の機器の入れ換え、「隣」関係による配置では行わなかった部分的な他のゾーンの機器の移動(専門家から獲得した典型的な移動パターンをルール化している)を行う(Step 5.1)。

もし、これらを行っても配置ができない場合には、図5の点線以降の処理のように、「隣」関係を利用して作成した別の候補を利用して配置をやり直す(Step 5.2.2)。

3.7 配置位置の決定

前節までのレイアウトに基づき、以下の条件を考慮しながら、配置基準線から600mm後ろ(壁、もしくは、中央部分なら中心線)に機器背面を隣接させるように機器を配置して最終的な配置案を作成する。

(Step 1) 中洲(中央部分)の端を描える。

(Step 2) 壁際のコーナーに機器をよせる。

(Step 3) ゾーン間のすきまを台で埋める。

これらにより、見栄えの良いレイアウトを導出する。

4. 業務用厨房設計システム NICE

以上のモデル化、アルゴリズムをもとに、我々が開発したものが業務用厨房自動設計システム NICEである^{5),6)}。

実装は、SUN SparckStation上のCommonLispで、必要に応じてライブラリを利用している。ゾーンのデータ表現のためのオブジェクト表現ライブラリ、配置基準線の導出のためのルールベースライブラリ、ゾーン配置のための探索木の生成と探索木のノードの管理機能を持つライブラリなどである。

また、NICEには、(a)設計条件入力用のエディタ、(b)設計プロセス表示用のモニタ、(c)選択機器の一覧の表示を含む設計結果の表示と修正用の簡易CAD、の3つがインタフェースとして付加しており、これらもオブジェクトを管理する機能を持つライブラリで実現してある。

設計条件入力用のエディタを使って、設計対象の厨房の設計条件である業種と食数や、厨房形状(図8)を入力する。厨房形状の中には、ドアやカウンター、窓といった壁の属性、さらに、ドアやカウンターの役

設計条件 和食 100食
厨房形状

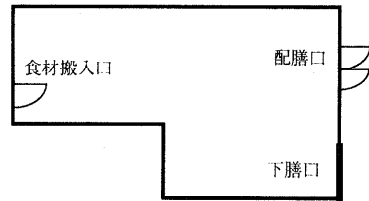


図8 設計条件の例

Fig. 8 Example of the input.

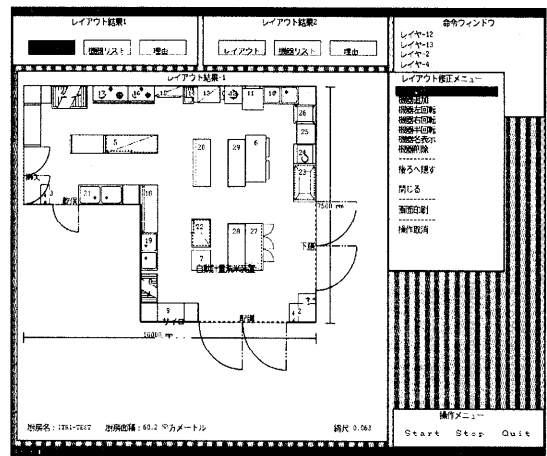


図9 設計結果の簡易CADによる表示

Fig. 9 Output by using embedded CAD system.

割(たとえば、配膳用であるとか、食材搬入用であるなど)も入力する。

設計結果は、簡易CADの出力として与えられ、図9のように、必要に応じて、機器の削除と追加、移動などができる。また、選択された機器は機器リストとして、出力される(図10)。

4.1 評価

我々はNICEを東京ガスのフードサービス部門のショールームに設置している。

NICEの利用目的はショールームに來訪したお客様に、第一案となるべき設計をすばやく提供することにある。

当初、NICEが作成する案に対する専門家の評価は、「最低限度のレベルに達している。配置に関しては、二級の厨房設備士程度である。そのままでは、実際の施工に結び付かないが専門家にとっての設計の叩き台にできる」というものであった。

現在までに数回、機器リストなどの更新を行い、約300例の厨房設計に利用された。利用者はシステム設計にも関与した一級厨房設備士である。

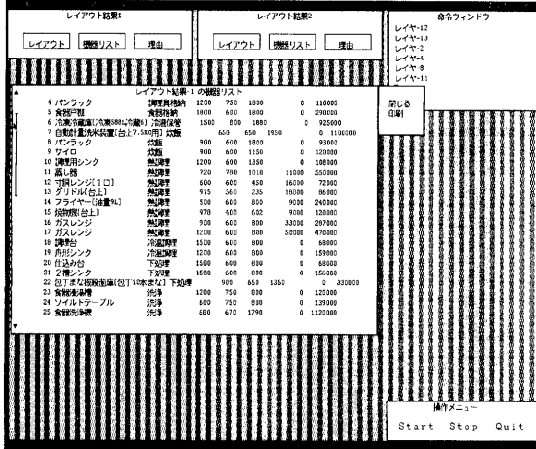


図 10 選択された機器リストの表示
Fig.10 Selected appliance list.

ショールームでの厨房設計自体の件数はもっと多いが、システムでは頻度の多い小規模な厨房とホテルなどの大規模な厨房を扱わないため、この数になる。小規模なものは、(1) 二次元的な配置だけでなく、機器上部の収納部などについて三次元的な配置を考慮しなければならない、(2) 設計が厨房室内にとどまらない、などの問題があり、設計の対象からははずしている。ただし、人手で配置しても設計時間が短いので実用上は問題になっていない。システムが扱っている図面は、原案作成（ラフスケッチ）でさえ1日から3日程度かかっているもので、対象になっていないものは、CADを使って最終案作成まででも半日程度で設計できる。また、大規模なものは、設計に1カ月程度かかるケースもあるが頻度が少なくシステム化のメリットがないので除外されている。

実行時間についてはできるかできないかを含めて、おおむね5分で答えを得られる（Sun SparkStation 2/75）。この程度の時間で計算が終了するのは、配置の基準線を事前に導出して、探索空間を大きく絞り込むことに成功しているからである。

また、答えが出せる割合は、表3のように、システム導入からの時間経過にともなって増加した。始めの1カ月は、与えられた問題の3割しかできなかったが、半年近くすると、5割以上になり、1年経過後は、7割近くになっている。

これは、始めのうちはお客様の言うとおりに制約条件を入れていくが、答えのでないケースを学習するに従って、利用者の方で、システムでできそうな条件かそうでないか判断して、できそうなときに制約をあらかじめ緩和して入力するようになったからである。

表3 設計システムの利用状況
Table 3 Experiment of the system.

	導入月	半年後	1年後	1年半後	2年後
1カ月あたりの例題数	31	18	25	15	12
1回で答えを得られた数	10	9	17	10	9
成功率 (%)	32	50	68	67	75

システム利用の習熟に従って利用者がシステムを使いこなせるようになったということである。

以下では、今までの運用結果から明らかになったNICEのメリットと問題点を示す。始めにメリットは以下である。

(1) お客様が自分の要望を出しやすくなった。

たとえば、システムの配置に満足せず、それがユーザが指定したドアの位置に依存していたとする。通常的设计のやり方では、ドア位置のような設計の根幹にかかわる点については、設計依頼を受ける段階で、設計者から変更は難しいなどの説明をする必要があり、たとえ不満に思っても、お客様自身からは言い出しにくい。しかし、システムで設計する場合、こういった変更も容易なので、事前の注意をする必要もなく、お客様は注文をつけやすくなる。しかも、専門家を交えて、お客様の目の前で設計条件を変更した設計シミュレーションが容易に行えるので、お客様の満足度も高い。

(2) 専門家が、お客様の具体的な要望を多く獲得できるようになった。

図面を前にして話しができるので、お客様が何を望んでいるかをより具体的に聞くことができるようになった。

(3) 教育システムとしての利用が可能になった。

設計の初心者には、システムを使って設計の基本を学ぶことができる。この場合、対象業種や、食数、厨房形状を変更させて、いろいろなシミュレーションが容易に行える機能が役に立った。

(4) 社内ノウハウの蓄積ができた。

たとえば、厨房設計に利用した機器テーブルなどによって、選択すべき機器の一覧と機器を変更する場合の優先度が明確になった。これによって、従来は、個人レベルでしか存在していなかった業種、食数ごとの機器リストを会社全体で共有できるようになった。

逆に問題点は以下である。

(1) 設計のためのテーブルの更新作業が繁雑。

新機種の導入にともなう、機器テーブル中の機器

の変更は、機器の入れ換えは簡単だが、削除や追加の番号づけが旧テーブルの作成者でも難しい。

(2) 設計結果について専門家でも解釈できない案が出力される。

システムは、専門家の設計の知識を100%反映したのではなく、ある部分では数学的に入るか入らないかの判断しかしていない。このため、専門家の直感とは異なる位置に配置されるケースが発生する。これらのケースを個別に潰していくことは、システム作成の手間を考えると現実的ではない。

(3) 改築などへの対応が困難。

このシステムは、新規の設計しか考慮していないが、現実には、部分的な改築も多い。しかしながら、配置基準線の上に改築前の機器類が載っている保証はなく、現在の設計方法では対応は難しい。

(4) 利用場所がショールームに限定される。

FAX 経由でやりとりをして、システムを利用することを試みたが、お客様の反応は良くないという問題があった。理由は、ショールームで利用した場合の、(a) 専門家の説明が聞ける、(b) 機器などは実物で確認できる、というサービスが得られないからであり、このような利用形態をとる場合にはこれらの点についてのシステムの支援が必要である。

5. おわりに

本稿では、スペースの有効活用、作業導線の確保という点で柔軟な配置を実現する自動機器レイアウトシステムの実現方法について示した。

我々の対象は、従来は取り扱われなかった形状の定まらないゾーン（機器群）を配置することと、ゾーンにまたがって存在する位置関係を考慮する必要があった。そのため、もともとの問題の探索空間が大きく、実用的な時間で解を得るために以下の方法をとった。

- (1) 経験則を利用した機器、ゾーン配置のための配置基準線の導出。
- (2) ゾーン間、ゾーン内の列間、列内の機器間レベルでの階層的配置メカニズム。
- (3) もっともらしい解を得るためのゾーンの2段階の配置。始めに制限付きの全解探索を行い、この中で良いと思われる候補についてのみ、残りを配置。
- (4) 配置の途中における機器の入れ換え、移動を行うためのゾーン配置と機器配置の2つのレベルの階層的レイアウト。

我々はこれらの方法で、柱などの凸凹のある部屋に

対して、数十個の機器を配置する「業務用厨房自動設計システム」を実現し、東京ガスのショールームで約3年間にわたり利用している。

システムの出すレイアウトは、(1) 配置した機器を使って実際に作業するための動線を考えたレイアウトを導出している、(2) 設計速度も実用的である、この2点から有効であるとの評価を得た。

以上の結果から、我々の実現した配置方法は、実用性の面からみても有効であることを明らかにした。しかしながら、システムを大きく修正することなく、3年間にわたって利用できているのは、利用者がシステムの不備を補っているという事実もあり、より利用範囲を広げていく意味では、この利用者の判断もシステムに組み入れることを検討すべきであろう。

謝辞 日頃、自動レイアウト作成システムの実現および論文作成に関して様々なご指導をいただいている東京理科大学理工学部の溝口文雄教授、大和田勇人講師に謹んで感謝いたします。また、業務用厨房自動設計システム実現にあたり、知識の提供、システムのテスト、運用にご協力いただいた高橋第一級厨房設備士、中谷第一級厨房設備士に感謝いたします。

参考文献

- 1) 厨房設備士会（編）、厨房設備必携（1986）。
- 2) Enomoto, H., et al.: Development of Office Planning Expert System, *Proc. 4th Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, p.248 (1991).
- 3) Flemming, U. and Coyne, R.F.: Planning in Design Synthesis, Abstraction-based LOOS, *Applications of Artificial Intelligence in Engineering V*, Vol.1, pp.91-111, Springer (1990).
- 4) Barr, A. and Feigenbaum, E.A. (編)、田中、淵（監訳）：人工知能ハンドブック、第1巻、pp.445-447 (1983)。
- 5) 本多、横山、加藤：業務用厨房レイアウト自動設計システムの開発、大阪ガス株式会社技術シンポジウム要項集 (1991)。
- 6) Honda, K., et al.: A Knowledge-based Design System for the Restaurant Kitchen Layouts, *Proc. 2nd Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*, pp.32-39 (1992).
- 7) Honda, K. and Mizoguchi, F.: Constraint-based Approach for Spatial Layout Planning, *Proc. 11th Conference on Artificial Intelligence for Applications*, pp.38-45, IEEE Computer Society (1995).
- 8) Pfefferkorn, C.: A Heuristic Problem Solving Design System for Equipment or Furniture Layouts, *Comm. ACM*, Vol.18, No.5, pp.286-

297 (1975).

- 9) Watanabe, T., et al.: Design of an Expert System for Computer Room Layout, *Trans. Information Processing Society of Japan*, Vo.26, No.5, pp.926-935 (1985).

(平成8年11月13日受付)

(平成9年6月3日採録)



本多 一賀 (正会員)

昭和38年生。昭和63年東京理科大学理工学研究科経営工学専攻修士課程修了。同年東京ガス(株)入社。現在インフォメーションテクノロジー研究所主任研究員。人工知能およびインターネット関連技術を活用したインテリジェントシステムの研究開発に従事。平成7年6月より平成8年7月まで東京ガスWebマスター。ACM, AAAI会員。



横山 透 (正会員)

昭和35年生。昭和59年慶応大学理工学研究科管理工学専攻修士課程修了。同年東京ガス(株)入社。情報システム部、インフォメーションテクノロジー研究所でエキスパートシステムおよびマルチメディアシステムの研究開発に従事。平成4年7月より(株)ティージー情報ネットワーク出向。マルチメディアCAIシステム、オブジェクト指向技術によるコンサルティング業務の営業を担当。現在、同新分野営業部課長。