

負荷調整機能をもつセル生産システムの設計法に関する研究

木村 有寿^{†1}, 大谷 崇^{†1}

A Study of Design Method for Cellular Manufacturing Systems with a Workload Adjustment Function

Aritoshi KIMURA^{†1} and Takashi OHTANI^{†1}

Abstract

In this paper, we propose a design method which considers the balance of work load among cells for Cellular Manufacturing Systems. Cellular Manufacturing Systems are supposed that there are a number of cells and common-workstations. In particular, we develop a support tool that is able to use in various situation. The support tool has an improved Fissiparous Algorithm designed for Cellular Manufacturing Systems. Finally we solve design problems and show the effectiveness of the proposed design method.

Keywords: flexible mixed-product lines, fissiparous algorithm, cellular manufacturing system

1. はじめに

我々は、様々な前提条件をもつ規模の大きいフレキシブル混合品種ラインの設計問題に対して、独自に開発した個体分裂アルゴリズム (Fissiparous Algorithm : FA) を用いた設計法を提案し、実用的な速さで有効な解を求めることができることをこれまでに示した^{1), 2), 3)}。

本研究では、セル生産システムにおいて、複数セルが存在し、異なるセルのステーションからワークが合流するセル間の共有ステーションをもつような生産工程に対して、セル間の作業負荷のバランスを考慮した生産システムの設計を行う。具体的には、セル生産システムの設計に対応する新たな個体分裂アルゴリズムを用い、様々な局面で使用できる支援ツールを開発する。最後に、設計問題を解き、その有効性を示す⁴⁾。

2. セル生産システム

本研究では、組立セルの本質を「人間性の尊重と高い生産性の両立」とし、セル生産システムを以下のようにとらえている。

『人間性と生産性の両立を前提として、実施すべき生産計画の達成に権限と責任をもつ作業集団を構成する各作業者が、作業を行う空間 (ステーション) に配置され、そこでなすべき職務 (必ずしも、組立作業のみを意味せず、権限と責任において遂行すべき職務) を、配置されたツール (工具・機器・設備等の作業員以外の生産要素

の総称) を用いて遂行する作業集約化方式を原型とする組立システムである。』

3. 研究の前提

本研究において前提とする条件は、以下の通りである。

[作業集団に係る前提]

- (1) 作業集団の担当する組立セルを構成し得る要素 (作業員, リーダー, 組立のための課業 (要素作業), リーダー職務, ツール) は所与である。
- (2) 作業集団は、生産計画の実施に当たって人間性と生産性が両立するように、状況適応的に諸施策を講ずる権限と責任を有する。
- (3) 作業集団は、協働と協調を旨として活動する。

[支援ツールに係る前提]

想定される局面に対応するツールを準備する。大きく3つに分類される次の用途を前提に開発される。

- (1) 作業集団が担当する組立セルの設計・再設計を行うという生産計画の実施基盤の準備。
- (2) 問題解決のための提案・解決策の効果の評価・確認するシミュレーションのための設計。
- (3) スキル獲得計画・要員訓練計画といったマンパワー計画等の将来計画の策定。

^{†1} 近畿大学工学部情報学科

Department of Informatics, Faculty of Engineering,
Kindai University

また、支援ツールを活用する具体的局面を以下のように想定している。ただし、各局面は複合して生じる場合もある。

局面 1 :

類似製品群を第 1 ステーションから順次、完成させていく組立セルあるいは下位セルを対象とする。生産計画に対応してそれらを設計する。下位セルがある場合には、これらの間の作業負荷のバランスもとる必要がある。

局面 2 :

共有ステーションを設置する。上位セル内であれ、上位セル間であれ、異なるセルのステーションからワークが合流するセル間の共有ステーションを設置して、機器・設備を共用せざるを得ないことが起こり得る。

局面 3 :

同一ステーションにおいて素材の投入と完成品の搬出がなされる U 字組立セルを設計する。

局面 4 :

既存ステーションの配置の一部を固定して再設計を行う。

局面 5 :

作業能力の異なる作業者を個々に識別し、それらを、各人の希望を反映させて配置する。必要なら、作業者をその作業能力に従ってクラス分けして扱う。

局面 6 :

作業習熟に伴う負荷の調整を行う。

局面 7 :

改善効果の予測と改善活動の優先度決定のためのシミュレーションを行う。

4. 設計支援ツール利用の前提条件

本研究において開発する設計支援ツール利用の前提条件は、以下の通りである。

- (1) 作業集団は類似製品（厳密に規定していない）の組立に当たる。
- (2) 実施すべき生産計画（製品ごとの生産量と各セルがその生産に利用できる時間）は既知である。
- (3) 幾つかの下位セルを一つの作業集団が担当し、そのメンバは既知である。
- (4) 各下位セルのステーション数は既知であり、各ステーションにメンバの中から 1 人の担当者を割当てる。
- (5) 各下位セルのステーションは I 字状に直線的に配置されている（I 字組立セルという）。
- (6) 各下位セルが組立てる品種のための職能群が決められている。一つの下位セルが担当するその職能群とリーダー職能を合わせてそのセルの下位セル担当職能群という。
- (7) 下位セルのリーダー（もっぱら、製品の組立に従事している期間に組立作業とリーダーとしての職務を担当する。その間に組立作業のみを担当するメンバを単に作業者という。その期間以外の問題解決・学習過程で求められる職務は設計段階では扱わない。）は既知である。

当する。その間に組立作業のみを担当するメンバを単に作業者という。その期間以外の問題解決・学習過程で求められる職務は設計段階では扱わない。）は既知である。

(8) 各品種の組立てに必要な要素作業とリーダー職務は既知である。

(9) リーダー職務の遂行によって他のステーションの作業遅れが生じないようにリーダーを各セルの最終ステーションに配置する。

(10) 各作業者が担当する下位セルは事前に特定される必要はない。

(11) 要素作業、リーダー職務の遂行に使用可能なツールは、代替可能なものを含めて既知である。

(12) 各要素作業とリーダー職務を遂行するに要する時間は、使用可能なツールごとに、かつそれを担当する者ごとに既知である（リーダー職務は非定型、非反復的作業を含むので、その遂行時間の見積値の精度は低くならざるをえない）。

(13) 作業者は、その能力に基づいてクラス分けされても個人として識別されてもよい。

(14) 各使用可能なツールは、その種類ごとに使用可能数に制限がある。

(15) 高い作業負荷となる下位セルがある場合には、その担当職能群（リーダー職能を除く）の一部の職能のしかるべき実施回数の一部を、他の下位セルに、分担することを依頼できるものとする。その職能を負荷調整用職能群という。分担とは、生産量に応じて職能が繰返し遂行されるが、その一部を他の下位セルで遂行することである。例えば、一つの品種の生産量が 200 個の場合、200 回それが繰返される。リーダー職能を除いて、生産量は能職の繰返し回数と同義である。その際、最終的な責任をその依頼を行なった下位セルが負うために、そのセルリーダーによってそれらを完成させるべきとの考え方もあるが、当面、依頼元にワークを戻すことはしない。

(16) 一つの下位セル担当職能群の遂行に必要な一つの要素作業は異なる者によって担当させない。また、負荷調整用職能群の遂行に必要な一つの要素作業は異なる者によって担当させない。言うまでもなく、それら 2 種類の職能群に共通なものを担当させることはある。

(17) 下位セル担当職能群並びに負荷調整用職能群ごとに統合先行順位図が描かれていて、その先行関係に従って作業を遂行する。

(18) 特定の要素作業は、どの職能において遂行されるものであっても、特定のステーションにおいてのみ遂行可能である。そのステーションは共有ステーション呼ばれ、指定された下位セルのステーションとなる（その事前の決定が課題）。その特定の要素作業は共有ステーション固定要素作業と呼ばれる。共有ス

テーションは一つの下位セルが他の下位セルの一部の要素作業を集約して遂行するステーションということもできる。

- (19)負荷調整用職能群を除き、一つの下位セルの第 k ステーションから共有ステーションに流れたワークは、そこでの作業の完了の後、その下位セルの第 $k+1$ ステーションに戻す。これは、ワークの流れの輻輳をできるだけ避けるためである。
- (20)一つの上位セル内の共有ステーションはただ一つとする。
- (21)負荷調整用職能群はただ一つとする（その中に、複数の職能がありうる）。
- (22)負荷調整に当って、負荷調整用職能を引き受ける下位セルを事前に特定しないで作業負荷のバランスを取る。

5. 設計支援ツールの機能

本研究で提案する設計支援ツールの機能は、以下の通りである。

上記の前提条件と PST (Peak Station Time : 最大作業時間) 最小化基準の下に次の事項を決定し、一つの作業集団が担当する組立セルを設計する。

[決定事項]

- (1) 指定された下位セルに共有ステーションを設置する。
- (2) どのステーションにおける職務の遂行が終われば、そのワークが共有ステーションへ移動すべきかを決定する。
- (3) 各ステーションへ職務遂行に必要なツールを配置する。
- (4) 各下位セルの最終ステーションに配置されたセルリーダーに職務（遂行すべき要素作業の集合とリーダー職務）を割当てる。
- (5) 最終ステーションを除く、各下位セルのステーションへ作業者を配置し、利用可能時間内に担当できる職務（遂行すべき要素作業の集合）を割当てる。

6. 個体分裂アルゴリズムとその改良

個体分裂アルゴリズムは、以下の特徴をもつアルゴリズムである^{1), 2), 3)}。

- ・進化的アルゴリズムに分類される。
- ・遺伝子の組み換えは、人工的な手続きで行う。また、次世代の個体は無性生殖による個体の生成に準じて行われる。
- ・遺伝子の交叉は行わない。
- ・遺伝子の突然変異は行わない。
- ・遺伝子の選択は、適応度により行う。

これらの特徴から、個体分裂アルゴリズムは多様な制

約条件を遺伝子構造に組み込むことが可能であり、様々な組み合わせ最適化問題に適用できる。特に、制約条件が多く、規模の大きい問題の最適解探索には、効果を発揮する。

本研究では、従来の個体分裂アルゴリズムを改良し、設計支援ツールで使用する。

具体的には、負荷調整機能を実装するために、一般遺伝子、構造形成遺伝子（ステーションの構成を維持するために使用する）にくわえ、各セルにおいて遂行すべき要素作業をセル単位で統制するための割当統制遺伝子を導入する。

7. 設計支援ツール利用手続き

提案設計支援ツールでは、以下のテンプレートを利用し、設計を実行する。

[ステップ 1]

負荷調整用職能群を設けず、設計支援ツールに設計条件を設定する。

[ステップ 2]

設計支援ツールを使用（個体分裂アルゴリズムが機能する）して初期個体を創成し、各下位セルの職能の遂行に要する総所要時間の概算見積を行う。

[ステップ 3]

各下位セルの職能の遂行に要する総所要時間の概算見積に基づき、負荷調整用職能と分担すべき作業を決定する。

[ステップ 4]

負荷調整用職能群を設定する場合、それを設計支援ツールの設定条件に反映する。

[ステップ 5]

設計支援ツールにより新たな個体を創成し、設計結果を更新する。

[ステップ 6]

ステップ 3~5 を繰り返し、よりよい設計結果を探索する。

8. 数値例

設計支援ツールを使用し、いくつかのセル生産システム設計問題を解くことにより、提案ツールの有効性を確認した。

[設計問題 1]

（各セルのステーション数が確定している場合）

- ・品種数：6
- ・作業主体（種類）：10
- ・作業者：11（識別番号 1 が 2, 残りは各 1）
- ・ツール（種類）：15
- ・セル数：3
- ・各セルの指定ステーション数：4, 4, 3

- 生産計画（負荷調整前の各機能の繰返し回数）
第1下位セル（第1機能）
：220, 200, 1（リーダー機能）
第2下位セル（第2機能）
：130, 140, 1（リーダー機能）
第3下位セル（第3機能）
：85, 95, 1（リーダー機能）
- 負荷調整機能：第1機能

設計問題1に対して、設計支援ツールを利用手続にしたがって使用した結果、以下の設計結果が得られた。

表1-1～1-3は、各下位セル内のステーションに割り当てられた作業主体、ツール数、要素作業数である。

表1-1. 作業主体の割当結果

ステーション	下位セル		
	1	2	3
1	6	1	4
2	7	2	5
3	1	3	10
4	8	9	

表1-2. 割り当てたツール数（種類）

ステーション	下位セル		
	1	2	3
1	8	8	8
2	4	6	8
3	7	7	7
4	8	7	

表1-3. 割り当てた要素作業数

ステーション	下位セル		
	1	2	3
1	37	45	65
2	34	34	55
3	29	36	71
4	51	48	

このように設計されたセル生産システムにおいて、第1機能に割り当てられた生産数を負荷調整した生産計画は、以下の通りである。

- 生産計画（負荷調整後の各機能の繰返し回数）
第1下位セル（第1機能）
：105, 200, 1（リーダー機能）
第2下位セル（第2機能）
：130, 140, 1（リーダー機能）
第3下位セル（第3機能）
：85, 95, 1（リーダー機能）
負荷調整分：115（第1品種）

結果として、第1品種の生産数220の内、115を負荷調整にまわすことになった。図1中の実線は本来の機能の流れ、破線は負荷調整用機能群の流れである。

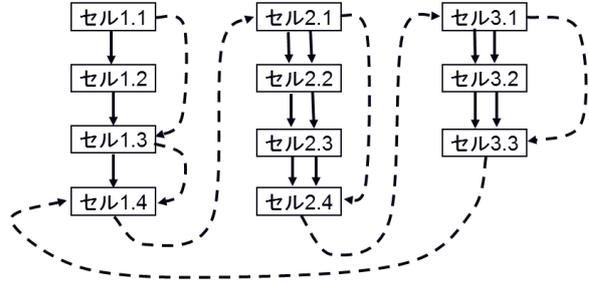


図1. 設計結果

[設計問題2]

（各セルのステーション数が未確定の場合）

- 品種数：6
- 作業主体（種類）：10
- 作業員：11（識別番号1が2，残りは各1）
- ツール（種類）：15
- セル数：3
- 各セルの指定ステーション数：指定なし
- 生産計画（負荷調整前の各機能の繰返し回数）
第1下位セル（第1機能）
：220, 200, 1（リーダー機能）
第2下位セル（第2機能）
：130, 140, 1（リーダー機能）
第3下位セル（第3機能）
：85, 95, 1（リーダー機能）
- 負荷調整機能：指定なし

設計問題2では、各セルのステーション数と負荷調整機能の指定がない。本設計問題に対して、設計問題1と同様に設計支援ツールを利用手続にしたがって使用した結果、以下の設計結果が得られた。

表2-1～2-3は、各下位セル内のステーションに割り当てられた作業主体、ツール数、要素作業数である。各下位セルのステーション数については、それぞれ5, 4, 2個のステーションが設置された。

表2-1. 作業主体の割当結果

ステーション	下位セル		
	1	2	3
1	6	2	5
2	7	3	10
3	1	4	
4	1	9	
5	8		

表 2-2. 割り当てたツール数 (種類)

ステーション	下位セル		
	1	2	3
1	7	10	8
2	6	6	7
3	6	7	
4	5	7	
5	9		

表 2-3. 割り当てた要素作業数

ステーション	下位セル		
	1	2	3
1	26	73	58
2	27	33	81
3	22	33	
4	23	52	
5	81		

このように設計されたセル生産システムにおいて、負荷調整した生産計画は、以下の通りである。

- ・生産計画 (負荷調整後の各職能の繰返し回数)
 - 第 1 下位セル (第 1 職能)
 - : 199, 200, 1 (リーダー職能)
 - 第 2 下位セル (第 2 職能)
 - : 130, 140, 1 (リーダー職能)
 - 第 3 下位セル (第 3 職能)
 - : 85, 75, 1 (リーダー職能)
- 負荷調整分 : 21 (第 1 品種), 20 (第 6 品種)

本設計問題では、第 1 品種と第 6 品種の 2 品種を負荷調整にまわすことになった。

以上の結果から、提案設計支援ツールを使用することで、セル生産システムにおいて、負荷調整を考慮した設計が可能となった。

9. おわりに

本研究では、セル生産システムにおいて、異なるセルのステーションからワークが合流するセル間の共有ステーションをもつ生産工程に対し、セル間の作業負荷のバランスを考慮した生産システムを設計するための設計支援ツールを開発した。

具体的には、負荷調整を可能とするセル生産システムの設計に対応するため、個体分裂アルゴリズムを改良し、それを用いた設計支援ツールを開発した。本支援ツールを使用し、いくつかの設計問題を解くことにより、様々な局面で使用できる設計支援ツールが開発できたことを確認した。

今後は、設計時の制約条件を緩和し、さらに多くの設計問題に対応できる設計支援ツールを開発する予定であ

る。

謝辞

本研究の成果を得るにあたり、近畿大学天田三郎元教授のご協力を頂きました。この場をお借りし、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 天田三郎, 木村有寿, 津田榮一: 個体分裂アルゴリズムを用いるフレキシブル混合品種ライン設計法, 日本経営工学会論文誌, Vol.53, No.6, pp.456 - 465 (2003)
- 2) 天田三郎, 木村有寿, 津田榮一: 個体分裂アルゴリズムを用いるフレキシブル混合品種ラインの設計法 II, 日本経営工学会論文誌, Vol.56, No.3, pp.182 - 190 (2005)
- 3) A. Kimura, T. Matsutomi, T. Ohtani, A Design Method To Extend Stations To The Existing Flexible Mixed-Product Line, International Journal of Business Research, Vol.10, No.4, pp.45-51 (2010)
- 4) 木村有寿, 松富達夫, 大谷崇, "負荷調整機能をもつセル生産システムの設計法に関する研究", 日本経営工学会平成 24 年度秋季研究大会予稿集, pp.166-167 (2012)