

ASIC 製造工場の運転支援システムの開発 (1)

- 自律分散型スケジューリングアルゴリズム -

01307816 九州大学 ※ 武田和宏 TAKEDA Kazuhiro
九州大学 柘植義文 TSUGE Yoshifumi
01603626 九州大学 松山久義 MATSUYAMA Hisayoshi

1. 緒言

ASIC (特定用途向集積回路) 製造工場では以下の4つの要因により、工場を効果的に集中管理することが非常に困難である。要因1) 製造期間よりも短い間隔で装置を定期補修する。要因2) 装置が未熟なため故障が頻発する。要因3) 納期が非常に短い(特急ロット)が存在する。要因4) 装置の自動化の程度が低い。

そこで本研究では、スケジューリングを装置毎に分散して決定することにより、装置の故障・定期補修と特急ロットに対して頑健な運転支援システムを提案する。

2. ASIC製造プロセス

ひとつのウェハ上には複数のASICが組み立てられており、さらに、複数のウェハはロットという単位で運ばれる。各装置は1ロットずつ処理するものとする。この処理を処理ステップと呼ぶ。銘柄毎に原料から製品に至るまでの処理ステップの順列をプロセスフローと呼ぶ。工場内で最も加工能力が低い装置(以下では律速装置と呼ぶ)での処理ステップが最後になるようにプロセスフローを分割した順列をフローと呼ぶ。ただし、プロセスフローの中で律速装置による最後の処理ステップ以降はフローと呼ばない。対象とするASIC製造工場では、ウェハは多くの装置を直列に経由して製品となる。

工場の操業時間に対して、装置eの実際に動作可能な時間割合を $u(e)$ とし、eの合計稼働時間と $u(e)$ の比をeの代表処理時間と呼ぶ。また、銘柄bの製造割合を $p(b)$ とする。

3. 既往のスケジューリング法

3-1. 方法1 各装置で処理すべきロットは先入れ先出しで選択し、処理が可能であればすぐに処理を行う。ただし、平均製造期間では納期を満足しないと判断したロットは優先的に選択する。工場へ投入するロットは、投入ロット数と $p(b)$ の比を最小にする銘柄とし、律速装置の代表処理時間の間隔で投入する。

3-2. 方法2 Lozinski(1988)らの手法を改良した手法である。銘柄bの処理ステップsを行う装置を $e(b,s)$ 、1ロットあたりの処理時間を $w(b,s)$ 、sを含むフローの律速装置で行われる処理ステップを $S(b,s)$ とすると、プロセスロケーション $d(b,s)$ をEq.(1)で定義する。

$$d(b,s) = \sum_{i=s}^{S(b,s)} \frac{w(b,i)}{u\{e(b,i)\}} - w\{S(b,s)\} \quad (1)$$

銘柄bの処理ステップsの待ち行列に存在するロット数を $n(b,s)$ 、フローjにおけるプロセスロケーションがd以下の処理ステップの集合を $D(b,j,d)$ とすると、銘柄bのフローjにおける累積作業量関数 $f(b,j,d)$ をEq.(2)で定義する。

$$f(b,j,d) = W(b,j) \sum_{s \in D(b,j,d)} n(b,s) \quad (2)$$

つぎに、すべての銘柄B、管理対象であるすべてのフローJにおける工場全体の累積作業量関数 $F(d)$ をEq.(3)で定義する。

$$F(d) = \sum_{b \in B} \sum_{j \in J} f(b,j,d) \quad (3)$$

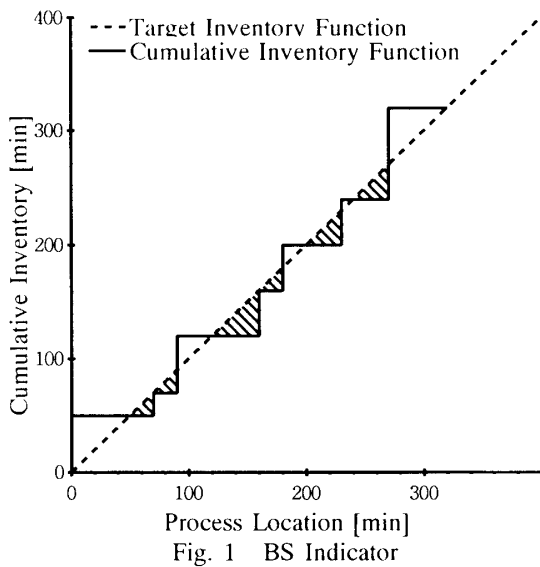
目標作業量関数 $T(d)$ をEq.(4)で定義する。

$$T(d) = d \quad (4)$$

Fig.1に示すような、工場全体の累積作業量関数 $F(d)$ (実線)と目標作業量関数 $T(d)$ (点線)の関係を示したグラフをBSインディケータと呼ぶ。銘柄bの処理ステップsを1ロット処理するとき、 $F(d) \leq T(d)$ となる面積(網掛け部分)の減少量を $L(b,s)$ とする。各装置では、 $L(b,s)$ と $w(b,s)$ の比が最も高いロットを選択し、処理が可能であればすぐに処理を行う。ただし、平均製造期間では納期を満足しないと判断したロットは優先的に選択する。

工場へ投入するロットの銘柄は方法1と同じ指標を用いて決定し、プロセスロケーションの最大値 d_{max} に対して、律速装置の代表処理時間の間隔でEq.(5)の条件を満足したときに投入する。

$$\int_0^{d_{max}} F(t) dt < \int_0^{d_{max}} T(t) dt \quad (5)$$



4. 自律分散型スケジューリング法

本研究では、工場内の各装置が処理の進行状況に応じて自律的に協調し、工場内に物持ちや物余りが生じるのを防ぐ方法を提案する。銘柄 b の処理ステップ s での処理において、あるロットを処理した後に、次のロットの処理を開始することのできる時刻を処理開始可能時刻 $C(b,s)$ と呼び、Eq.(6) で定義する。

$$C(b,s) = C(b,s+1) + \text{MAX}_{i>s} [w(b,i)] - w(b,s) \quad (6)$$

ただし、 $C(b,s) < C(b,s-1)$ のときは $C(b,s) = C(b,s-1)$

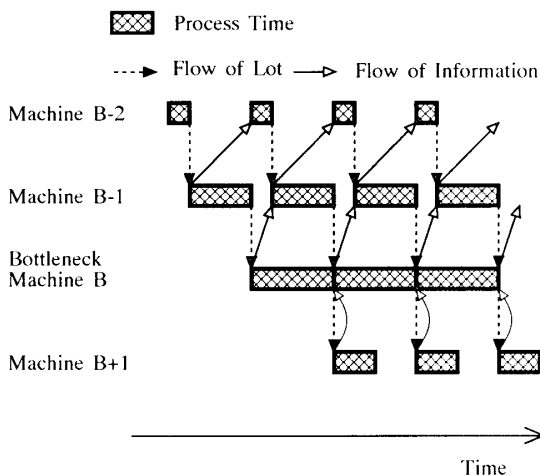


Fig.2 Flow of Lots and Information

処理開始可能時刻の例を Fig.2 に示す。実線矢印は処理開始可能時刻の伝達、波線矢印はロットの流れを示す。

定期補修などにより装置が停止する場合、そ

れに備えてバッファを蓄えておく必要がある。そこで、銘柄 b の処理ステップ s での総処理ロット数 $NB(b,s)$ により、Eq.(7) の条件が満足されるまで、各装置 e の処理開始可能時刻の間隔を $u(e)$ 倍に縮小して処理する。

$$u\{e(b,s)\} NB(b,s) = u\{e(b,s+1)\} NB(b,s+1) \quad (7)$$

工場を最適に運転するためには、すべての処理ステップの処理ロット数が均一になるように待ち行列を分布させる必要があると考えられる。そこで、ある装置のすべての待ち行列において、処理開始可能時刻をすぎたロットの中で、 $NB(b,s)$ と $p(b)$ の比が最小のロットを選択する。ただし、平均製造期間では納期を満足しないと判断したロットは優先的に選択する。ただし、初期状態において存在する仕掛かりロットは工場内の待ち行列分布を乱していると考え、処理開始可能時刻を過ぎていなくとも選択対象とする。また、ロット処理中に装置が故障した場合は、そのロットを破棄し、そのロットに関する履歴を消去する。

つぎに、工場へ投入する処理ステップには、無限個の待ち行列が存在すると仮定する。投入するロットの処理可能時刻をすぎた銘柄 b に対して、 $NB(b',s)$ と $p(b')$ の比が b よりも小さく、かつ、 $p(b')$ と b' の理論的な製造期間の積が大きい銘柄 b' があれば、 b は投入しない。そうでなければ、 b を投入する。ただし、平均製造期間では納期を満足しないと判断したロットは投入する。

5. 結言

ASIC 製造工場は、要因 1) ~ 要因 4) などから工場内のロットを集中管理することが非常に困難である。そこで本研究では、各装置で分散して意思決定する自律分散型のスケジューリング法を提案した。提案した手法は、装置の停止やスケジュールの変更などの外乱に対して頑健に、多くのロットを短時間に製造することが可能であると期待できる。

6. 参考文献

Lozinski, C. and C. Roger Glassey: "Bottleneck Starvation Indicators for Shop Floor Control", IEEE Trans. Semi. Manu., Vol. 1, No. 4, PP. 147-153, 1988