プラスチック射出成型工程スケジューリング問題に 対する遺伝的アルゴリズム*

西川 郁子**・東 祐士**・堀 慕子***・得丸 英勝**

Genetic Algorithm Application to a Scheduling Problem in the Plastic Injection Molding Process*

Ikuko NISHIKAWA**, Yuuji AZUMA**, Motoko HORI*** and Hidekatsu TOKUMARU**

Genetic Algorithm is applied to a scheduling problem in the plastic injection molding process. The problem is simplified by combining the jobs with the same die. Total lateness to the due date is taken as an evaluation function and rather sufficient solution is obtained by GA. Moreover, a modified decoding procedure is proposed to optimize the second objective, without decreasing the original evaluation value. Simulation with real data in an industry shows an effectiveness of the proposed method.

1. 緒言

現実の生産システムには、様々な制約条件が存在する。そのスケジューリング作成にあたっては、複雑に絡み合う評価要素を考慮する必要がある。生産現場でのスケジューリングの多くは、熟練者の手作業によるものであり、経験に頼るところがある。近年の多品種少量生産においては、品種増加によるスケジューリングの複雑化と所要時間の増大は大きな問題である。また、熟練者の作業は後継者育成が難しいこともあり、コンピュータによるスケジューリングシステムの構築が望まれている。

プラスチック射出成型工程におけるスケジューリングは、そのような複雑な問題の一つである。ジョブは、金型と呼ばれる器具を取り付けた機械を用いて処理される。この問題の特徴は、この金型に関連して様々な制約が課せられる点にある。スケジューリング問題の分類としては、各機械が同一機能をもつが、金型ごとに装着可能な機械が制限されるため、特殊な並列機械問題と見なせる。遺伝的アルゴリズム (GA) は、種々の組合せ最適化問

題で、最近注目されている近似アルゴリズムの一つである。とくに、生産現場のように、スケジューリングに要する時間の短縮が重要な場合は、このような近似アルゴリズムの適用が望ましいと考えられる¹⁾⁻³⁾。

本研究では、プラスチック射出成型工程スケジューリング問題に対して GA を適用する⁴⁾。以下では、2. でここで扱うプラスチック射出成型工程のスケジューリング問題を説明する。つぎに、3. で GA の適用について述べる。納期遅れ最小化という第一の目的を GA の評価関数で最適化し、そのもとで機械選択にかかわる第二の最適化を行うための、遺伝子型から表現型への復号操作を提案する。続く 4. で、実データを用いてその有効性を検証する。そこではまず、ジョブが機械以外に金型を競合するという問題の特殊性を減じるために、同一金型を用いるジョブを一定条件下で統合する。最後に、5. でこれらの結果をまとめる。

2. プラスチック射出成型工程スケジューリング

2.1 プラスチック射出成型工程

プラスチック射出成型工程は、プラスチック製品の製造過程における、主要な工程の一つである。加熱により液化化したプラスチック生地を射出成型機と呼ばれる機械から、適度な圧力で金型に射出し、ある形状の製品を得る。Fig. 1 に、射出成型工程の模式図を示す。ここで製

* 原稿受付 1997 年 12 月 25 日

** 立命館大学 理工学部 Department of Science and Engineering, Ritsumeikan University; 1-1-1, Nojihigashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, JAPAN

*** (株)日本総合研究所 The Japan Research Institute, Limited; 1-5-8, Shinmachi, Nishiku, Osaka 550-0013, JAPAN

Key Words: injection molding, scheduling, genetic algorithm, optimization problem, decoding.

造されるものは、子製品（以下、製品と記述する）と呼ばれ、完成品である親製品の各部を成すものである。射出成型により得られた子製品は、塗装・組み立てなどの工程を経て、親製品となる。親製品には、それぞれ納期が決められている。したがって、各製品は、後工程にかかるリードタイムを考慮した納期までに、生産されなければならない。

Fig. 1 The plastic injection molding

射出成型工程では、各製品によって、成型に使用されるプラスチック生地（材質）と金型（形状）が指定されている。処理を行う機械は、射出圧で表される性能の違いを持つ。また、同一射出圧を持つ機械が複数存在することもある。射出成型にあたっては、金型のタイプに応じて、それに適した射出圧の機械が選ばれることになる。すなわち、製品の容量に最も適した射出圧を有する機械、もしくは、一定の許容範囲内にある射出圧の機械の中から選択される。さらにこれに、各機械の生産実績（不良率など）を加味して、着装可能な機械の中で経験的な優先順位付けがなされる。以下では、第一順位の機械を、その金型にとっての最適機械と呼ぶ。射出処理は、この最適機械で行われることが最も望ましい。処理速度は、射出圧が小さくなるにつれて速くなる。優先順位は、必ずしも処理速度の速い順位ではない。

また各製品の処理開始前には、各機械において生地の入替え・金型の脱着作業があり、これには作業者の負荷と時間が要求される。したがって、これらの作業回数はできるだけ少ないことが望ましい。ただし、同一機械上で連続して行われる処理が、同一生地、または同一金型を使用する場合には、後続処理の開始前にはそれぞれの作業は省略される。以上より、同一生地・同一金型を用いる製品の連続処理が望ましいことになる。

2.2 問題の定式化

ジョブ数を N_J 、機械数を N_M 、金型数を N_K とし、以下でスケジューリング問題について述べる。本論では

ジョブを、ある形状と材質を持つ製品を一定個数だけ納期までに製造する作業と定義する。したがって、各ジョブは、使用する生地・使用する金型・生産個数・納期をパラメータとして持つ。ただし以下では簡単のため、生地は全製品について同一種類とした。

各ジョブは、ジョブ番号 $j(j=1,2,\dots,N_J)$ 、また、各機械は、機械番号 $m(m=1,2,\dots,N_M)$ 、各金型は、金型番号 $k(k=1,2,\dots,N_K)$ により指定することにする。ジョブを処理する機械は、そのジョブが使用する金型を着装可能な機械の中から選択される。ただし、1回の射出に要する時間は各機械ごとに異なる。したがって、ジョブの処理時間は、利用する機械が決定された後に、その機械での1回の射出所要時間と、射出回数（生産個数から算出）から求めることになる。ジョブ間には先行関係がないという意味で、すべてのジョブはどの時刻からでも処理できるが、納期を満たす必要がある。全ジョブが納期を満たしたときには、これらなるべく早期に処理終了させることを目的とする。

そこで問題は、次に示す評価関数値の最小化問題として定式化される。なお、式中の e_j はジョブ j の処理終了時刻、 d_j は納期を表している。

$$E = \begin{cases} \sum_{j=1}^{N_J} \max(0, e_j - d_j) & \text{if } \exists j, e_j > d_j \\ \max_{j=1}^{N_J} (e_j - d_j) & \text{if } \forall j, e_j \leq d_j \end{cases} \quad (1)$$

(1)式では、 $e_j > d_j$ となるジョブ j （納期遅れジョブ）が存在するスケジュールに対しては、納期制約を満足させるために総遅延時間の最小化を行う。一方、どのジョブ j に対しても $e_j \leq d_j$ が成り立つスケジュールに対しては、最小納期余裕時間の最大化を行う。すなわち、ジョブ j の処理終了時刻 e_j と納期 d_j との差を最大化することで、早期の処理終了を図る。

また、これと並行して、最適機械使用率の向上と金型脱着作業の縮小を評価する。これらの手法に関しては、以降に記述する。

3. GAの構成

3.1 個体表現

ここでは、一つの個体の一つのスケジュールを対応させる。各個体は、以下のような長さ $2 \times N_J$ の記号列を用いて表現する⁴⁾。

$$x_1 x_2 \cdots x_j \cdots x_{N_J} y_1 y_2 \cdots y_j \cdots y_{N_J} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし } x_j &\in M_{k_j} \subset \{1, 2, \dots, N_M\} \\ y_j &\in \{1, 2, \dots, N_J\} (i \neq j \text{ のとき } y_i \neq y_j) \end{aligned}$$

ここで、 x_j はジョブ j を処理する機械番号を、 y_j は処理優先順位を示す。また、 k_j はジョブ j の使用する金型、 M_k は金型 k を装着可能な機械の集合を表す。処理優先順位は、機械 x_j でのジョブ j の処理順序、および、異なる機械で処理されるジョブが金型を競合する場合の装着優先度を決定する。

3.2 遺伝子型の復号

個体は、遺伝子を復号操作によってスケジュールに変換した後、2.2の評価関数によって評価する。ここでは、その復号操作として2種類の方法を用いる。

3.2.1 方法1

方法1では、ジョブ j を y_j 値の順に機械 x_j に割り当てる。このとき、ジョブ j は最早処理開始可能時刻より処理を開始する。遺伝子列からスケジュールを作成するアルゴリズムを以下に示す。

ステップ1 繰り返し回数 $t:=1$ とする。また、すべての機械 m について最早処理開始可能時刻 $a_m:=0$ 、装着金型 $c_m:=0$ 、すべての金型 k について最早使用開始可能時刻 $b_k:=0$ とする。

ステップ2 $t=y_j$ であるジョブ j について、次の手順を実行する。

ステップ2-1 ジョブ j の処理開始時刻を $\max(a_{x_j}, b_{k_j})$ とする。ただし、処理開始時刻は、 $c_{x_j} \neq k_j$ ならば、金型の脱着作業時間（機械 x_j の射出圧に比例する時間）を加える。

ステップ2-2 ジョブ j の処理時間を、生産個数と機械 x_j での1回の射出に要する時間から求める。

ステップ2-3 処理開始時刻に処理時間を加えて得られる値をジョブ j の処理終了時刻 e_j とする。

ステップ3 $a_{x_j}:=e_j$ 、 $b_{k_j}:=e_j$ 、 $c_{x_j}:=k_j$ とする。

ステップ4 $t=N_J$ ならばアルゴリズムを終了する。それ以外の場合は、 $t:=t+1$ とし、ステップ2へ戻る。

3.2.2 方法2

方法2は、最適機械の使用率を向上させるものである。方法1では、遺伝子列の値に従って、ジョブ j を機械 x_j に割り当てている。これに対し、方法2では、機械 x_j よりもジョブ j にとって優先順位の高い機械で、処理開始可能時刻が a_{x_j} よりも早ければ、その機械へ割り当てる。遺伝子列からスケジュールを作成するアルゴリズムを以下に示す。ここでは、金型 k の装着可能機械における優先順リスト $(m_1, m_2, \dots, m_{M_k})$ を必要とする (M_k

は、 M_k の要素数)。また、実際に j を処理する機械を x_j と区別して x'_j とする。

ステップ1 繰り返し回数 $t:=1$ とする。また、すべての機械 m について最早処理開始可能時刻 $a_m:=0$ 、装着金型 $c_m:=0$ 、すべての金型 k について最早使用開始可能時刻 $b_k:=0$ とする。

ステップ2 $t=y_j$ であるジョブ j について、次の手順を実行する。

ステップ2-1 以下の手順により、ジョブ j の処理機械を選択し、処理開始時刻を求める。

ステップ2-1-1 優先順位 $n:=1$ とする。また、ジョブ j の機械 x_j 上での処理開始可能時刻を $\max(a_{x_j}, b_{k_j})$ とする。ただし、処理開始可能時刻は、 $c_{x_j} \neq k_j$ ならば、金型の脱着作業時間を加える。

ステップ2-1-2 金型 k_j の装着可能機械において優先順位 n の機械 m_n を選ぶ。 $m_n = x_j$ ならば、処理機械 x'_j を機械 x_j 、ステップ2-1-1で求めた時刻を処理開始時刻とし、ステップ2-2へ進む。 $m_n \neq x_j$ ならば、次へ進む。

ステップ2-1-3 機械 m_n での処理開始可能時刻を $\max(a_{m_n}, b_{k_j})$ とする。ただし、処理開始可能時刻は、 $c_{m_n} \neq k_j$ ならば、金型の脱着作業時間を加える。機械 m_n での処理開始可能時刻が、機械 x_j での処理開始可能時刻よりも早いと同一であれば、処理機械 x'_j を機械 m_n 、求めた時刻を処理開始時刻とし、ステップ2-2へ進む。遅ければ、ステップ2-1-4へすすむ。

ステップ2-1-4 $n:=n+1$ とし、ステップ2-1-2へ戻る。

ステップ2-2 ジョブ j の処理時間を、生産個数とステップ2-1で求めた機械 x'_j での1回の射出に要する時間から求める。

ステップ2-3 処理開始時刻に処理時間を加えて得られる値をジョブ j の処理終了時刻 e_j とする。

ステップ3 $a_{x'_j}:=e_j$ 、 $b_{k_j}:=e_j$ 、 $c_{x'_j}:=k_j$ とする。

ステップ4 $t=N_J$ ならばアルゴリズムを終了する。それ以外の場合は、 $t:=t+1$ とし、ステップ2へ戻る。

3.2.3 遺伝子列の書き換え

方法2では、復号前の遺伝子列が表す処理機械 x_j と、復号後に決定した処理機械 x'_j が異なる場合が生じる。4.で示すシミュレーションでは、そのような場合に、遺伝子列の値 x_j を復号時に変更した機械番号 x'_j に書き換える操作もあわせて評価する。

3.3 遺伝的演算子

交叉の手法としては、2点交叉を用いる。記号列(2)は、ジョブの処理機械と処理優先順位の2種類の情報を持つ。1回の交叉は、そのどちらか一方にしか適用されない。すなわち、異なる二つの個体の x 遺伝子列($x_1x_2\cdots x_j\cdots x_{N_J}$)を交叉する場合は、もう一方の y 遺伝子列($y_1y_2\cdots y_j\cdots y_{N_J}$)は、親の遺伝子列をそのままにコピーする。交叉を行う遺伝子列と遺伝子座は、ランダムに選ばれる。 y 遺伝子列の交叉では、ほとんどの場合に致死遺伝子を生じるため、それに対しては、数値の大小関係を保ちつつ新しく優先順位を付け直すことにする。すなわち、 $1, \dots, N_J$ の整数値をとる y 遺伝子が、必ず一つずつ存在する個体表現をとったが、交叉により一般には、0または二つとなるものが生じる。そこで、 y_j 値の小さい順に $1, \dots, N_J$ の値をとるように付け直す。より詳細には、付け直し前後の値をそれぞれ y_j, y'_j とすると、 $\forall i, j \in \{1, \dots, N_J\}, i \neq j$ に対して、 $y_i < y_j$ ならば $y'_i < y'_j$ 、 $y_i = y_j, i < j$ ならば $y'_i < y'_j$ とした。これにより、各 y_j 値の変化を小さく抑えつつ、各親個体内での大小関係(ジョブのスケジュール順)が継承されることになる。

突然変異は、 x, y 2種類の遺伝子列に対して、それぞれ異なった方法を用いる。 x 遺伝子列では、ランダムに選んだ1個の遺伝子が、その対立遺伝子と置き換えられる。 y 遺伝子列では、ランダムに選んだ2個の遺伝子座の遺伝子が交換される。交叉と同様に、1回の突然変異は、 x, y のうちランダムに選ばれたどちらか一方の遺伝子列にのみ適用される。

3.4 淘汰

選択淘汰の手法としては、ランク戦略を用いる。ランクは、各個体を評価関数値の小さいものから順に $1, 2, \dots, r, \dots, M$ (M は個体群サイズ)が付けられる。ランク r の個体に対する選択確率 Ps_r は、次式により求まる。

$$Ps_r = \frac{M-r+1}{\sum_{n=1}^M n} \quad (3)$$

また、エリート保存戦略により、ランク1の個体は、次世代に残される。

3.5 GA全体のアルゴリズム

以下の手順でGAを実行する。

ステップ1 世代を $t:=0$ とし、 M 個の個体をランダムに生成する。また、最終世代数 t^* を設定する。

ステップ2 各個体の記号列を復号し、評価関数値を求める。

ステップ3 各個体にランクを付け、ランク戦略により M 個の個体を選択する。

ステップ4 ランダムに二つの個体を選択して、 P_c の確率で交叉を行う。

ステップ5 交叉により得られた個体に対して、 P_m の確率で突然変異を行う。

ステップ6 ランク1の個体を次世代に残す。

ステップ7 $t=t^*$ ならばアルゴリズムを終了する。それ以外の場合は、 $t:=t+1$ とし、ステップ2へ戻る。

4. 実データによるシミュレーション

4.1 シミュレーションのための設定

4.1.1 ジョブの統合

ここでは、金型脱着作業を減じるための手法として、ジョブを統合する。これは、スケジュール前のジョブ作成段階で行われる。ジョブの統合は、同じ金型を使用するジョブをあらかじめ一定基準で統合するものである。具体的には、各ジョブの納期と仮想処理時間(機械ごとに処理時間が異なるため標準機械での処理時間を用いる)から統合の有無を決め、納期順に統合してゆく。ここで標準機械とは、過去のスケジュールにおいて、その金型の装着頻度が最も高い機械(射出圧)である。過去のデータがない場合には、装着可能機械中で処理速度が2番目に早いものとした。統合後のジョブを、スケジュールリングにおけるジョブと再定義する。以下に、そのアルゴリズムを示す。

ステップ1 全ジョブを金型の種類ごとのグループに分類する。同時に、グループの中で納期の早いものから順に並べたリストを作成する。

ステップ2 すべてのグループに対して、以下の統合作業を行う。

ステップ2-1 グループに属する全ジョブの総処理時間を求める。総処理時間が d 日以内ならば、無条件にこれらのジョブを統合する。そうでない場合は、ステップ2-2へ進む。

ステップ2-2 グループに属するジョブに対して、連続する二つのジョブの納期間隔をリストの先頭から調べていく。納期間隔が D 日以上の場合があれば、先行ジョブおよびそれより前のすべてのジョブを統合し、それらをリストから外す。リストに残っているジョブに対しては、ステップ2-1へ戻る。 D 日以上の間隔が存在しなければ、リストにあるすべてのジョブを統合して終わる。

なお、ここで導入した d と D は、後でも触れるように、それぞれジョブ規模と製品在庫を考慮するための二つの経験的パラメータである。

統合後のジョブの生産個数および納期は、統合前のジョブより求める。すなわち、生産個数は総和となり、納期はそれらの納期を考慮した最遅時刻とする。ジョブの統合の一例を Fig. 2 に示す。Fig. 2 では、 $d=3, D=5$ とし、ジョブ 1・ジョブ 2・ジョブ 3 をこの順に統合する。統合後のジョブの生産個数は、ジョブ 1~3 の総和（処理時間にして 4 日）。納期は、ジョブ 1~3 がいずれも納期を満たす最遅時刻を求める。その結果、統合後のジョブの納期は、(b) のように 5 日目となる。

Fig. 2 An example of uniting jobs

ジョブ統合が、ここで目的とするスケジュール作成に与える効果には、次のようなものが考えられる。まず利点として、統合の目的である金型脱着回数の低減のほか、問題規模の縮小が挙げられる。脱着回数は、評価関数でも脱着時間の加算で考慮されているが、金型脱着はその所要時間以外に作業者の負荷や金型の劣化など、更にスケジュールの評価を下げる要因であり、ここでは前処理としてのジョブ統合で対応した。逆に統合による難点には、各ジョブ規模の増大と、製品在庫の増大がある（ただし、在庫量については今回は陽には考慮していない）。この 2 要因を考慮するパラメータとして、上記方法では、それぞれ d と D を導入している。

4.1.2 データ

実際の工場における 2ヶ月分の受注データから作成した。データは、機械数 $N_M=22$ 、ジョブ数 $N_J=524$ 、それらのジョブで用いる金型数 $N_K=71$ から成る。ジョブデータは、4.1.1 の方法で $d=3, D=5$ として統合を行っ

た結果、ジョブ数 $N_J=524$ から $N_J=75$ に減少した。ここでのパラメータ値は、熟練者の判断をもとに決定した。ジョブ数が金型数とほぼ同数であることから、統合の目的どおり、金型の脱着回数が必要最低限数に抑えられている。

4.1.3 GA に関する設定

ここでは、まずジョブ統合の効果を調べ、次に遺伝子列の復号と書換えの方法によって、合わせて以下の 5 種類の GA を比較評価する。

GA0 復号は方法 1 を用いる。（未統合ジョブを用いる。）

GA1 復号は方法 1 を用いる。（統合ジョブを用いる。以下、同様。）

GA2 復号は方法 2 を用いる。

GA3 復号は方法 2 を用いる。また、エリート個体に対しては、遺伝子列の書換えを行った個体を生成する。この個体を、エリート個体と同様に次世代に残す。

GA4 復号は方法 2 を用いる。全個体について、遺伝子列の書換えを行う。

各 GA のパラメータは、計算終了までの世代数 $t^*=1000$ 、個体数 $M=300$ 、交叉確率 P_c および突然変異確率 P_m を、それぞれ 0.8、0.1 とした。ただし、GA0 についてのみ、計算終了までの世代数を $t^*=5000$ 、個体数 $M=400$ とした。

なお、以下に示すすべてのシミュレーションは、Sun 社製 SPARCstation 20 上で行った。

4.2 シミュレーション結果

まず、ジョブ統合の効果を見るために、GA0 と GA1 についてシミュレーションを行い、比較した。Fig. 3 に、乱数系列を変えて各 100 試行実行した結果、得られた評価値の頻度分布を示す。ただし、比較のため、GA1 については、得られた解において統合ジョブを再び元の個別ジョブに戻し、それぞれの納期遅れ・余裕に基づき計算される評価値に換算した。両者を比較すると、未統合データではほとんどが納期遅れとなり、良好な解の探索が行えていない。評価値が収束した平均世代数は、GA0 で 4650 世代目、GA1 で 36 世代目であり、問題規模が大きい GA0 では解空間を十分に探索できていない。終了世代までの計算時間は、1 試行平均 GA0 で 6990 秒、GA1 で 202 秒である。

Fig. 4 は、GA1 の同じ実行結果を、統合ジョブに対する本来の評価値の頻度分布で示したものである。ここで得られた最小値は $E=-103$ であり、32% を占めている。同じ統合ジョブに対して、シミュレーテッドアニーリング法 (SA) で計算した結果を Fig. 5 に示す。ここでは温度関数として次の 2 通りを用い、各 3000 ステップまで 10 試行実行した結果である。

Fig. 3 Comparison of GA0 and GA1

Fig. 4 Simulation result of GA1

Fig. 5 Simulation result of SA

$$T_3(t) = \frac{T_0}{(\log(t+1))^3} \quad (4)$$

$$T_2(t) = \frac{T_0}{(\log(t+1))^2} \quad (5)$$

ただし、 $T_0 = 3000$ とした。(4) 式の場合は、かなり早期に収束し、最小値は 7 試行で得られた $E = -103$ であった。(5) 式を用いた場合は、全試行とも $E = -103$ を最小値とし、3000 ステップ後にはこの値への収束傾向を

示し、そこまでの計算時間は平均 1440 秒であるが、実際の収束には更に長大なステップを要する。これらの結果から $E = -103$ が最小値であると考えられ、GA1 では、SA よりはるかに短い計算時間で、この値を 32% の割合で与えている。これらから、ここで用いた GA が、本問題に対して現実的に有効な手法であるとみなせる。ただし、かなり早い平均収束世代と 3 割強の獲得率より、早期収束の傾向が強い。これは、用いた個体表現が評価関数の景観を複雑なものとし、また、(収束時の評価値はごく少数のジョブの配置で決定されることより、) 問題規模に対して解空間と同時に最適解集合も指数関数的に増大し、更に多数の局所解を持つことから予想されることである。以下では早期収束に対する GA2-4 での操作の効果も合わせて見ることにする。

つぎに、最適機械使用率を考慮したシミュレーションを行う。GA1-4 を各 10 試行実行した。Fig. 6 に、シミュレーションで得られた各 GA の平均評価値と最適機械の使用率の比較を示す。最適機械の使用率は、全個体について遺伝子列の書き換えを行った GA4 が最も高くなっている。これに対し平均評価値は、GA2 で最も良く、GA4 では最も悪い値を出している。つまり、遺伝子列の書き換えの程度に応じて、最適機械使用率が高くなり、逆に平均評価値が悪化することがわかる。

評価値の平均収束世代数は、GA2, GA3, GA4 でそれぞれ 206, 20, 47 世代目となり、GA2 で著しく伸びている。また、評価値 $E = -103$ を得た割合は、それぞれ 100%, 70%, 0% であった。1000 世代目までの平均計算時間は、それぞれほぼ同じで 671 秒、653 秒、671 秒と GA1 の約 3.3 倍である。このことから、GA2 で、遺伝子を書き換えず、復号操作によってのみ機械選択を行うことで、評価値を保ちながら優先順位の高い機械選択を行えることがわかる。これはまた同時に、局所解から脱出する効果を与えたと考えられ、GA1 に見られた早期収束を改善し、より安定した収束を示した。GA3, 4 で復号に応じて遺伝子型も書き換えるに従いこの効果が弱くなり、早期収束の傾向を強める。

Fig. 6 Comparison of GA1-4 in two evaluations

5. 結言

本研究では、射出成型工程におけるスケジューリング問題に GA を適用し、実データでその有効性を検証した。また、総納期遅れ時間を GA の評価関数で最適化しつつ、最適機械の使用率を考慮した、表現型への復号手法を提案した。これは、同じ評価値を与える遺伝子型が多数存在するため、その中で第二の評価基準の最適化を図るものである。また、金型の脱着作業の縮小という評価項目に対しては、これをスケジューリングの前処理段階で考慮する、ジョブの統合法を提案した。

熟練者がスケジュールを作成する場合は、ここでは考慮しなかった次のような項目が、更にいくつか存在する。まず、今回は、全ジョブに対して早期の処理終了を目的としたが、これは在庫削減とは相反するものであり、特に大型製品に対しては、納期余裕最小（在庫期間最小）を考慮する必要がある。また、基本スケジュールは月単位で作成するが、実際には割り込み受注が発生し、中期時間スケール（週単位）での効率的再スケジューリングが行われる。さらに、先行月スケジュールとの連続性が必要であり、たとえば、各機械の最早処置開始可能時刻は一律ではない。これら含めた GA による最適化を、現在検討中である。

参考文献

- 1) 北野：遺伝的アルゴリズム，産業図書（1993）
- 2) 茨木：スケジューリング問題の新解法 (1) スケジューリング問題と計算の複雑さ；日本オペレーションズ・リサーチ学会誌，Vol. 39, No. 10, pp. 541-546 (1994)
- 3) 三宮：スケジューリング問題に対する遺伝アルゴリズム；日本オペレーションズ・リサーチ学会誌，Vol. 39, No. 12, pp. 659-664 (1994)
- 4) 玉置，長谷川，小笹，荒木：メタ戦略によるプラスチック成型工程スケジューリング問題の解法—バイナリ記号表現によるアプローチ—；計測自動制御学会論文集，Vol. 31, No. 5, pp. 650-657 (1995)