

印刷業界の業務効率化に向けた 切り出し問題の適用事例

権田 夏月, 篠原 健一, 森永 智仁,
小松 伊織, 向田 一光, 橋本 雄士, 山中 寿登

大量の印刷を低コストで行えるオフセット印刷では、さまざまな現場の制約を考慮したうえで立体的な占有率最大化を目指す「面付け」という作業を行う必要がある。この作業は難易度が高く、熟練者でも長い時間を要することから、面付けを自動化するシステムが求められていた。本稿では、印刷工程およびその中で考慮する必要がある種々の条件について説明したのち、筆者らが開発した自動面付けシステムについて紹介する。

キーワード：組合せ最適化、切り出し問題、長方形詰め込み問題、ギロチンカット

1. はじめに

昨今のインターネットの普及や電子化の流れにより、紙媒体を主とした印刷物の需要は減少傾向にある。そのため大ロット印刷の需要が減少しており、印刷業界では Web to Print も駆使した小ロット印刷への対応が重要性を増している。

少量の印刷を素早く行うのに適した方法として、印刷会社においては、家庭用プリンターの超高性能版ともいえる、オンデマンド印刷が用いられている。

一方で、小ロットといえども 100 部を超えるような場合は、オフセット印刷（図 1）という手法を用いたほうがより安価に印刷できる。オフセット印刷とは、印刷したい図柄を保持した「版」（図 2）を使用する印刷技術の一つである。版の作成にはある程度の時間やコストが必要であるが、一度版を作成すれば高解像度の印刷が可能となるほか、スタンプのように何度も使うことができることから、印刷部数が多い場合は 1 部当たりの単価はオンデマンド印刷よりも下げることができる。

版はある程度の大きさがあるため、効率よく印刷を行うためには版を埋め尽くすように印刷物を配置する必要がある。この作業は「面付け」と呼ばれ、小ロット印刷の場合は、複数の印刷物を適切に面付けすることで低コストかつ効率よく印刷を行うことが可能となる。

しかし、面付けには多くのルールが存在するほか、印刷時、あるいは印刷後の工程も意識した面付けを行わなければ、それらの工程においてスムーズに作業を行うことができない。これらをすべて考慮しながら効率の良い印刷物の組み合わせを模索することは容易ではない。新人が習熟するまでにある程度の期間を必要



図 1 オフセット印刷機



図 2 オフセット印刷に用いる「版」

ごんだ なつき, はしもと たけし, やまなか ひさと
株式会社構造計画研究所オペレーションズ・リサーチ部
〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3
しのはら けんいち, もりなが ともひと,
こまつ いおり, むかいだ かずみつ
株式会社帆風プリプレス本部
〒162-0822 東京都新宿区下宮比町 2-29 飯田橋 NK ビル

とするのはもちろん、熟練者でも日々の面付けには長い時間を要しているため、面付け人員を一定数確保する必要がある。さらには、新人と熟練者では出来上がりの良さに差があり、顧客目線でみると品質のムラにつながってしまう。逆に言えば、面付けの作業時間短縮による新たな生産力の創出や、属人性の排除による品質の平準化ができれば、サービスレベル向上につながる。

以上の理由から、面付けにおける種々の制約に対応しながら、効率の良い面付け結果を自動で高速に出力するシステムが求められている。本稿では、印刷物の面付けにおける概要を述べた後、筆者らが開発した自動面付けシステム（以下、本システム）および効率の良い面付けを達成するアルゴリズムを簡単に記述する。

2. 背景

2.1 帆風社概要

株式会社帆風 [1] は、紙媒体にとどまらず、ウェアやボールなども含めた多種多様な媒体への印刷物を扱う総合印刷会社である。人手頼みになりやすい印刷業界において、2017年から作業スペースのレイアウト変更、ロボットによる自動梱包・搬送・積載（図3）に取り組み、作業工程の自動化・効率化を積極的に追求してきた。また、営業・Web・店舗展開により小口の商業印刷（カタログ・チラシなど）の顧客に強みをもっているため、面付けの重要度が特に高い。しかし面付けに関しては、手動での面付けを支援するツールは導入していたものの、自動化までは実現できていなかった。そこで、面付けの自動化によって、生産コストの削減、より付加価値の高い作業への注力、属人性の排除といった目的を達成しようとしていた。



図3 自動積載装置

2.2 面付けにおける主な考慮事項

面付けにおいては、主に以下の項目を考慮する。

- 印刷物・紙・版（印刷機）などの性質
- 印刷のロス削減
- 後工程への配慮

それぞれについて、以下に詳説する。

2.2.1 印刷物・紙・版（印刷機）などの性質

各印刷物は、それぞれ特定の紙の種類で印刷することが定められている。この紙種が異なる場合、同一の版に面付けすることはできない。

また、各紙種に応じて、対応できる印刷機、ひいては版の規格が変化する。加えて、対応できる印刷機が複数存在する場合、それらのうちどれを使用するか、版の規格や印刷機の稼働状況を考慮しながら決定する必要がある。

2.2.2 印刷のロス削減

印刷のロス削減は、より具体的には印刷用紙の節約や、版を構成する資材の節約を指す。後述するが、印刷用紙の節約と版の節約は相反する要素であり、これらの両立が求められることが、面付けを困難にする最たる要因である。

印刷用紙の節約は、「印字されていない範囲の削減」と「不必要に印刷される印刷物の削減」から構成される。

印刷物の面付けにおいては、版に印刷物を平面的に配置する。そのため、平面的な占有率を高めることで、「印字されていない範囲の削減」を達成することができる。

また、印刷物にはそれぞれ印刷部数が設定されており、印刷部数の異なるものを面付けしてしまうと、その差（部数格差）の分だけロスが発生する。たとえば印刷部数100部の印刷物Aと1,000部の印刷物Bを面付けした場合、その版を用いて1,000部分の印刷を行うため、Aは差し引き900部余分に印刷され、ロスとなる（図4）。すなわちロスを抑えるために、できるだけ印刷部数の近い印刷物同士を面付けすることが求められる。しかし時には、ほかのどの印刷物と組み合わせても部数格差が大きいという印刷物も生じてしまう。このようなときは、印刷物を適宜「丁付け」することで対応する。丁付けとは、印刷物を一つにまとめ均等に分割することである。たとえばある印刷物を n 丁付けするとき、部数は $1/n$ 倍、面積は n 倍となる（図5）。この丁付けを駆使することにより、部数格差を減らし、「不必要に印刷される印刷物の削減」を達成する。

まとめると、印刷用紙の節約は、平面的な占有率向

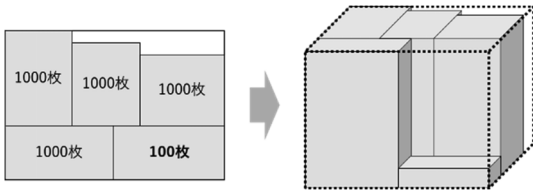


図4 不必要に印刷される印刷物

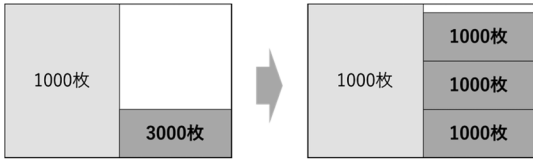


図5 丁付け

上と高さ(部数)の統一の両立, すなわち立体的な占有率向上によって達成される。

一方で, 版を構成する資材の節約は, 使用する版を削減することで達成される。これには, 平面的な占有率の向上はもちろん, 総面積の削減, すなわち丁付けの削減も必要である。

このように, 同じ丁付けという行為が印刷用紙の節約と版の節約に対し正反対に作用することで, 両指標が相反することとなり, 面付けの難易度を高めている。

2.2.3 後工程への配慮

顧客から依頼される印刷物には当然ながら納期が存在するが, 安定した印刷と効率の良い面付けの両立を図るためには, 生産現場のキャパシティを意識し, どれくらい先の納期のもを面付けするか, 日々考える必要がある。たとえば繁忙期では, キャパシティ内で必要な印刷物を印刷しきるために, 多少のロス覚悟のうえで納期に近いものだけを優先して面付けする。逆に閑散期では余裕が生まれるため, 納期が遠いものも合わせて考慮することで選択肢を広げ, 面付け効率を高める必要がある。

印刷後, 各印刷物は裁断機にて裁断されるが, 裁断機の刃は版の長辺を優に超えるほど長く, 紙の端から端まで一太刀で裁断することとなる。このような裁断方法における制約をギロチンカット制約(図6) [2] と呼び, これはアルゴリズムを考えるうえで重要な制約となる。

さらに, 折り曲げる, ミシン目をつけるといった加工工程も必要である場合は, それに応じた考慮事項が追加される。たとえば, 加工時に紙が割れることを防ぐために, 紙の繊維の方向と加工の方向が適切に並ぶ

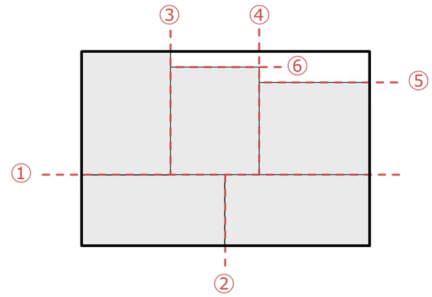


図6 ギロチンカット制約(番号はカット順)

ように面付けする必要がある。

上記のような, 業務遂行のために必須な考慮事項のほかにも, 作業ミスを生発しないための考慮も必要となる。たとえば, よく似た印刷物を同じ版に面付けすると, 取り違えの恐れがある。逆に, 丁付けした印刷物は同一版内に隣接させた状態で面付けしなければ, まとめ忘れも発生しうる。また, 裁断しづらい配置にしてしまうと, 裁断ミスから刷り直しとなってしまう可能性もある。

面付けは印刷工程の上流に位置するだけに, 多くの工程に影響を及ぼしうる。逆に言えば, 面付けは後工程すなわち生産現場を変えることのできるポテンシャルをもつということでもあり, これも面付けの自動化が求められる理由の一端である。

3. 印刷工程のモデル化

3.1 概要

印刷物の情報, 版の情報を入力条件として, 印刷物・紙・版(印刷機)などの性質, 印刷のロス削減, 後工程への配慮といった条件を考慮しながら面付け案を自動で作成することが, 本システムの目的である。面付けにおいては, ギロチンカット制約など, 複雑な各種条件を守りながら効率の良い解を得る必要がある。そのため本システムでは, 構造計画研究所が保有する切り出しソフトウェア「KKE/AdNeS」 [3] をコアエンジンとし, ヒューリスティックな手法を用いながら全印刷物を段階的に面付けすることで上述の目的を達成した。

3.2 操作手順概略

面付けシステムを構築するにあたり, 計算上の課題となる主な項目として以下が挙げられる。

1. 膨大な印刷物から面付け対象を選択する。
2. 部数格差を抑える。
3. 必要に応じ丁付けする。
4. 版の数を抑える(丁付けを抑える)。

5. ギロチンカット制約を満たす.
6. 回転を許容する.
7. 平面的な占有率を高める.

これらすべてを達成しながら実用に耐えうるような計算時間で解を導出することは困難を極める. そのため, 本来面付けは立体的な占有率最大化を目指すものであるが, 本システムでは立体的な占有率を担保する部分と平面的な占有率を最大化する部分とにあえて分割した. 具体的には, 立体的要素である 2~4 を満たす印刷物の集合を作成し, その集合に対し平面的要素である 5~7 を考慮した計算を行うこととした. さらに, この操作を何度も繰り返すことによって 1 にも対応し, 最終的な解を得るシステムを構築した.

3.3 立体的な占有率を担保するロジック

立体的な占有率を担保する方法として, 特定の条件を満たす印刷物の集合を作成する, 「グループ化」という操作を用いた. 具体的な手順は以下のとおりである.

1. 印刷物のプールから一つの印刷物 (主役) を選択する.
2. 主役から見て許容可能な部数格差の範囲内で印刷物をグループ化する.
 - ・グループ内では, 部数格差のほか納期や紙の種類等々の条件がすべて満たされる.
3. グループに対し, 平面的な占有率を最大化するよう計算を行う.
4. 一定の平面的な占有率を確保できた場合, 主役および主役と同一の版に面付けできた印刷物について計算結果を確定しプールから取り除く.
5. 一定の平面的な占有率を確保できなかった場合, 配置を取りやめて主役の丁付け数を増やす.
 - ・丁付け数を増やした主役は必然的に部数が小さくなり, 丁付け前とは異なる印刷物とグループ化されるようになる.
6. 1~5 をすべての印刷物に対して繰り返す.

このような手順でグループ化を行うことで, 部数格差を抑えつつ, 丁付けを増やしすぎる (版を増やしすぎる) ことも防ぎ, 立体的な占有率を担保した.

3.4 平面的な占有率を最大化するロジック

3.4.1 目的関数

平面的な占有率を最大化する部分の目的関数 (f) は以下とした.

$$f = \text{平面的な占有率} - \text{カットライン数} \times \alpha \\ + \text{最大端材面積} \times \beta$$

α, β は重みづけ定数である. カットライン数はギ

ロチンカットを行う回数に相当し, これが少ないほど裁断が容易である. 最大端材面積は, ギロチンカットによって生じる端材のうち最も大きいものの面積である. 最大端材面積が大きいほど, 切り出し対象 (今回の場合は印刷物) 同士の間には不要な隙間がなく, 密に配置できていることを表す.

3.4.2 ロジック詳細

印刷物の裁断の性質上, 本システムではギロチンカット制約を満たしながら平面的な占有率最大化を目指した. 基本的なロジックは BL 法 (bottom left algorithm) [4, 5] に近いものとなっている. BL 法とは, 以下のような操作を行う手法である.

1. 配置対象をソートする.
2. BL 安定点を求める.
 - ・BL 安定点とは配置可能領域の中で配置対象を下方向または左方向に並進できないときの配置対象の左下の点の集合である.
3. BL 安定点の中で最も下, かつ同じ高さであれば最も左にある点を BL 点とする.
4. BL 点に配置対象を配置する.
5. 2~4 を繰り返し実施する.

一方で本システムにおける配置対象の配置手順は以下のとおりである.

1. 配置対象をソートする.
2. 配置領域に初めて配置対象を配置するとき, 最初の配置対象を, 配置領域の原点に回転を考慮しながら配置する.
3. 縦または横にギロチンカットを行い, 配置領域を分割する.
4. 分割された配置領域をソートし, 次に操作を行う配置領域を選択する.
5. 選択した配置領域の原点に相当する位置に, 未配置の配置対象のうちソート順が最も若いものを, 回転を考慮しながら配置する.
 - ・ただし, その配置対象が配置不可能な場合は次の配置対象について配置を試みる.
6. 3~5 を繰り返し実施する.

ギロチンカットにより配置領域が完全に分断されることから, それぞれの配置領域に対し配置対象が配置可能であれば, 各配置領域の左下の点は BL 安定点となる. したがって本アルゴリズムでは BL 安定点の探索が非常に容易であり, この点が BL 法と本アルゴリズムの大きな違いである. 具体的には 4, 5 の操作が該当する.

また, 本アルゴリズムでは, 配置対象や配置領域が

同一であっても、以下の要素によって解が変化する。

1. 配置対象の並び順
2. 分割された配置領域の並び順
3. ギロチンカットの方向（縦または横）
4. 配置対象の回転（回転なしまたは 90 度回転）

1 は BL 法でも一般に重要とされる要素であるが、2、3 はギロチンカット制約の存在する本アルゴリズムならではの要素である。なお、2 は BL 点以外の BL 安定点にも配置対象を配置しうることを意味する。4 は、回転を許容する場合は BL 法でも重要となる。

これらの要素を適切に選択することができれば解の精度が向上するが、実際には配置対象や配置領域の数やサイズなどによって適切な選択肢は大きく異なる。そこで本アルゴリズムでは、適切な選択肢をヒューリスティックに探索することで、最終的に精度の高い解を導出している。

4. システム導入結果

4.1 現在の概況

本システムは 2020 年から特定の紙の種類について運用が開始され、現在ではその紙の種類における全印刷物のうちおおむね 50% の面付けを担っている。本システムが出力する解のイメージを図 7 に示す。

4.2 具体的な効果

本システムの導入により、入稿量にもよるが、複数の担当者が 1 日中行っていた面付けを本システムでは 1 時間で行い、しかもその解をほぼ修正せずで使用できるようになった。これにより、当初目標としていた生産コストの削減、より付加価値の高い作業への注力、属人性の排除といった目的は、そのすべてが高いレベルで達成された。コスト削減については、本システムの導入前後で印刷のロスが約 36% 削減された。さらに

別の作業への注力については、約 37% 少ない人員で面付けを遂行できるようになり、ほかの作業に従事する人員を増やしている。属人性の排除については、本システムによる安定的な結果出力によって担当者への依存がなくなり、品質を平準化できた。

直接的な目標達成のほかにも、本システム導入によるメリットが存在した。例として、人為的ミスによる不良品が減少したことが挙げられる。これにより、コストはもちろん、刷り直しによるタイムロスや、信用を失うリスクまでも抑えられている。ほかにも、担当者が常に面付けし続けていた旧来の業務フローが改善された。案件数が増加しても担当者が追い込まれることがなく、むしろ本システムにとっては選択肢が増えて面付け効率向上を期待できるようになった。さらに、面付け結果を生産現場に伝達するタイミングが明確になり、生産現場が業務の見通しを立てやすくなった。

4.3 今後の展開

本システムの導入により当初の目標は達成したものの、改善の余地はまだ残っている。これは、本システムの構築にあたり、実業務を吟味し優先度の高い機能から実装することで、できるだけ早い段階での生産現場効率化を目指したためである。今後の実現対象とした項目について以下に示す。

4.3.1 適用範囲の拡大

現状では一部の紙の種類に限定して本システムを適用しているが、これをすべての紙の種類に展開する。ほかの紙の種類では入稿数や紙のコストが異なるため、細かなパラメータ調整やロジック追加によって適切な解が得られるようにしていく必要がある。現状で対応できている紙の種類については一定の効果が出ているため、適用範囲を広げるだけでも業務効率化への期待は高い。

4.3.2 さらに品質の向上

コスト削減だけでなく、品質向上も重要である。たとえば、版内での位置によるインクの発色の変化に対応できれば、仕上がりの品質をさらに高めることができる。これには、版内の位置と各印刷物の色の濃淡を照らし合わせながら配置を決定する必要があるため、解の探索方法に一層の工夫が求められる。

4.3.3 業務フロー改革

現状では、4.2 節に述べたように面付けおよびその後工程にあたる生産現場の業務フローが改善された。さらに今後は、面付け以前の工程も含めた業務改革を実現するシステムへと発展させることを計画している。たとえば前工程との連携としては、占有率の低い解が生

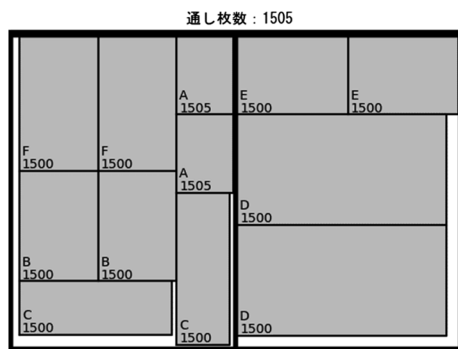


図 7 出力結果例

じたとき、その解を改善できる印刷物を前工程のプールから自動で探し出し、それを早めに面付け工程まで流してもらうことが考えられる。加えて、面付け結果を基にした印刷順の指示や印刷機へのジョブ振り分けといったスケジューリングまでも自動化できれば、後工程との連携も強化される。さらに日々の入稿データ量を予測し本システムと組み合わせれば、業務の繁閑を数日単位で平準化することも可能になり、より高度なスケジューリングが達成できる。

生産現場では多種多様な業務が行われているため、各業務に関するデータを人間が包括的に吟味し活用することは非常に困難である。しかし、本システムがデータを利活用し最適化の範囲を広げることで、面付けを中心に業務フロー全体を巻き込んだ業務改革をすることができる。これにより、本システムは面付けシステムの域を超え、生産マネジメントシステムとしても活用することができる。

5. おわりに

生産現場では担当者があらゆる要素を考慮しながら日々の業務にあたっており、そのような担当者に匹敵する、あるいは超えるような解を導出することは容易ではない。しかしだからこそ、そのような作業を自動化できることには大きな意義があるのはもちろん、そ

れを可能にする OR 技術は、今後も求められ続けるだろう。

ただし、OR 技術単体では、生産現場の課題を解決することは不可能である。長年培ってきた現場担当者の知恵や知見を取り入れ、理論と実践が融合して初めて、生産現場の課題を解決するだけの力をもったソリューションたりうる。本システムにおいても、担当者の方々の尽力なくして、このような成果は収められなかった。これからも OR 技術によって生産現場を変えていくべく、生産現場と密に連携していく所存である。

参考文献

- [1] 株式会社帆風, 「事業紹介」, <https://www.vanfu.co.jp/vf/service/index.html> (2021 年 3 月 10 日閲覧)
- [2] P. C. Gilmore and R. E. Gomory, “Multistage cutting stock problems of two and more dimensions”, *Operations Research*, **13**, pp. 94–120, 1965.
- [3] 株式会社構造計画研究所オペレーションズ・リサーチ部, 「KKE/AdNeS 次世代切り出しソリューション」, https://www4.kke.co.jp/orsim/AdNeS_top.html (2021 年 3 月 10 日閲覧)
- [4] B. S. Baker, E. G. Coffman Jr. and R. L. Rivest, “Orthogonal packings in two dimensions,” *SIAM Journal on Computing*, **9**, pp. 846–855, 1980.
- [5] 今堀慎治, 梅谷俊治, “切り出し・詰め込み問題とその応用 (2)—長方形詰め込み問題—,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **50**, pp. 335–340, 2005.