

SEMI E124-1103

総合工場効率(OFE)および工場レベルにおけるその他の関連生産性測定基準の定義と計算に関する暫定ガイド

免責事項: この SEMI スタンドアードは、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。

本暫定ガイドは、Global Metrics Committee で技術的に承認されたもので、North America Metrics Committee が直接責任を負うものである。現版は、2003 年 7 月 27 日および 2003 年 9 月 3 日 North America Regional Standards Committee にて承認されている。2003 年 9 月にまず www.semi.org で入手可能になり、2003 年 11 月発行に至る。前版は 2003 年 7 月発行。

1 目的

1.1 このガイドは、工場の現有能力に対し、(指定された製品ミックスを基準として) 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を示すものである。これらの測定基準を使用すれば、(付加価値製品の製造に関して) 有益な操業上の決定を下すことができると同時に、その指標を判断することによって工場能力を維持することができる。また、これらのガイドは、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、現在稼動中の工場における製造過程の相対的効率の評価を目的としたものであり、工場の設計または再設計にあたっての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、設備の選択や日程計画方針のため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、判定の必要な要素が少なくとも 3 つある。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。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 項を参照されたい。

2.2 このガイドでは、統合化された製造ライン全体の各種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設備など)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。

2.3 総合工場効率(overall factory efficiency: OFE)というのは新しい概念であるため、このガイドも暫定的なものである。製造工場におけるデータ収集、測定基準の計算、これらの測定基準がデータに及ぼす影響の評価などによって測定基準の有効性を確認した後、(SEMI の規定に従って) このガイドに変更を加えて更新を行い、暫定的なものから最終的なものとする必要がある。また、その他の補足的測定基準を定めることによって、ここに定める測定基準の定義を組み立て工程にまで拡張することも可能である。

注意: このスタンダードはその使用に関連したすべての安全問題を取り扱うことを意図していない。このスタンダードの利用者は、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柄を確立し、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。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 項を参照のこと。

3.3 このガイドでは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、組み立て工程や分解工程を伴わず、製品の基本構成要素が工場内を移動するような製造環境（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、リードフレームが（工場所内に帰する製造単位ではなく）消費材料であると考えられる場合、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。このガイドは将来的に拡張され（組み立て工程を含む）ることが予想される。

4 参照スタンダード

4.1 SEMI スタンダード

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

SEMI E79 — Standard for Definition and Measurement of Equipment Productivity

注意：別途指示のない場合、引用されたすべての文書は最新の出版バージョンである。

5 用語

注 1： 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。

5.1 定義

5.1.1 スループット値 (*actual throughput rate*) — 完成した製造単位の数を合計時間で除した値（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）。式 19 を参照。

5.1.2 有用性効率 (*availability efficiency*, 準備時間を総時間で除した値) — ある設備が本来意図した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との比率 (SEMI E79)。

5.1.3 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の（非加重）平均。

5.1.4 平均仕掛品 (*average work in process, (average WIP)*) — 平均サイクル時間に有効スループットを乗じた値（最終的に製造単位経路を示す平均値）。式 15 を参照。

注 2： 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。

5.1.5 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（設備類のバランスの程度を示す）。式 5 を参照。

5.1.6 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）。式 18 を参照。

5.1.7 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）。式 20 を参照。

5.1.8 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る設備によって決まる工場スループット値の上限。製品の工程変更によってこの測定基準に変更が生じた場合は、これらの計算を行う際にその製品を別の製品として扱う必要がある。式 17 参照。

注 3： 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）。（5.1.32 項参照。）

注 4： 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。

5.1.9 限界 WIP (W_0) (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)。式 10 を参照。

5.1.10 サイクル時間(cycle time) — 工場内の WIP に 1 個の製造単位が費やす時間。

5.1.11 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の数。

5.1.12 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の数(整数とにならないこともある)。式 12 参照。

5.1.13 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)。式 6 参照。

5.1.14 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)。式 4 参照。

5.1.15 平準化指数(normalizing exponent) — 製造効率(production efficiency)を平準化する指数。平準化製造効率(normalized production efficiency)の値が $\frac{1}{2}$ の場合は、工場能力が許容限界(これ以上の値であれば操業状態は良好であるが、これ以下の場合は不良と判定される)にあることを示す。式 9 参照。許容限界値の意味、および平準化指数(normalizing exponent)の式の導出については、関連情報 1 の R1-1.7 項および R1-1.8 項を参照のこと。

5.1.16 稼働効率(operational efficiency) — 設備が実際に製造単位の加工を行う設備の稼働時間(uptime)の比率(SEMI E79)。

5.1.17 総合設備効率(overall equipment efficiency (OEE)) — 設備の性能を示す測定基準。有効完成製造単位に対する理論製造時間を総時間(total time)で除した値(SEMI E79)。

5.1.18 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わす)。式 1 参照。

5.1.19 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)。式 11 参照。

5.1.20 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)。式 8 参照。

5.1.21 品質効率(quality efficiency) — 有効製造単位の理論製造時間を全製造単位の理論製造時間で除した値(SEMI E79)。

5.1.22 最終スクラップ数量(scraped 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。

5.1.23 ボトルネック設備のセット(Fe^*) (set of bottleneck equipment) — 測定期間中、工場内の同じタイプの製造設備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、設備タイプは「e*」で表わされる。

注 5: このボトルネック設備のセットは、計画段階で工場のボトルネックとされた設備セット(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)を持つ設備セットであることが多い。もし、ほかの設備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、その設備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設備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設備セットが、両側の 2 つの期間のものとは異なることもある。

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

5.1.25 各種設備タイプのセット(E) (set of equipment types) — 工場内にあるさまざまなタイプの製造設備の集合。測定設備、材料運搬装置、コンベアを含む。このセットの要素(各種タイプの設備)は、「e」で表わす。

注 6: 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)も一種の設備であると考えerる必要がある。これ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、理論サイクル時間(theoretical cycle time)として手動運搬時間を考慮に入れることが目的である。

5.1.26 設備タイプ e における製品タイプ p の工程ステップのセット(S_{pe}) (set of process steps of product type p on equipment type e) — 設備タイプ 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。

5.1.27 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。

5.1.28 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)。式 7 参照。

5.1.29 理論サイクル時間(theoretical cycle time: T_{min}) — 製造単位が設備または運搬装置の空さを待つ必要がなく、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、工場内における製造単位の加工に必要な最小時間(製品運搬時間を含む)。これは、直接加工時間(raw process time)とも呼ばれる。工程変更によってこの測定基準が変化する場合、これらの計算を行うにあたってその製品を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。式 16 参照。

注 7: この測定基準は、SEMI E79 で使用されている CSM 21 および 42 の 1 製造単位あたりの理論製造時間(THT) (theoretical production time per unit)、と同様の値である(但し同一ではない)。(5.1.30 項参照。)

5.1.30 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) — 効率上の損失がないと仮定した場合に、特定の工程モジュールで実施される特定の手順書において、1 製造単位の工程を終了するために要する最小時間。1 製造単位あたりの理論製造時間(theoretical production time per unit)は、工程モジュールが連続的に稼働していることを前提に決定される。ここで、工程モジュールは理想的な条件で稼働しているものとする。同時に複数の製造単位を加工する設備サイクルにおける 1 製造単位あたりの理論製造時間(theoretical production time per unit)とは、スループットに対して最適化された設備負荷においてサイクルを完了するための最小時間を、その最適化された設備負荷における製造単位数で除した値である(CSM21 および 42)。

5.1.31 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わす。この値は実際には実現できない)。式 21 参照。

5.1.32 手順書による理論製造単位スループット(theoretical unit throughput by recipe, 時間/製造単位) — 特定の製造手順書に対し、該当設備において理論的に加工し得る時間あたりの製造単位数。各手順書における理論的スループット(製造単位数)は、1 製造単位あたりの理論製造時間の逆数に等しい(SEMI E79)。

5.1.33 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の数

5.1.34 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わす)。式 13 参照。この測定基準の詳細については、関連情報 1 の R1-1.6 項を参照。

5.1.35 総時間(total time) — 計測されているすべての時間(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 8: 工場レベルの生産性を示す測定基準においては、合計時間は平均サイクル時間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の 2 倍とし、個々のどの完成製造単位のサイクル時間よりも大きくすることを推奨する)。

1 CSM 21: Closed-Loop Measurement of Equipment Efficiency & Capacity, 1995; and CSM 42: Productivity Metrics for Flexible-Sequence Cluster Tools, 1998; Engineering Systems Research Center, University of California, Berkeley <http://esrc.berkeley.edu/csm/csmreports.html>.

5.1.36 (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 9: 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 10: 製品ロットサイズは複数の製造単位を含むことができ(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、これ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 スタンダードとの間で製造単位(*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。

5.1.37 (設備)アップタイム(*uptime (equipment uptime)*) — 設備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、非計画時間は含まれない(SEMI E10)。

5.1.38 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)。式 2 参照。

5.1.39 WIP 能力($W_{\max}$) (*WIP capacity*) — 工場内に置くことができる製造単位の最大数(棚、ストッカー、材料運搬装置、設備の取り付けポート、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 11: これ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。

5.1.40 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)。式 14 を参照。

5.1.41 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(測定期間中の仕掛品在庫の置き換え頻度を示す)。式 22 を参照。

5.1.42 仕掛品(*WIP*) (*work in process*) — 工場内に出回った製造単位で、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。

5.1.43 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)。式 3 参照。

注 12: 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)。(5.1.21 項参照。)

6 計算測定基準

6.1 図 1 は、5 項に示した用語間の関係を示したものである。矢印は、従属的な用語から、これらの従属的用語を使用して主要な定義が行われている用語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式の番号が併記されている。一番下の列は総合的工場効率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(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)。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。

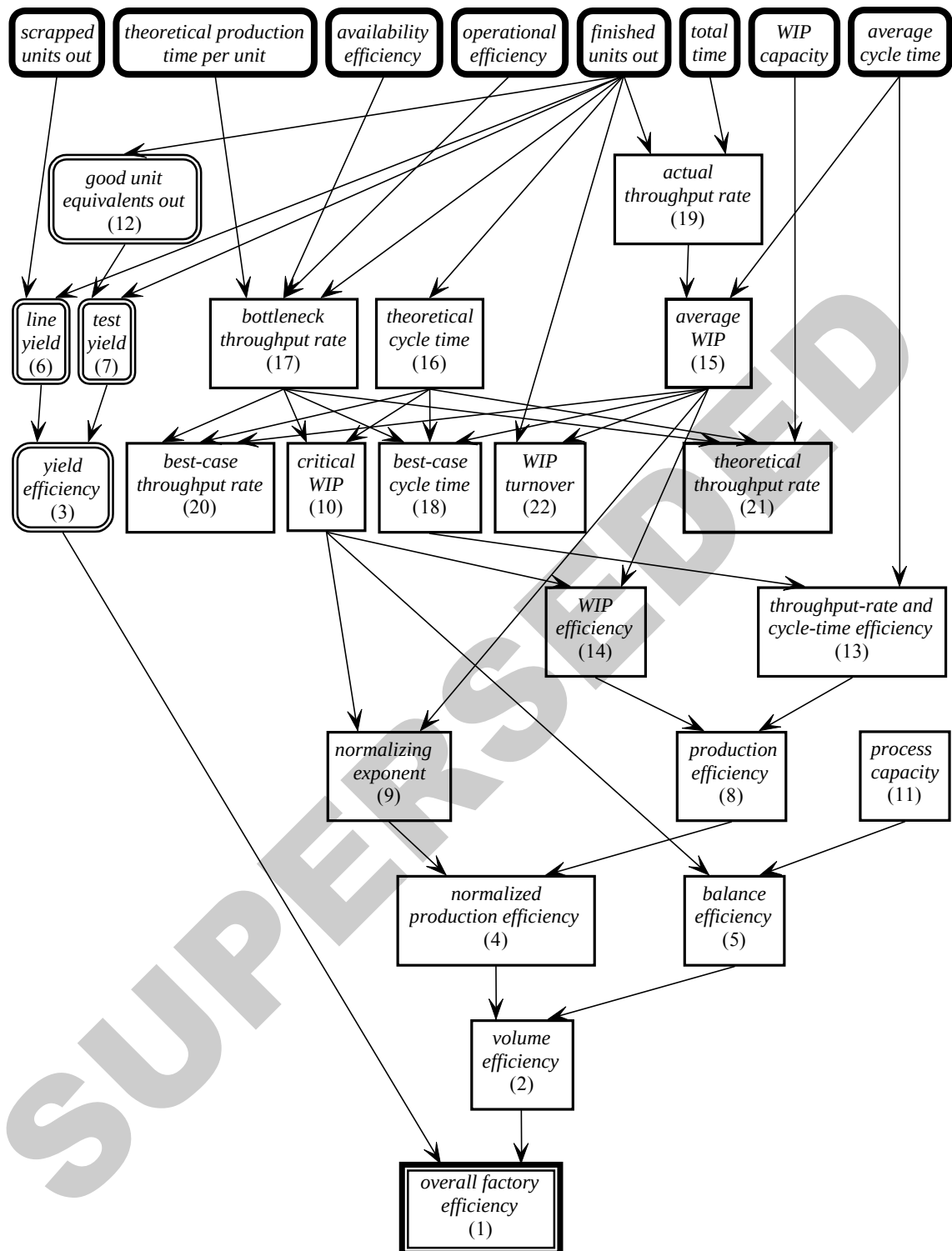


図 1

工場レベルにおける生産性測定基準の定義上の相関関係

6.2 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, 工場内のすべての設備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間枠が異なる場合は, これらの点に留意する必要がある(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(非ボトルネック設備の需要や過剰能力など)によるものである場合は注意が必要である。
- 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。

$$\left(\begin{matrix} \text{overall} \\ \text{factory} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{volume} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) \times \left(\begin{matrix} \text{yield} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) \quad (1)$$

$$\left(\begin{matrix} \text{volume} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{normalized} \\ \text{production} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) \times \left(\begin{matrix} \text{balance} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \left(\begin{matrix} \text{yield} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) &= \left(\begin{matrix} \text{line} \\ \text{yield} \end{matrix} \right) \times \left(\begin{matrix} \text{test} \\ \text{yield} \end{matrix} \right) \\ &= \frac{\text{equivalent good units out}}{\left(\begin{matrix} \text{finished} \\ \text{units out} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{scrapped} \\ \text{units out} \end{matrix} \right)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\left(\begin{matrix} \text{normalized} \\ \text{production} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{production} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right)^{\left(\begin{matrix} \text{normalizing} \\ \text{exponent} \end{matrix} \right)} \quad (4)$$

$$\left(\begin{matrix} \text{balance} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) = \frac{\text{critical WIP}}{\text{process capacity}} \quad (5)$$

$$\left(\begin{matrix} \text{line} \\ \text{yield} \end{matrix} \right) = \frac{\text{finished units out}}{\left(\begin{matrix} \text{finished} \\ \text{units out} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{scrapped} \\ \text{units out} \end{matrix} \right)} \quad (6)$$

$$\left(\begin{matrix} \text{test} \\ \text{yield} \end{matrix} \right) = \frac{\text{good unit equivalents out}}{\text{finished units out}} \quad (7)$$

$$\left(\begin{matrix} \text{production} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{throughput-rate} \\ \text{and cycle-time} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) \times \left(\begin{matrix} \text{WIP} \\ \text{efficiency} \end{matrix} \right) \quad (8)$$

$$\left(\begin{matrix} \text{normalizing} \\ \text{exponent} \end{matrix} \right) = \frac{1}{\log_2 \left[\frac{\left(\begin{matrix} \text{average} \\ \text{WIP} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \text{critical} \\ \text{WIP} \end{matrix} \right) - 1}{\min \left\{ \left(\begin{matrix} \text{average} \\ \text{WIP} \end{matrix} \right), \left(\begin{matrix} \text{critical} \\ \text{WIP} \end{matrix} \right) \right\}} \right]} \quad (9)$$

注 13: $x > 0$ の場合, $\log_2(x) = \log_{10}(x) / \log_{10}(2) = \ln(x) / \ln(2)$ 。

$$\left(\begin{matrix} \text{critical} \\ \text{WIP} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{theoretical} \\ \text{cycle time} \end{matrix} \right) \times \left(\begin{matrix} \text{bottleneck} \\ \text{throughput rate} \end{matrix} \right) \quad (10)$$

$$\left(\begin{array}{c} \text{process} \\ \text{capacity} \end{array} \right) = \sum_{e \in E} \left[\left(\begin{array}{c} \text{average} \\ \text{number} \\ \text{of tools} \\ \text{in} \\ \text{equipment} \\ \text{type } e \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{maximum} \\ \text{number of} \\ \text{units processed} \\ \text{simultaneously} \\ \text{on a tool of} \\ \text{equipment} \\ \text{type } e \end{array} \right) \right] \quad (11)$$

注 14: $e, e^*, E, f, F, p, P, s, S$ の記号は, 5.1.23 項から 5.1.27 項にかけて定義されている。

$$\left(\begin{array}{c} \text{good unit} \\ \text{equivalents} \\ \text{out} \end{array} \right) = \sum_{p \in P} \frac{\left(\begin{array}{c} \text{total number} \\ \text{of good} \\ \text{product devices} \\ \text{of type } p \text{ in} \\ \text{finished units out} \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{c} \text{number of product} \\ \text{devices on each} \\ \text{unit of type } p \end{array} \right)} \quad (12)$$

$$\left(\begin{array}{c} \text{throughput-rate and} \\ \text{cycle-time efficiency} \end{array} \right) = \frac{\text{best-case cycle time}}{\text{average cycle time}} \quad (13)$$

$$\left(\begin{array}{c} \text{WIP} \\ \text{efficiency} \end{array} \right) = \frac{\min \left\{ \left(\begin{array}{c} \text{critical} \\ \text{WIP} \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} \text{average} \\ \text{WIP} \end{array} \right) \right\}}{\max \left\{ \left(\begin{array}{c} \text{critical} \\ \text{WIP} \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} \text{average} \\ \text{WIP} \end{array} \right) \right\}} \quad (14)$$

$$\left(\begin{array}{c} \text{average} \\ \text{WIP} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{average} \\ \text{cycle time} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{actual} \\ \text{throughput rate} \end{array} \right) \quad (15)$$

$\left(\begin{array}{c} \text{theoretical} \\ \text{cycle time} \end{array} \right)$

$$= \frac{\sum_{p \in P} \left\{ \left(\begin{array}{c} \text{number} \\ \text{of units} \\ \text{of product} \\ \text{type } p \\ \text{in} \\ \text{finished} \\ \text{units} \\ \text{out} \end{array} \right) \times \sum_{e \in E} \left[\sum_{s \in S_{pe}} \left(\begin{array}{c} \text{minimum} \\ \text{cycle} \\ \text{time of} \\ \text{a single} \\ \text{unit of} \\ \text{product} \\ \text{type } p \text{ in} \\ \text{step } s \text{ on} \\ \text{equipment} \\ \text{type } e \end{array} \right) \right] \right\}}{\text{finished units out}} \quad (16)$$