

以上の結果から、GSEは生殖細胞および初期胚に特異的に発現していることが示された。さらにGSEタンパク質と相互作用する候補タンパク質として、メチルトランスフェラーゼと予測される配列を機能ドメインに持つ遺伝子が同定された。また、生殖細胞および初期胚はゲノム全体のDNAメチル化状態が大きく変動することが知られている(Santos et al., 2004, Allegrucci et al., 2005)。このためGSEは生殖細胞および初期胚で遺伝子の発現調節および、その結果として生じる細胞型の多様性の決定に関係している遺伝子である可能性が示唆された。

この研究では、GSEが生殖細胞および初期胚に特異的に発現し、遺伝子の発現調節および、その結果として生じる、細胞型の多様性の決定に関係している遺伝子である可能性が示唆された。この知見は、減数分裂、胚の初期発生および細胞分化に至るまでの分子機構の研究上重要な意味を持つと考えられる。

以上のように、本論文は博士（工学）論文として価値あるものと認められる。

氏 名	三 沢 英 貴
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	工 業 第 1 1 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規定第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 題 目	段ボール箱の生産性向上に関する研究

論文審査委員 (主 査)	教 授	金 指 正 和
(副主査)	教 授	畠 山 一 達
(副主査)	教 授	五 百 井 清
(副主査)	教 授	桑 原 兵 二 郎

論文内容の要旨

段ボール箱は安価で、ある程度の強度があり、軽量であるため輸送コストがかからずリサイクルが可能という長所があり、あらゆる商品の輸送に用いられている。段ボール箱の生産方式は典型的な個別受注生産であり、注文ごとに注文量、サイズ、印刷内容、フルートが異なるため、大量見込生産方式のように完成品在庫や仕掛在庫が許されず、生産計画が非常に難しい。段ボール箱製造工程は、大きく分けて板紙製造ラインと印刷加工ラインから構成されている。板紙製造ラインは段ボール箱を作るための段ボール（板紙）を原紙から製造する工程であり、印刷加工ラインは板紙製造ラインで製造された板紙に対して印刷、切込、折曲げの加工を行って段ボール箱を完成させる工程である。段ボール箱製造工程は、この両ラインの効率的な生産順序が異なるためにストレージ（仕掛品）の不足や滞留が頻繁に発生する。更に、各ラインにおける段取替時間は単位作業時間と比較して非常に大きいという特徴がある。高速印刷機や高速板紙製造機（コルゲイトマシン）を新たに導入し、生産設備を増強した場合、主として生産性の改善が望めるのは、各ラインにおける単位作業時間の減少である。しかし、各ラインにおける単位作業時間は非常に小さく、これを更に減少させたとしても大きく生産性を改善したことにはならない。段ボール箱製造工程において、非常に大きな時間を占めているのは原紙交換や版下取り付け、インク交換のための段取替時間であり、これを減少させない限り生産性の改善は難しい。そこで、新たに設備投資をすることなく、スケジューリングの工夫のみで、段ボール箱製造工程の生産性を高める方法として、2品種を組み合わせて同時に製造して1品種分の生産時間で2品種分の生産加工を行うことを提案している。これにより各ラインにおける段取替時間（回数）の減少が期待できる。しかし、段ボール箱のサイズは注文ごとに異なるために、同時に製造する2品種の特性によっては、総加工完了時間と総ロスはいかにトレード・オフの関係にある。従って、段ボール箱製造スケジューリング問題は総加工完了時間減少と総ロス減少の2つの目的を同時に満たす同時製造品種の組合せを決定する多目的組合せ最適化問題に帰着される。

本論文では、この問題に対して、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithms：GA）を用いてパレート最適性を考慮した多目的最適化を行い、段ボール箱製造工程の生産性を改善するためのスケジューリング法を開発することを研究の目的としている。

第2章では、本論文で対象とするA式段ボール箱（通称：みかん箱）の製造工程解析を行い、現状の製造工程が持つ複数の問題点を指摘している。更に、その問題点を解消し、段ボール箱製造工程の生産性を向上させる方法として1品種分の加工時間で

2品種分の加工を行う2品種同時製造を提案し、その効果について述べている。現状の段ボール箱製造工程が持つ問題点は3つ存在する。第一に、ロスの発生である。現状では原紙の5%はロスとなっている。第二は、品種切り替え時に必要な段取替時間が大きいことである。段ボール箱は、オーダーごとに必要な原紙のサイズが異なるため、板紙製造ラインでは、原紙の段取替時間が必要である。また、オーダーごとに印刷内容（色、印字、印刷位置）が異なるために、印刷加工ラインでは版下の取り付け位置調整のための段取替時間が必要となる。第三は、板紙製造ライン、印刷加工ラインにおける効率的な生産順序が異なるため、ストレージの不足や滞留が頻発するという問題が存在する。すなわち、板紙製造ラインでは、板紙の原紙を取り換える段取替を少なくする生産順序が最も効率的であるのに対して、印刷加工ラインでは、単色刷り、2色刷り、3色刷りなどの印刷色の同じ組み合わせを考慮した生産順序が効率的である。2品種同時製造を用いると、板紙製造工程、印刷加工ラインにおける段取替時間の減少が期待できる。更に、板紙製造用、印刷用のローラーの回転数も半分になる。ただし、この場合、ロスの値は組合せる2品種の特性により大きく変化する可能性がある。製造工程解析の結果、段取替回数とロスの間にはトレード・オフの関係があることが明らかになった。

第3章では、2品種同時製造環境下での単一ラインにおける段ボール箱製造スケジューリング問題を取り扱っている。まず、単一ラインにおけるスケジューリング問題を総加工完了時間と総ロス最小化の2つの目的を持つ多目的組合せ最適化問題として数学的定式化を行っている。多目的最適化問題の解はパレート最適解の集合として得られるため、多点探索に秀でているGAを用いた解法を提案している。多目的最適化問題においては、そのパレート最適性が重要となる。提案法は目的毎に特化した各部分個体群から親を選択し交叉を行う一様交叉戦略および、パレート解候補を一時的に保存するパレート保存戦略を併用することで2目的を協調させたパレート最適解候補集合を一度の適用で効率的に得ることが可能である。提案法はその特徴より、パレート最適解候補集合内において、両端（総加工完了時間の最小、総ロスの最小）近くに存在する解よりも、各目的をバランスさせた解が得られやすい傾向にあることを明らかにしている。本章では、印刷加工ラインにおける総加工完了時間の観点からのみで、現状との比較を行ったが、2品種同時製造を適用し、需要量、印刷加工時における色の組合せが等しい品種の組合せを得ることができ、印刷加工ラインにおける総加工完了時間を最大で約45%、最低で約32%減少させる解を得ることができた。

論文審査結果の要旨

第4章では、複数ラインにおける段ボール箱製造スケジューリング問題を取り扱っている。複数ラインにおけるスケジューリング問題を段取替回数と総ロス最小化の2つの目的を持つ多目的組合最適化問題として定式化を行った。更に、本問題の解法としてGAの局所探索能力を補うために局所探索法(Local Search: LS)を併用したハイブリッドGAを用いた解法を提案している。提案法はパレート最適解候補集合を一度の適用で効率的に得ることが可能であり、GAの大域的探索能力とLSの局所探索能力がうまく融合し、GAのみで探索を行うよりも解の精度や探索時間の面で優れた結果を得ることが可能である。更に、3章における提案法では、得られる解が各目的をバランスさせた解へ偏る傾向が存在したが、LSとパレート保存を組み合わせることにより、パレート最適性を考慮した解が得られることを明らかにしている。更に、より実際の製造工程と近いモデルを用いて数値実験を行い、2品種同時製造における生産性の改善の評価を行った。その結果、段取替回数については最大で40%、最低で10%の減少がみられた。ただし、総ロスに関してはトレード・オフの関係から、最大で約150%、最小で約10%の増加となる。

第5章では、本論文を次のように総括している。まず、2章において段ボール箱製造業における複数の問題点を明らかにし、それに対して、新たに設備と投資を施さずスケジューリング法を工夫することによって、生産性を改善する手法として2品種同時製造を提案している。3章では、段ボール箱製造スケジューリング問題を多目的組合最適化問題に帰着させて数学的定式化を行っている。定式化された2品種同時製造問題は品種数の増加に伴い組合せ数が膨大になることから、遺伝的アルゴリズムを用いた解法を提案している。提案法は1度の実行で複数のパレート最適解候補を得ることが可能であり、本問題に対する近似解法として有効であるといえる。数値実験により得られた解は総加工完了時間を現状より最大で約45%、最低で約32%改善させている。4章では、GAの弱点である局所探索を補うために、LSと組み合わせたハイブリッドGAを用いた解法を提案している。更に、実際の段ボール箱製造工程に近い設定で数値実験を行った結果、提案法はLSと組み合わせたことにより優れた探索を行うことが確認できた。更に、3章における提案法が持つ特徴である“得られる解が偏る場合がある”という点についても、LSとパレート保存の併用で、解決できているといえる。4章における数値実験で得られた解を現状と比較すると、段取替回数においては、最大で40%、最低で10%減少できたが、総ロスに関しては、最大で約150%、最低で約10%の増加となった。

段ボール箱の生産方式は典型的な個別受注生産であり、大量見込生産方式のように完成品在庫や仕掛在庫が許されず、生産計画が非常に難しい。段ボール箱製造工程は、大きく分けて板紙製造ラインと印刷ラインから構成されている。各ラインにおける段取替時間は単位作業時間と比較して非常に大きいという特徴がある。高速印刷機や高速板紙製造機を新たに導入し、生産設備を増強した場合、主として生産性の向上が望めるのは、各ラインにおける単位作業時間の減少である。しかし、単位作業時間は非常に小さく、これを更に減少させたとしても大きく生産性を向上させたことにはならない。段ボール箱製造工程において非常に大きな時間を占めているのは版下取り付けなどの段取替時間であり、これを減少させない限り生産性の向上は難しい。そこで、新たに設備投資をすることなく、スケジューリングの工夫のみで、段ボール箱製造工程の生産性を高める方法として、2品種を組み合わせると同時に製造して1品種分の生産時間で2品種分の生産加工を行うことを提案している。これにより各ラインにおける段取替時間は減少し、大幅な生産性の向上が期待できる。しかし、同時に製造する2品種の特性によってロスは逆に増加するため、生産性とロスの間にはトレード・オフの関係が存在する。従って、段ボール箱製造スケジューリング問題を総加工完了時間減少と総ロス減少の2つの目的を同時に満たす同時製造品種の組合せを決定する多目的組合せ最適化問題に帰着させている。

本論文では、この問題に対して、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms: GA)を用いてパレート最適性を考慮した多目的最適化を行い、段ボール箱製造工程の生産性を向上させるためのスケジューリング法を開発することを研究目的としている。

第2章では、本論文で対象とするA式段ボール箱の製造工程解析を行い、現状の製造工程が持つ複数の問題点を指摘している。更に、その問題点を解消し、段ボール箱製造工程の生産性を向上させる方法として1品種分の加工時間で2品種分の加工を行う2品種同時製造を提案し、期待できる生産性向上効果について述べている。

第3章では、2品種同時製造環境下での単一ラインにおけるスケジューリング問題を総加工完了時間と総ロス最小化の2つの目的を持つ多目的組合最適化問題として数学的定式化を行っている。多目的最適化問題の解はパレート最適解の集合として得られるため、多点探索に秀でているGAを用いた解法を提案している。多目的最適化問題においては、そのパレート最適性が重要となる。提案法は目的毎に特化した各部分個体群から親を選択し交叉を行う一様交叉戦略および、パレート候補を一時的に保存するパレート保存戦略を併用することで2目的を協調させたパレート最適解候補集合を一度の適用で効率的に得ることが可能である。提案法はその特

微より、パレート最適候補集合内において、各目的をバランスさせた解が得られやすい傾向にあることを明らかにしている。提案法により、需要量、印刷加工時における色の組合せが等しい品種の組合せを得ることができ、印刷ラインにおける総加工完了時間を最大で約 45%、最低でも約 32%減少できることを検証している。

第 4 章では、複数印刷ラインにおける段ボール箱製造スケジューリング問題を段取替回数と総ロス最小化の 2 つの目的を持つ多目的組合最適化問題として定式化を行い、解法として GA の局所探索能力を補うために局所探索法 (Local Search: LS) を併用したハイブリッド GA を用いた解法を提案している。提案法はパレート最適候補集合を一度の適用で効率的に得ることが可能であり、GA の大域的探索能力と LS の局所探索能力がうまく融合し、GA のみで探索を行うよりも解の精度や探索時間の面で優れた結果を得ることが可能であることを示した。更に、より実際の製造工程に近いモデルを用いて数値実験を行い、2 品種同時製造における生産性向上の評価を行った。その結果、段取替回数については最大 40%、最低 10% の減少がみられた。

第 5 章では、本論文を次のように総括している。新たに設備投資を施さず生産性を向上させる手法として 2 品種同時製造を提案している。段ボール箱製造スケジューリング問題を多目的組合最適化問題に帰着させて数学的定式化を行っている。遺伝的アルゴリズムを用いた解法を提案し、1 度の実行で複数のパレート最適候補を得ることが可能であり、本問題に対する近似解法として有効であるといえる。3 章における数値実験により得られた解は総加工完了時間を現状より最大で約 45%、最低で約 32%減少させている。更に、4 章では、実際の複数印刷ラインを設定した数値実験を行い、提案法は GA と LS と組み合わせたことにより優れた探索を行うことが確認できた。数値実験で得られた解を現状と比較すると、段取替回数においては、最大 40%、最低 10%減少できたが、総ロスに関しては、最大で約 150%、最低で約 10%の増加となった。

以上から、本論文で提案している段ボール箱の 2 品種同時製造法およびそのスケジューリング法は段ボール箱の生産性を飛躍的に向上させる可能性を示したものである。

以上、本論文で得られた成果は学術的にも工業的にも極めて意義のあるもので、博士 (工学) 論文として十分価値あるものと認める。

氏 名	釜 田 圭 市
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	産 第 2 0 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規定第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 題 目	周波数領域ICAの成分置換に関する研究

論文審査委員 (主 査)	教 授	五 反 田	博
(副主査)	教 授	金 光	滋
(副主査)	教 授	久 良 修	郭