

文書自動レイアウトシステムにおける図表配置候補生成方式

福井 美佳[†] 山口 浩司[†]
土井 美和子[†] 岩井 勇^{††}

文書の自動レイアウトを行う DTP (Desk Top Publishing) システムにおける、図表配置の複数候補生成方式を提案する。本方式を用いて、妥当な候補を複数生成し、適切な順序でユーザに提示する提案型インタフェースを実現した。従来の文書構造抽出技術を用いた自動レイアウトシステムでは、図表の配置を一意に決定するので、頁の上下どちらに置くか、図表同士を並べるか離すか等の、ユーザの好みを反映できなかった。提案型インタフェースの付加により、ユーザは意図にあったレイアウトを最少の操作で選択できる。本方式では、文章中の参照語句の位置や、図表の大きさ等の状況に応じて、図表配置候補を複数生成する。次に、各候補の配置後の状態を予測し、制約条件にあわない候補を変更・削除する。最後に、多くのユーザに支持される候補を優先するよう提示順序を決定する。本方式を用いて生成される候補とその提示順序の妥当性を確認する評価実験を行った。提案型インタフェースを用いて、被験者 20 人が二つの評価文書の全頁 (計 24 頁) について好みの図表配置を選択した結果、86% の配置に関して本システムの候補が受け入れられた。残りの 14% はユーザが独自のレイアウトを指定した。この結果に基づき候補生成方式を改良した。再評価を行ったところ、候補の受け入れ率が 95% と向上し、有用性を検証できた。

A Generation Method of Figure/Table Allocation Candidates on an Automatic Document Layout System

MIKA FUKUI,[†] KOJI YAMAGUCHI,[†] MIWAKO DOI[†] and ISAMU IWAII^{††}

We present a method for generating figures/tables allocation candidates. The figures/tables allocation is one of the most difficult problems in the document layout processing. Using the method and a logical structure extraction technology, we have developed an automatic document layout system. The document layout system allows the user to select the most preferable allocation from several candidates. The system creates figures/tables allocation candidates based on various allocation rules and logical, physical and aesthetic constraints. The system suggests these candidates to the user in order of their priorities. We made evaluation experiments by 20 subjects on 2 Japanese technical documents including a total of 24 figures/tables allocations. At the first experiment, subjects accepted 86% of the generated allocations. After improving, the percentage of acceptance increased to 95%. These results show the effectiveness of the method. The system runs on a SUN workstation and a practical Desk Top Publishing (DTP) system.

1. はじめに

DTP (Desk Top Publishing) システムは、WYSI-WYG (What You See Is What You Get) の概念を用いたインタフェースにより、専門家でなくともイメージどおりの文書レイアウトを可能にするものである。しかし現状は、ユーザがレイアウトのために指示をひとつひとつ与える直接指示型のため、高機能にな

るにつれ操作が複雑になるという問題が生じている。一部の DTP システムや LaTeX に代表されるマークアップ言語は、スタイル情報の分離によりレイアウトに関する操作を軽減する。しかし、一文ごとに論理構造 (標題・著者名・章・節などの階層関係や参照関係) を指示する手間は残る^{1),2)}。

これらの問題を解決する方法として、文書中の論理構造を抽出し、抽出した構造とレイアウトに関する知識を用いて、レイアウトを自動で行うものがある³⁾⁻⁶⁾。Peels らの開発した COBATEF (a context-based text formatting system)³⁾ は、べた書き文章の論理構造を形態的特徴により自動的に抽出し、論理構造に基づいて各文のフォーマットを決定する。

[†] (株)東芝 研究開発センター 情報・通信システム研究所
Communication and Information Systems Research
Labs., R&D Center, Toshiba Corporation

^{††} (株)東芝 情報処理・機器技術研究所
Information Systems Engineering Laboratory,
Toshiba Corporation

COBATEF が文章のみを対象とするのに対して、図表の配置を含めて自動で行うシステム^{4),5)}がある。文章中の図表への参照表現に注目し、図表の参照関係を含む論理構造を自動抽出し、レイアウト知識に基づき自動的に図表の配置を決定する。これらの自動レイアウトでは、システムが一定の水準以上のレイアウトを生成するため、ユーザの手間を大幅に削減することができる。しかしユーザの好みに応じて図表の配置を変えることはできなかった。

我々は、ユーザの好みに依存する図表の配置決定を、提案型インタフェースにて行うことにより、最小限の操作で好みを反映できるレイアウトシステムを開発した。提案型インタフェースとは、妥当な候補を複数生成し順次提示することにより、ユーザが選択できるようにしたものである。本システムでは、以下の、図表配置の複数候補生成方式を採用した。(1)文章中の参照語句の位置や図表の大きさなどの状況に応じて、複数の図表配置候補を生成する。(2)各候補の配置後の状態を予測し、制約条件にあわない候補を変更・削除する。(3)多くのユーザに支持される候補を優先する提示順序を決定する。

本論文では、文書の自動レイアウトシステムにおける図表配置の複数候補生成方式を提案する。次章では、提案型インタフェースと、論理構造からのレイアウト構造生成、および、図表配置の複数候補生成方式を説明する。第3章では、本方式がユーザの好みの多様さに対応しているかを検証するために行った評価実験と改良、改良後に行った再評価実験について述べる。

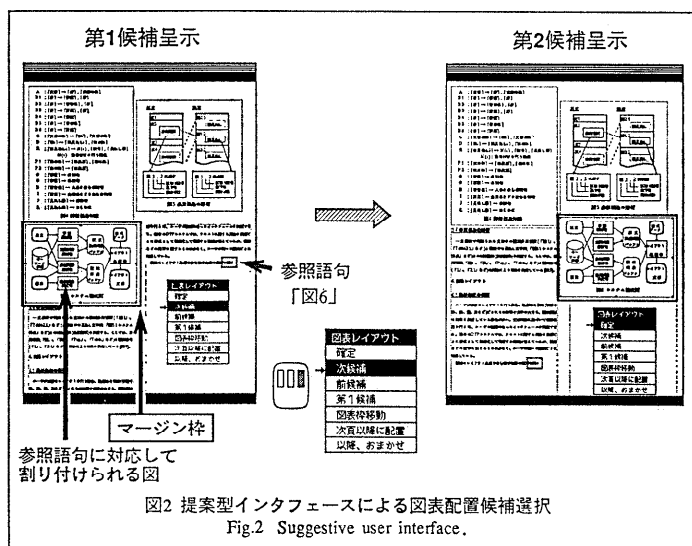
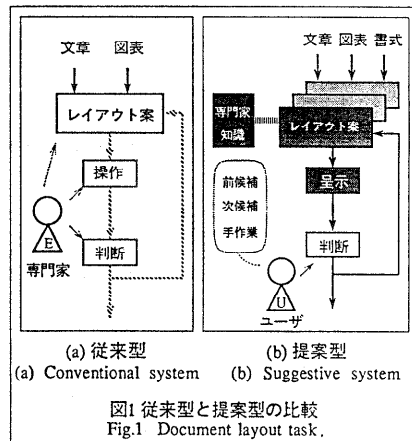
2. システムの概要

2.1 提案型インタフェース

従来の DTP システムは、図 1 (a) に示すように、専門家に近いユーザが、レイアウト案を考え、コマンドを操作し、得られた結果から判断して、さらに操作を繰り返しながら、試行錯誤的にレイアウトを行っていた。例えば、図表の参照箇所に基づく配置指定インタフェースとしてはアンカ機能がある。これは、文章中の参照箇所、対応する図表とその割り付け位置を、ユーザが隔に指定するものである。例えば、参

照箇所のすぐ下や参照箇所のある文章枠の外側等の位置へ、図表の割り付けが指示できる。得られたレイアウトが気に入らない場合は、満足するレイアウトを得るまで、指定の変更を繰り返す。このように従来型では、「はじめにユーザの指示ありき」となっていた。

これに対し提案型インタフェースは、図 1 (b) に示すように、システムが、レイアウトに関する知識と文書の論理構造に基づいて、レイアウト案を複数生成し、多くのユーザに好まれる候補から順に提示する。ユーザは、その中から対話的に選択し、レイアウト編集作業を進める。すなわち、「はじめにシステムの提案ありき」になっている。これにより、作業の効率を大幅に向上でき、システムの持つ知識とユーザの好みを



融合したレイアウトを生成することが可能になっている。

図2に、EWS上の提案型インタフェースを示す。ユーザは、各頁の文章枠に文章が流し込まれる様子を確認できる。まだ配置が決定されていない図表の参照語句が出現するたびに、参照される図表の配置候補が複数生成され、以下のように提案される。その都度ユーザが適宜選択する。

まず、参照される図表の第1の配置候補が、割り付けられた形でユーザに呈示される。呈示された候補がユーザの気に入らない場合は、マウスを用いてメニュー項目から「次候補」を選択すれば、第2の配置候補が呈示される。このようにして、「次候補」「前候補」「第1候補」などのメニュー項目により、候補の閲覧・比較を行い、好みのレイアウトが表示されたところで、「確定」を選択する。候補中にユーザの好みのレイアウトがない場合は、「図表枠移動」を選択して、ユーザがマウスで図表位置を指示できる。

2.2 論理構造に基づくレイアウト構造生成

本システムの文書構造は、文章および図表の階層関係や参照関係で表される論理構造と、頁枠・文章枠・図表枠などをノードとするレイアウト構造を持つ。論理構造とレイアウト構造の分離は、ISOのODAでの文書モデルでも規定されている⁷⁾。

図3に本システムの構成図を示す。入力文書から自動的に論理構造を抽出することにより、構造化を不要にする。図表の参照関係は、文章中の「図1に示す」といった参照表現と、参照される図表の見出しの表記との対応により求められる。抽出された論理構造と、ユーザが指定した書式に従って、レイアウト構造を生成する。

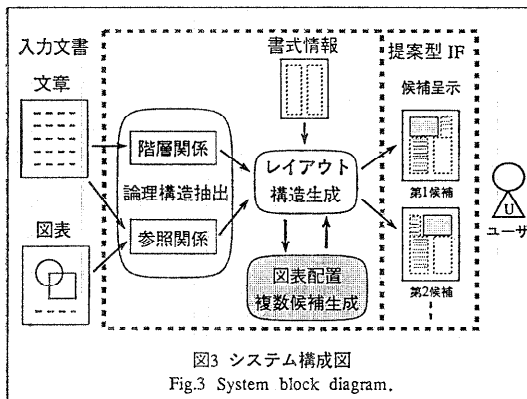
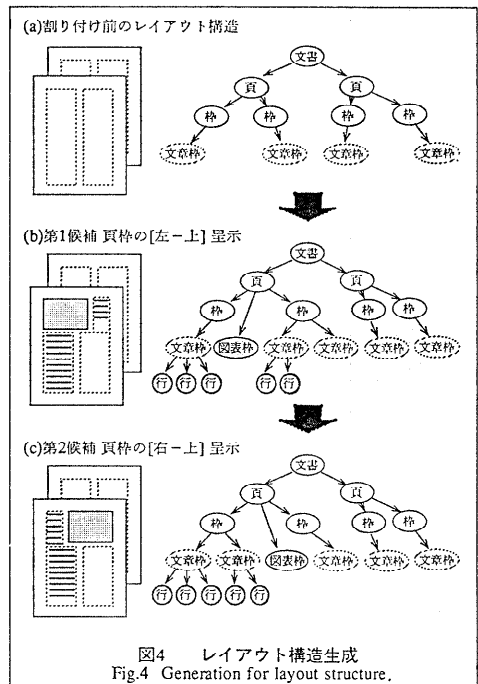


図4(a)は書式から構築された割り付け前のレイアウト構造の一例である。この初期レイアウト構造の各文章枠に対して、行枠が生成され、各文は抽出された論理属性(標題・著者名・章見出し・章段落など)に対応する書式情報(フォント種類・サイズ・インデント・文字ピッチ・行ピッチほか)に基づき、行枠に割り付けられていく。

図表の参照語句が割り付けられると、次節に示す方式で図表の配置候補が複数生成される。生成された各候補をユーザに呈示するため、候補に示されたレイアウト構造中の位置に図表枠ノードを組み込む。その際、文章枠と図表枠が重ならないという制約条件に基づき、図表のマージン枠をよけるように文章枠が変形される。マージン枠とは、図表が文章に近すぎて読みにくくならないように、図表の周囲に一定の余白を保つための枠である(図2参照)。文章枠の変形に伴い、行枠および文字の割り付け直しが行われる。

図4(b)は、第1候補である頁枠の[左-上]が組み込まれたレイアウト構造の様子である。また、図4(c)は第2候補の[右-上]が組み込まれた状態である。呈示された候補のうち、ユーザが選択したレイアウト構造が残り、続きの文章が流し込まれていく。こうして、各図表ごとに配置を決定して行き、最終的に



全ページのレイアウト構造が得られる。

2.3 図表配置の複数候補生成

図5に本システムにおける複数候補生成方式を示す。

(1) 第1次図表配置候補生成

図表は自由な位置に配置されることは少ない。頁枠や文章枠に上下左右の端を揃えるか、他の図表の横や下に並べて置くのが普通である。そこで、以下の手順で図表配置の候補を生成する(図5(1)第1次図表配置候補)。

(a)レイアウト構造中から、図表を割り付けるとき基準になる割り付け対象として、頁枠、文章枠、すでに割り付けられている図表枠を探す。(b)割り付けられる図表の縦横の長さが、割り付け対象の半分以下、ほぼ同じ、長い、のいずれであるかを判定する。(c)図6の生成ルールを用いて、割り付け対象の種類と、(b)で判定した縦横の長さを条件に候補を生成する。候補は、枠内の上下・左右・中央、図表に対する場合は枠外右の上下や中央、枠外下の左右や中央など、割り付け対象との位置関係で記述される。

(2) 制約適用による図表配置候補絞り込み

第1次候補は機械的に生成された候補のため、文章枠と図表枠が重なるなど、レイアウト構造に整合しないものも含まれている。そこで、各候補の図表配置位置とマージン枠を計算し、図表配置後のレイアウト構造を予測する。この結果が、以下の物理的・論理的・美的制約条件を満たさない場合、文章枠やマージン枠を変更するか、候補そのものを削除する。

(a) 物理的制約

- 文章枠と図表枠が重ならない
- 図表枠同士が重ならない
- 図表枠が頁枠からはみ出さない

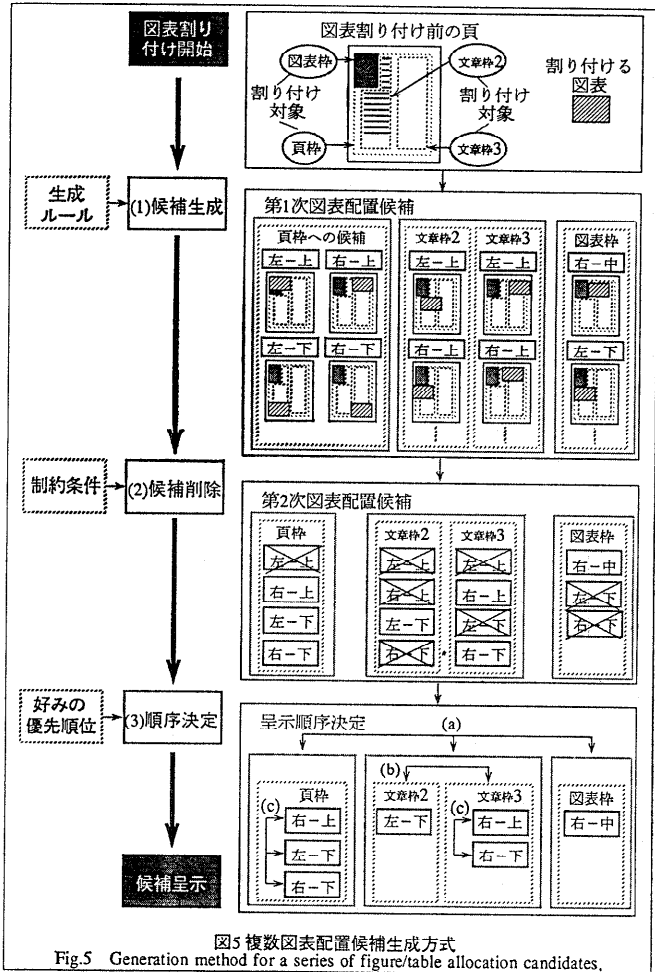


図5 複数図表配置候補生成方式
Fig.5 Generation method for a series of figure/table allocation candidates.

割り付け対象	条件 (^ : and)	候補1	候補2	候補3	候補4	候補5	候補6
頁枠	高さH ^ 幅 H	左-上	右-上	左-下	右-下		
	高さJ ^ 幅 H	左-中	右-中	左-上	右-上	左-下	右-下
	高さO ^ 幅 H	左-中	右-中	左-上	右-上		
	高さH ^ 幅 J	中-上	中-下				
	高さJ ^ 幅 J	中-中	中-上	中-下			
	高さO ^ 幅 J	中-中	中-上				
	高さH ^ 幅 O	中-上	中-下	左-上	左-下		
	高さJ ^ 幅 O	中-中	中-上	中-下	左-中		
文章枠	高さO ^ 幅 O	中-中	中-上	左-上	左-下		
	高さH ^ 幅 H	中-上	右-上	左-上	中-下	右-下	左-下
既に割り付けた図表枠	高さH ^ 幅 H	枠外右-上	左-枠外下	枠外右-下	右-枠外下		
	高さJ ^ 幅 H						

割り付け対象枠に対して割り付ける図表枠の大きさが半分以下 ... H(Half) 同じ程度 ... J(Just) 長い ... O(Over)

図6 図表配置候補生成ルール
Fig.6 Generation rules for figures/tables allocation candidates.

い

(b) 論理的制約

- 各図表が図表番号の順に配置されている
- 参照箇所より前の頁に図表が配置されない
- 図表が別種の文章が流れる文章枠と重ならない
- 図表が最初の文章枠の上部に重ならない

(c) 美的制約

- 図表の配置により文章枠が細かく分断されない
- 図表の配置により文章枠が孤立しない

このような取捨選択の結果が、図5(2)第2次図表配置候補である。

(3) 表示順序の決定

2.1 節に示した提案型インタフェースでは、候補を順次表示するので、ユーザの選択操作は表示順序に依存する。そこで、多くのユーザに支持される候補を優先する表示順序を決定する。

まず、図表枠への候補を最優先にする等の、割り付け対象の種類に応じた優先順位を決める。次に、文章枠や図表枠のように、同じ種類の割り付け対象が複数ある場合は、左上の図表への候補を優先する等の割り付け対象間の順序を決める。最後に、同じ割り付け対象への候補間の優先順位を決定する。基本的には、図6の生成ルールの記述順序に従うが、配置後の参照箇所の位置を予測し、上下どちらの候補を優先するか決定する。

(a) 割り付け対象の種類による優先順位

- 頁に文章と図表を割り付ける場合
図表枠 > 文章枠 > 頁枠
- 頁に図表のみ割り付ける場合
図表枠 > 頁枠 > 文章枠

(b) 同じ種類の割り付け対象ごとの優先順位

- 図表枠が複数ある場合
左上 > 右下
- 文章枠が複数あり参照語句が頁内にある場合
参照語句のある枠 > 文章の流れる順
- 文章枠が複数あり参照語句が前頁にある場合
先頭の文章枠 > 文章の流れる順

(c) 同じ割り付け対象への候補の優先順位

- 参照語句が頁の最後の方にある場合
下 > 上
- その他の場合(生成ルールの記述順序に従う)
上 > 下

3. 評価と拡張

3.1 評価実験

本システムがユーザの好みの多様性に対応するとう目的に合致しているかを確認する実験を行った。図表配置の複数候補生成方式における(1)図表配置候補の妥当性、(2)表示順序の妥当性、の2点で評価を行った。(1)は生成された候補をユーザが選択した割合、(2)は各候補が選択された割合を尺度として評価することにした。

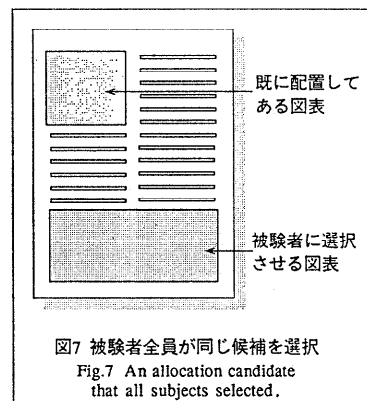
評価用に、ユーザが選択した候補番号などを記録する機能を追加した。被験者は文書作成経験のある技術者20人である。評価文書は、2文書(計24頁)で、頁ごとに、参照語句の位置、図表の大きさ、同じ頁内に既に配置されている図表の有無、図表がある場合の大きさや位置を変化させて、異なる状況を設定した。被験者ごとに、本システムの使用方法を説明し、練習を行ったのち、二つの評価文書のレイアウトを行った。その後、アンケート用紙の記入およびインタビューを行った。観察者は1名で、所要時間は練習も含めて、一人あたり30~40分程度であった。

3.2 第1次評価実験結果

被験者全員が同じ候補を選択したのは、24頁中わずか1頁(4%)だけであった。全被験者の選択が一致した頁は、図7に示す物理的制約条件が非常に強いものである。その他の物理的制約が厳しくない場合には、全ユーザが同一の候補を選択せず、ユーザの好みの多様性が確認できた。

(1) 候補の妥当性

図8は、候補選択率の累計を表すグラフで、細かい実線が、第1次評価結果を表している。被験者数(20人)×頁数(24頁)の全選択のうち、各候補の選択率を



累計していったものである。システムが生成した候補を被験者が選択した割合（候補選択率の合計）は86%になっている。残りの14%は、「図表枠移動」メニューにより被験者がマウスを用いて自分で図表の位置を決定した。この14%の内訳は、大部分が参照語句のすぐ下に密着して図表を配置する場合であり（図9参照）、アンカ機能として一般的なものである。

(2) 表示順序の妥当性

図10は、各候補の選択率を表すグラフで、白ぬきの部分が第1次評価結果を表している。選択率は候補の表示順序に従って低くなっていくが、第3候補(8.6%)と第4候補(10.6%)の選択率が逆転している。この現象は物理的な配置が類似する候補が生成されたために生じた(図11参照)。候補に類似したものが出現するのは、図11のように、割り付け対象の文章枠と頁枠の一端が同一であるときに、論理的な生成

過程が異なっても、結果として物理的に同じ配置になる場合があるためである。

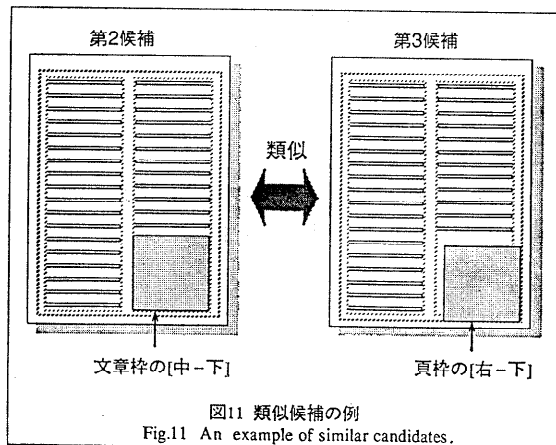
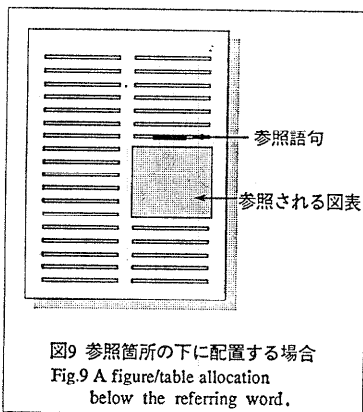
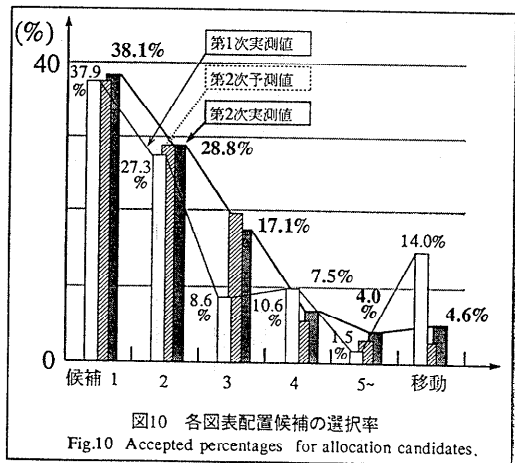
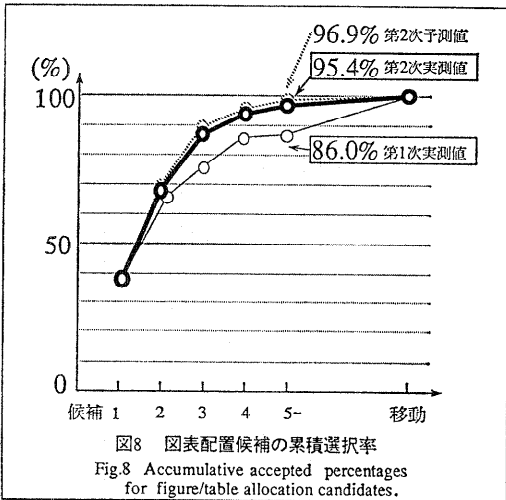
3.3 候補生成方式の改良

第1次評価結果(1)(2)に対応して次の改良を行った。

(1) 参照語句のすぐ下に図表を配置する候補生成評価結果より、文章枠より幅の狭い図表の場合、図9に示すような参照語句のある行枠に対する候補を新たに生成し、表示順序を決定する機能を追加した。

(2) 類似候補のグルーピング

類似した配置を別候補として生成しないようにするため、類似配置の候補をグルーピングする機能を追加した。すなわち、候補間の物理的な類似度を求め、類似度の高い候補をグルーピングし、グループ中から最も優先度の高い代表候補のみを呈示するようにした。これにより、呈示済みの候補と酷似する候補は、ユー



ずに表示しないようになった。

類似度として、二つの候補間での図表の配置関係を示す重複率(%)を用いた。

$$\text{類似度} = \frac{\text{重なる面積}}{\text{図表面積}} \times 100 (\%)$$

上式に示した、二つの候補の図表の配置位置の類似度が 95% 以上の時、類似関係にあるとみなす。ただし、参照語句のすぐ下に配置する候補は、上記の類似度を満足していても、マージン枠のつけ方が異なっている場合は、別の候補とみなすべきである。そこで、マージン枠の類似度が 99% 以上の時のみ、類似候補とする。

3.4 第2次評価実験結果

改良後、第1次評価実験と同じ手順で 20 名に対して、再評価実験を行った。図 8 の太線および図 10 の塗りつぶし部分に示すような候補選択率が得られた。図 8 に示すように、参照語句のすぐ下に割り付ける候補の追加により、候補中からの選択率の合計が第1次の 86.0% に対して 95.4% と増加している。また、図 10 に示すように、類似候補のグルーピングにより、候補選択率の逆転がなくなった。

図 8 の点線および図 10 の斜線部分は、改良によって得られる候補選択率を予測したものである。予測値と第2次の実測値はほぼ一致しているが、実測値の方がわずかに下回っている。原因としては、類似候補をまとめたことにより細かい位置を変更するために「図表枠移動」を使う機会が増えたこと、再実験時には前回と違う被験者が 7 名加わっていたこと、前回と同じ被験者でも好みが変わって別の候補を選択したこと、などが挙げられる。

そこで、前回と同じ被験者 13 名の選択した候補について好みの変化を追跡調査した結果、一人平均 11 頁 (24 頁中の 44%) で選択する配置が変化していた。2 回の実験の間に約 14 か月の間があった。前回の記憶は残っておらず、好みに従って選択がなされたと思われる、ユーザの好みは変化することがわかった。

3.5 考 察

改良により候補選択率が 95.4% となり (図 8)、候補の妥当性は許容範囲にあると考える。さらに改善するためには、細部が異なる類似候補を提示する方法が考えられるが、候補数が増加し提示順序の妥当性を悪化させる危惧がある。細かい違いにこだわるユーザにのみ類似候補を提示するため、ユーザごとに類似候補の判断基準を変更する必要がある。

提示順序の妥当性に関しては、改良後の第1候補の選択率は 38.1%、第2候補が 28.8%、第3候補が 17.1%、第4候補が 7.5% となった (図 10)、第1候補の選択率が比較的低い。現在のシステムは全ユーザに対して、同じ候補を同じ順序で提示しており、これ以上の改善は難しい。今後、各ユーザが実際に候補を選択する履歴を用いて好みを学習し、ユーザごとに候補の提示順序を切り替える等の改良が必要であろう。

4. おわりに

我々は、文章中の参照語句の位置や図表の大きさなどの状況に応じて、妥当な図表割り付け位置の候補を複数生成する方式を提案した。本方式を用いて、提案型ユーザインタフェースを持つ DTP システムを開発し、その評価を行った。その結果、86% の配置に関して本システムの候補がユーザに受け入れられることがわかった。また、ユーザにとって見分けのつきにくい類似候補が生成される問題もわかった。この実験結果に基づき本方式の改良を行い、再試を行った。候補選択率が 95.4% になり、提案した図表配置候補生成方式の有用性を定量的に検証できた。

本方式の課題として、候補選択率をさらにあげるために以下の方法が考えられる。

- 類似候補の判断基準をユーザごとに変更する。
- ユーザの好みを学習し、ユーザごとに候補の提示順序を切り替える。

今後、こういったユーザへの適応機能を試作し、有効性を検証する必要がある。

謝辞 本研究を進めるにあたり助言していただいた斎藤光男研究主幹、竹林洋一主任研究員に感謝いたします。また、忙しい研究活動の合間をぬって評価実験の被験者になってくださった、情報・通信システム研究所の研究者の方々に深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 山川ほか: OA 業界から見た DTP, 情報処理, Vol. 31, No. 11, pp. 1508-1517 (1990).
- 2) Lamport, L.: *LaTeX: A Document Preparation System*, Addison-Wesley (1986).
- 3) Peels, A. J. H. M. et al.: Document Architecture and Formatting, *ACM Trans. of Office Information Systems*, Vol. 3, No. 4, pp. 347-369 (1985).
- 4) Iwai, I. et al.: A Document Layout System Using Automatic Document Architecture Extraction, *Proc. of CHI '89*, pp. 369-374 (1989).

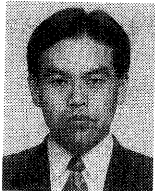
- 5) 野村ほか：報告書作成支援システムにおける図表配置方式，第 41 回情報処理学会全国大会論文集，4J-3，pp. 243-244 (1990).
- 6) 内田ほか：べた書き入力による文書清書の試み，情報処理学会第 32 回プログラミングシンポジウム，pp. 109-120 (1991).
- 7) 曾根原：ドキュメントアーキテクチャー標準化動向，情報処理学会研究会報告，DPHI-17-1，pp. 1-10 (1988).

(平成 3 年 11 月 18 日受付)
(平成 5 年 4 月 8 日採録)



福井 美佳 (正会員)

1963 年生。1986 年横浜国立大学工学部情報工学科卒業。同年，(株)東芝に入社。同社総合研究所情報システム研究所にて文書処理およびプレゼンテーションシステムの開発を通じて，ヒューマンインタフェースの研究に従事する。現在，研究開発センター情報・通信システム研究所所属。



山口 浩司 (正会員)

1963 年生。1985 年九州大学工学部情報工学科卒業。1987 年九州大学大学院総合理工学研究科情報システム学専攻修士課程修了。同年(株)東芝に入社。総合研究所情報システム研究所にてマン・マシン・インタフェース，文書処理システム，マルチメディアシステムの研究開発に従事。現在，研究開発センター情報・通信システム研究所所属。



土井美和子 (正会員)

1954 年生。1977 年東京大学工学部電子工学科卒業。1979 年同大学院工学系研究科電気工学専攻修士課程修了。同年(株)東芝入社。以来，同社総合研究所情報システム研究所にて，文書処理，コンピュータ・グラフィックスを中心としたユーザ・インタフェースの研究に従事。現在，同社研究開発センター情報・通信システム研究所第二研究所主任研究員。人工知能学会，計測自動制御学会，認知科学会，ACM 各会員。



岩井 勇 (正会員)

1949 年生。1972 年慶応義塾大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月(株)東芝総合研究所に入社。以後日本語処理，文書処理の開発に従事。現在，同社情報処理・機器技術研究所開発第 5 部課長。電子情報通信学会会員。