

SEMI E124-1107 (Reapproved 0313)

総合工場効率（OFE）およびその他の工場レベルの生産性測定基準の定義とその計算法についてのガイド

NOTICE: This translation is a REFERENCE COPY ONLY. If differences should exist between the English version and a translation in any other language, the English version is the official and authoritative version.

免責事項： この SEMI スタンダードは、投票により作成された英語版が正式なものであり、日本語版は日本の利用者各位の便宜のために作成したものです。万が一英語と日本語とに差異がある場合には英語版記載内容が優先されます。

SEMI スタンダード日本語翻訳版をご利用にあたっての注釈を本文の末尾に記載しております（「すべきである」「しなければならない」について等）。

本スタンダードは、Metrics Global Technical Committee で技術的に承認されている。現版は 2012 年 12 月 20 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2013 年 3 月に www.semiviews.org および www.semi.org で入手可能となる。初版は 2003 年 7 月発行。前版は 2007 年 11 月発行。

注意：「Current」のステータスを維持するための条件が現時点で満たされていないため、このスタンダードまたは安全ガイドラインは「Inactive」ステータスとなっています。「Inactive」のスタンダードまたは安全ガイドラインは SEMI から入手可能であり、引き続き有効です。

1 目的

1.1 このガイドは、工場が所期の能力に対して（ある製品ミックスを前提として）実際にどの程度の効率で稼動しているかを表わすための測定基準について述べたものである。これらの測定基準を使用すれば、工場稼動の状況を付加価値を生む生産の観点から継続的に把握することができ、有益な操業上の決定を下すことができる。また、この測定基準は、半導体生産のあらゆるレベルにおいて見られる現在進行中の改善プロセスにも使用することができる。

1.2 このガイドにおける測定基準は、すでに稼動中の工場の生産活動を相対的に評価することを目的としたものであり、新工場のデザインまたは手直しにあたっての生産能力分析を目的としたものではない。しかし、これらの測定基準のいくつかは、装置セットの選択や生産計画方針を考える際の工場シミュレーションに使用することもできる。

2 範囲

2.1 工場の全体的効率を評価するには、少なくとも 3 項目についての測定が必要である。すなわち、製造活動、資産活用、そしてコストである。このガイドは、製造活動の評価に重点を置いている。資産活用とコスト（およびその他の経済的要因）については、ここでは扱わない。

注 1: 他の領域における測定基準については、「関連情報 3」の¶ R3-1.1 を参照されたい。

2.2 このガイドでは、一体となった製造ライン全体（したがって、たとえば、製造ロットがいったん生産ラインを離れ、再び戻ってくるようなことがない）の測定基準について述べる。同じ工場内の複数の製造ラインが同じリソース（原材料取り扱いや製造装置など）を共有しているのでなければ、これらのラインは個別に評価することができる。

注意： このスタンダードおよび安全ガイドラインはその使用に関連した全ての安全上の問題を取り扱うことを意図していない。この文書の利用者は、その責任において、適切な安全および健康上実施すべき事項を決定し、また使用前に法規制やその他の制限への適用性を判断するものである。

3 制限

3.1 このガイドでは、工場レベルの生産性は、材料の入手性、生産するデバイスの設計の効率性、顧客の需要など、工場それ自体の範囲を超えた要因に大きく影響されるという事実留意する必要がある。

3.2 このガイドにおける測定基準は、工場における製造過程の全体的な効率の評価を目的としたものであって、工場内の問題点（あるいは改善の機会）を診断するためのものではないが、一部の要素に関する測定基準はこれらの問題診断にも使用することができる。

注 2: これら 2 つの測定基準の相違については、「関連情報 3」の¶ R3-1.2 を参照のこと。

3.3 このガイドでは製造ラインの全体的な生産性に関する測定基準と計算方法を示すが、これらはいずれも、製品基板が工場内を、組み立てや解体工程を経ることなく、流れていくような製造環境（ウェーハファブ、フラットパネル工場、一部のディスクドライブ製造施設など）のみを対象としたものである。これらの測定基準は、ウェーハ製造後におけるバックエンドのチップ製造工程にも適用することができるが、その際にはリードフレームは製造工程ではなく材料であると考えことにする。このガイドは将来的に拡張され他のより複雑な製造環境（組み立て工程を含む）をカバーすることが考えられる。また、これ以外の測定基準が追加されること、ここで述べた測定基準が拡張されアセンブリー工程をきちんとカバーするものになるかもしれない。さらに、ウェーハ移動の観点からファブの生産性を測定する新たな基準が策定されることも考えられる。

4 参照スタンダードおよび文書

4.1 SEMI スタンダードおよび安全ガイドライン

SEMI E10 — Specification for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) and Utilization

SEMI E35 — Guide to Calculate Cost of Ownership (COO) Metrics for Semiconductor Manufacturing Equipment

SEMI E58 — Automated Reliability, Availability, and Maintainability Standard (ARAMS): Concepts, Behavior, and Services

SEMI E79 — Specification for Definition and Measurement of Equipment Productivity

SEMI E116 — Specification for Equipment Performance Tracking

注意： 別途指示のない場合、引用された全ての文書は最新版を指す。

5 用語

5.1 略語および頭字語

5.1.1 CONWIP (*Constant Work in Process*) — 固定仕掛

5.1.2 COO (*Cost of Ownership*) — コストオブオーナーシップ

5.1.3 GUE (*Good Unit Equivalents*) — 等価良品数

5.1.4 OEE (*Overall Equipment Efficiency*) — 総合装置効率

5.1.5 OFE (*Overall Factory Efficiency*) — 総合工場効率

5.1.6 THT (*Theoretical Production Time*) — 理論製造時間

5.1.7 WIP (*Work in Process*) — 仕掛品

注 3: 以下に定めるすべての測定基準は、測定された時間に対して計算するものとする。

注 4: ¶ 6.3 の数式 1 から 22 に以下の測定基準のいくつかの詳細な定義を示す。

5.2 定義

5.2.1 スループット値 (*actual throughput rate*) — 完成した製造単位の数 (*finish units out*) を総時間 (*total time*) で除した値 (完成したウェーハをどれだけ速く工場から出荷できるかを示す)。

5.2.2 有用性効率 (*availability efficiency*, 準備時間を総時間で除した値) — 装置が所期の機能を発揮できる状態になるまでに要する時間と総時間 (*total time*) との比率。 [SEMI E79]

5.2.3 平均サイクル時間 (*average cycle time*) — 完成したすべての製造単位に対するサイクル時間 (*cycle time*) の (非加重) 平均。

5.2.4 平均仕掛品 (*average work in process*, (*average WIP*)) — 平均サイクル時間 (*average cycle time*) に有効スループット (*actual throughput rate*) を乗じた値 (最終的に製造単位 経路を示す平均値)。

注 5: この測定基準は *WIP* の時間平均値ではない。*WIP* の時間平均値には、完成前にスクラップにされる製造単位も含まれるからである。

5.2.5 バランス効率 (*balance efficiency*) — 限界 *WIP* (*critical WIP*) を工程能力 (*process capacity*) で除した値 (装置類のバランスの程度を示す)。

5.2.6 最良サイクル時間 (*best-case cycle time*) — 理論サイクル時間 (*theoretical cycle time*) , または平均 *WIP* (*average WIP*) をボトルネックスループット値 (*bottleneck throughput rate*) で除した商のいずれか大きい方の値 (ある *WIP* ローディングについて、その工場において実現可能な最良サイクル時間を示す)。

5.2.7 最良スループット値 (*best-case throughput rate*) — ボトルネックスループット値 (*bottleneck throughput rate*) , または平均 *WIP* (*average WIP*) を理論サイクル時間 (*theoretical cycle time*) で除した商のいずれか小さい方の値 (ある *WIP* ローディングについて、その工場において実現可能な最良スループットを示す)。

5.2.8 ボトルネックスループット値 ($R_{\max}$) (*bottleneck throughput rate*) — 現時点でボトルネックとなっている装置によって決まる工場スループット値の上限。工程変更によってある製品のの数値に変化が生じた場合、これらの計算を行う際には工程変更の前後の製品は別の製品として扱う必要がある。

注 6: この測定基準は、SEMI E79 の手順書による理論製造単位スループット (*theoretical unit throughput by recipe*) と同様の値である (但し同一ではない)。

注 7: この測定基準は、各製品のボトルネックスループットの平均ではない。

5.2.9 限界 *WIP* (*critical WIP*) — 理論サイクル時間 (*theoretical cycle time*) にボトルネックスループット (*bottleneck throughput rate*) を乗じた値 (工場が最短のサイクル時間で最大のスループットを実現するにあたって理論的に許容される *WIP* レベルを表わす)。

5.2.10 サイクル時間 (*cycle time*) — 工場内の *WIP* に 1 個の製造単位 (*unit of production*) が費やす時間。

5.2.11 完成製造単位 (*finished units out*) — 測定期間中に加工とテストを完了した製造単位 (*unit of production*) の数。

5.2.12 等価良品数 (*good unit equivalents (GUE) out*) — 測定期間中、工場内に存在するすべての良品を包含する母集団としての製造単位 (*unit of production*) の数 (整数とならないこともある)。

5.2.13 ライン歩留まり (*line yield*) — 工程を終了して工場から出荷される製造単位の比率 (スクラップとなった製造単位など、相対的な材料損失を表わす)。

5.2.14 平準化製造効率 (*normalized production efficiency*) — 平準化指数 (*normalizing exponent*) を使用して求めた製造効率 (*production efficiency*) の値 (工場の動的機能面から平準化された工程効率を表わす)。

5.2.15 平準化指数 (*normalizing exponent*) — 製造効率 (*production efficiency*) を平準化する際に使われる指数。1/2 の値を用いて平準化製造効率 (*normalized production efficiency*) を計算する場合は、工場が閾値条件 (操業状態が良好であるか不良を判別する) で操業していることを示す。

5.2.16 稼働効率 (operational efficiency) — 装置が実ユニットを処理している装置アップタイム (equipment uptime) の割合。[SEMI E79]

5.2.17 総合装置効率 (overall equipment efficiency : OEE) — 装置性能の1つの単位で、有効出来高を総時間 (total time) で割った理論生産時間の値を表す (CSM 21)。¹

5.2.18 総合工場効率 (overall factory efficiency : OFE) — 容積効率 (volume efficiency) に歩留まり効率 (yield efficiency) を乗じた値 (指定された製品ミックスを基準として、工場が本来有している能力に対し、実際にどの程度の効率で稼働しているかを表す)。

5.2.19 工程能力 (process capacity) — 工場全体で同時に加工できる製造単位 (units of production) の最大数 (材料運搬装置で運搬される製造単位を含む)。

5.2.20 製造効率 (production efficiency) — スループット値およびサイクル時間効率 (throughput-rate and cycle-time efficiency) に WIP 効率 (WIP efficiency) を乗じた値 (工場の動的機能面から見た製造の効率を表わす)。

5.2.21 品質効率 (quality efficiency) — 実ユニットに関する理論生産時間で除した有効ユニットに関する理論生産時間。[SEMI E79]

5.2.22 最終スクラップ数量 (scrapped units out) — 測定期間中に、完成することなく工場外に持ち出された製造単位 (破損品、外部での再加工品などを含む) の数量

5.2.23 ボトルネック装置のセット (Fe^*) (set of bottleneck equipment) — 測定期間中、工場内の同じタイプの製造装置の集合で最も高い平均稼働効率 (operational efficiency) を有するもの。このセットの要素は「f」で表わされ、装置タイプは「e*」で表わされる。

注 8: このボトルネック装置のセットは、計画段階で工場のボトルネックとされた装置セット(多くの場合は高価なリソグラフィ露光装置)とは必ずしも一致せず、測定期間中に最も高い平均稼働効率(operational efficiency, 使用可能状態にある時間と実際に使用した時間の比率)を持つ装置セットであることが多い。もし、ほかの装置セットの使用可能時間が予想を大きく下回る値を示した場合は、その装置セットがボトルネックとなる。したがって、2つの連続した期間において異なる装置セットがボトルネックとなることもあれば、2つの期間の間にある期間のボトルネック装置セットが、両側の2つの期間のものとは異なることもある。

5.2.24 タイプ e の装置のセット (Fe) (set of equipment of type e) — 工場内にあるタイプ $e \in E$ の製造装置の集合。このセットの要素は「f」で示される。

5.2.25 各種装置タイプのセット (E) (set of equipment types) — 工場内にあるさまざまなタイプの製造装置の集合。測定装置、材料運搬装置、コンベアを含む。このセットの要素 (各種タイプの装置) は、「e」で表わす。

注 9: 製造単位の工程間移動が手動によって行われる場合、このガイドにおける測定基準を計算する際には運搬要員(およびすべてのカート類や可動装置)も一種の装置であると考えerる必要がある。この取り扱いには作業者を非人間的に扱うものではなく、このような測定基準の計算に、手動運搬時間を理論サイクル時間(theoretical cycle time)として考慮に入れることが目的である。

5.2.26 装置タイプ e における製品タイプ p の工程ステップのセット (Spe) (set of process steps of product type p on equipment type e) — 装置タイプ e における製品タイプ p の製造単位に対して計画された各種工程ステップセットの集合 (測定検査と材料運搬を含む)。このセットの要素は「s」で表わす。

5.2.27 各種製品タイプのセット (P) (set of product types) — 工場で製造されたさまざまなタイプの製品の集合。このセットの要素は、「p」で表わす。

5.2.28 テスト歩留まり (test yield) — 工程を終了して最終テストに合格し、工場から出荷される製造単位の比率 (パラメータまたは機能上の不具合による相対的損失を表わす)。

5.2.29 理論サイクル時間 (theoretical cycle time) — 製造単位 (unit of production) が装置または運搬装置の空きを待つ必要がなく、また、手順に応じたセットアップを行う必要がない場合に、工場内における

¹ CSM 21: 95-03 Closed-Loop Measurement of Equipment Efficiency & Capacity, 1995; Engineering Systems Research Center, University of California, Berkeley. Telephone: +1.510. 642.4994; Fax: +1.510.643.0966; <http://www.me.berkeley.edu/esrc/techreports.html>

製造単位 (unit of production) の加工に必要な最小時間 (製品運搬時間を含む)。この測定基準は、直接加工時間 (raw process time) と呼ばれる。製品の工程変更によってこの数値に変加が生じた場合、これらの計算を行う際には工程変更の前後の製品は別の製品として扱う必要がある。完成品 (または工程フロー) が 2 種類以上におよぶ場合は、各製品の理論サイクル時間 (theoretical cycle time) の平均値を取る。この平均値は、完成製造単位 (finished units out) に対するその製品の比率に基づく加重平均とする。

注 10: この測定基準は、SEMI E79 の 1 製造単位あたりの理論製造時間 (theoretical production time per unit), と同様の値である (但し同一ではない)。

5.2.30 1 製造単位あたりの理論製造時間 (THT) (theoretical production time per unit, 時間/製造単位)

— 以下の前提の下での 1 製造単位の処理に要する最小時間の値:

- 特定レシピ (The specified recipe)
- 装置設計 (The equipment design)
- 連続操作 (Continuous operation)
- 効率無損失 (No efficiency losses) [SEMI E79]

5.2.31 理論スループット値 (theoretical throughput rate) — ボトルネックスループット値 (bottleneck throughput rate), または WIP 能力 (WIP capacity) を理論サイクル時間 (theoretical cycle time) で除した商のいずれか小さい方の値 (工場スループットの上限を表す。この値は実際には実現できない)。

5.2.32 レシピによる理論ユニットスループット (theoretical unit throughput by recipe (THTP)) — 所定の生産レシピに関し、装置によって理論的にプロセス可能な時間当りのユニット数。各レシピについて、理論ユニットスループットはユニット当りの理論製造時間 (theoretical production time per unit) の逆数に等しい。 [SEMI E79]

5.2.33 スループット値 (throughput rate) — 定められた時間に工程を通過する製造単位 (unit of production) の数。

5.2.34 スループット値およびサイクル時間効率 (throughput-rate and cycle-time efficiency) — 最良サイクル時間 (best-case cycle time) を平均サイクル時間 (average cycle time) で除した値 (スループットおよびサイクル時間に関する工場の相対的能力を表す)。

5.2.35 総時間 (total time) — 観察時間中のすべての時間 (1 日 24 時間, 週 7 日)。総時間を正確に表示するには、6 つの基本装置状態をすべて計上し、正確にトラッキングしなければならない。 [SEMI E10]

注 11: 工場レベルの生産性を示す測定基準においては、総時間 (total time) は平均サイクル時間 (average cycle time) よりも大きくなければならない (少なくとも平均サイクル時間 (average cycle time) の 2 倍とし、個々のどの完成製造単位 (finished units out) のサイクル時間 (cycle time) よりも大きくすることを推奨する)。

5.2.36 (製造) 単位 (unit of production) — 工場内における基本的存在 (ファブにおけるウェーハ、フラットパネル工場におけるガラス基板、ウェーハ製造後のバックエンドのチップ製造施設におけるダイなど) で、製品の素材として扱われる (これらの素材は、組み立て工程や分解工程を経ずに工場内を移動する)。製品用のユニットだけが対象となる (テストウェーハやその他の製品外デバイスは含まない)。

注 12: この定義は、内容をより明確なものとするために、SEMI E10 における定義よりも限定的な内容となっている。

注 13: 製品ロットサイズは複数の製造単位 (units of production) を含むことができ (実際に含まれることが多い)、製造単位には複数の製品デバイスを含むことができる (実際に含まれることが多い)。ユーザーは、単一の製造単位 (unit of production) で製品ロットを構成することができるが、この選択は以下のような理由から推奨できない。

- ロットサイズの選択 (およびその直列的な工程構成によって生じる不可避免的な待機時間) が、工場の効率評価のための関連要素として扱えなくなる。
- ロットのサイズが変動する可能性がある (同じ工場内においても)
- 他の SEMI 標準との間で製造単位 (unit) の意味の整合性が取れなくなる。

- 最終スクラップ数量 (scrapped units out) を正確に考慮に入れることができなくなる。

5.2.37 アップタイム (装置アップタイム (uptime (equipment uptime)) — 装置システムが所期の機能を果たせる状況にある時間。これには生産、待機およびエンジニアリング時間が含まれ、ダウンタイムあるいは非計画時間 (nonscheduled time) は含まれない。 [SEMI E10]

5.2.38 容積効率 (volume efficiency) — 平準化製造効率 (normalized production efficiency) にバランス効率 (balance efficiency) を乗じた値 (工場の動的機能面から見た工程の総合的な効率を表わす)。

5.2.39 WIP 能力 (WIP capacity) — 工場内に置くことができる製造単位 (units of production) の最大数 (棚、ストッカー、材料運搬装置、装置の取り付けポート、搬送装置用バッファ、処理室内などにあるものを含む。しかし、テスト用ウェーハ、ダミーウェーハ、モニター用ウェーハといった非製造単位のために必要なスペースは含まない)。

注 14: この値は工場内に限界まで製造単位を配置した状態を示すものであって、実用的な WIP レベルではない。

5.2.40 WIP 効率 (WIP efficiency) — 限界 WIP (critical WIP) または平均 WIP (average WIP) のいずれか小さい方の値を大きい方の値で除した商 (工場の動的機能面から見た WIP レベルの効率を表わす)。

5.2.41 WIP 出来高 (WIP turnover) — 完成製造単位 (finished units out) を平均 WIP (average WIP) で除した値 (仕掛品在庫の置き換え頻度を示す)。

5.2.42 仕掛品 (WIP) (work in process) — 工場内に出回った製造単位 (units of production) で、スクラップにされたり外部工程に回されたりしていないものと、すべての工程がまだ完了していないものの合計数。

5.2.43 出来高効率 (yield efficiency) — ライン歩留まり (line yield) にテスト歩留まり (test yield) を乗じた値 (総合的な材料効率を示す)。

注 15: この測定基準は、SEMI E79 の品質効率 (quality efficiency) と同様の値である (但し同一ではない)。

5.3 記号

5.3.1 E — 各種装置タイプのセット

5.3.2 e^* — ボトルネック装置タイプ

5.3.3 f — 装置セットの要素

5.3.4 F_e — タイプ e の装置のセット

5.3.5 F_{e^*} — ボトルネック装置のセット

5.3.6 p — タイプのセットの要素

5.3.7 P — タイプのセット

5.3.8 s — 処理ステップのセットの要素

5.3.9 S_{pe} — 装置タイプ e 上のタイプ p の処理ステップのセット

6 計算測定基準

6.1 図 1 は、§ 5 および § 6 に示した測定基準間の関係を示したものである。矢印は、従属的な測定基準から、これらの従属的測定基準を使用して主要な定義が行われている測定基準の方向へ引かれている。一番上の行に示されている用語 (太線枠) は基本的な構成要素となる測定基準で、このガイドでは式が定義されていないが、その他の測定基準については本ガイドに式が併記されており、その式は図に式番号で示されている。一番下の列は OFE を表わす測定基準で、これには他のほとんどすべての測定基準が関係しているが、その従属的測定基準の多くは独立して使用することができる (特に、データの入手性や信頼性が問題となる場合)。左側 (二重線枠) は品質的な測定基準で、材料の使用に関する工程の効率

を表わすものである。その他の測定基準（実線枠）は製造上の測定基準で、工場の動的機能面から見た工程の効率を表わす（出来高とスクラップ損失の影響は含まない）。

注 16: 付属書 1 には、これらの製造測定基準の背景となる基礎的理論についての説明を示す。

6.2 総合装置効率（OEE）とは異なり、OFE とその要素の次元は時間を時間で除した形にはならない。これは、工場内のすべての装置が同じ時間枠で存在したり稼動したりしている訳ではないためである。OEE 同様、OFE には次のような特徴がある。

- 製品ミックス、工程フロー、各種作業、時間枠の影響を受けるので、異なる工場を比較する場合や、製品ミックスや工程が変更された際など、同じ工場内における比較でも時期が異なる場合は、これらの影響を考慮すべきである（このような場合の比較も有効ではある）。特に、工場における変化が外的要因（非ボトルネック装置の需要や過剰能力など）によるものである場合は考慮すべきである。
- 下流側の需要や製品による重要性の変化は包まない。（これらは別々の測定基準で扱われることになる）
- 0（まったく統制が取れていない状態あるいは完全に麻痺した状態）から 1（理想的な状態。実際には実現できない）の間の値をとる。
- 無次元の各種効率から求めた値である。

INACTIVE