

生産システムのWeak Points: UMCJ流生産システム=TPSとの比較から

一橋大学イノベーション研究センター
中馬宏之

<参考文献: <http://www.rieti.go.jp>のDP>

半導体産業の国際競争力低下要因に 関する一般化した認識？

- 90年代における我が国半導体産業の国際競争力の低下要因については、様々な分析が加えられてきた。そして、今や、藤村(2000)を嚆矢とした以下のような現状認識が一般化？

「競争力の源泉が、a)生産現場で生み出される条件変更やプロセス改良といったノウハウから、b)装置メーカーを巻き込んだ形での装置の改造・改良技術へ、そしてc)プロセス現象の物理・化学的な意味での高度かつ統合的な理解・判断能力の有無へと移ってきている。ところが、わが国半導体産業は、このような流れを十分に理解せず、a)やb)に多くの力を割いてきている。その結果、わが国デバイスメーカー(の経営層)に、技術の全体像と現状の位置関係が見えなくなってしまい、競争力が必然的に低下してきた。」

国際競争力が低下したのは研究開発部門だけ？

→チップメーカーでは、製造・生産技術部門の競争力も低下？

- 研究開発部門のみならず、あるいは、それ以上に製造部門や生産技術部門の弱体化が著しい。その状況は、相当に深刻なのでは？（この点は、半導体装置・材料メーカーと対照的？）

＜STRJ報告書中の認識＞

- 「今やこの産業も他の一般の製造業と同じく、徹底した効率向上のみがコスト削減、つまり利潤の増大のKey となってきたのである。それには半導体は特別なのだという固定観念、神話を打破することが大事であるが一部にその動きも出始めている。」（STRJ(2002)）

製造・生産技術部門の競争力低下要因とは？(1)

● デバイスメーカー研究開発部門における弱体化のロジックが、製造・生産技術部門についても妥当？

→ 製品・生産プロセスの高度化・複合化・微細化・システム化、その結果としての各種要素技術間の相互依存性の高まりにより大局的最大化の範囲が拡大し、問題発見・解決に不可欠な統合的知識のさらなる高度化・広範囲化が不可避に？

→ このような高度化・広範囲化は、企業組織内における新たな相互依存性(＝外部経済効果)の発生を意味するため、それらを内部化するための様々な試みが不可欠に？

(続)

製造・生産技術部門の競争力低下要因とは？(2)

→外部効果を内部化する試みが不可欠？そのため必要な、新たな“英知を結集する場”の創設(＝新たな学習機会を数多く生み出す仕組み)・・・さもないと、悪貨が良貨を駆逐？

- a) 製造部門内や製造・生産技術部門間に存在する各種の垣根を除去する形での組織再編、
- b) 社内における教育訓練制度や選抜・処遇制度の変更、
- c) 外部労働市場の活用

→ところが、多くの会社は、旧来の局所最適化(モジュール重視)型の製造・生産技術部門とそれらに適合した選抜・育成・処遇制度を保持。その結果、全体最適化を意識しない部分最適化傾向やグループ・部門間の利益相反問題が顕著化？

Chipmakerの競争低下要因は他の製造業にも妥当？ グローバルな傾向か？（1）

<現象1> 製造装置・設備の高度化・複合化・システム化の著しい産業ほど同じような現象が顕在化？（事例：複合一体射出成形システム、複合精密プレス成型システム、複合精密機械加工システム、複合ロボット溶接システム→企業内外での英知結集の場の必要性増大）

<現象2> ところが、製造装置・設備を導入する側の生産技術者が、それらのスペックを出すどころか、全体最適から見たそれらの機能特性評価すらも、うまくできなくなっている。その結果、生産技術者達が全体最適に繋がらない局所最適化に走りがちとなっている。

Chipmakerの競争低下要因は他の製造業にも妥当？ グローバルな傾向か？（2）

具体例：

- 内外の多くの半導体チップメーカーが、立ち上げの際に装置・システムをAMAT的な装置メーカーに全面依存するといった状況に酷似。つまり、数多くの企業が、業務と知識のアウトソーシング化（＝外部企業への“丸投げ”）を共に行った結果、生産技術者達の統合的な能力が急速に低下
- 加えて、先生役として生産技術者の弱体化により、製造現場の問題発見・解決能力をも同時に弱体化。また、局所最適化行動に走りがちとなり、製造・生産技術部門間の利益相反問題が顕在化。生産技術部門は、“製造現場＝カスタマー”といった視点すらも喪失がち？
- その結果、生産現場でも問題発見・解決型人材の出現確率が減少

製造・生産技術部門の再生・強化策？

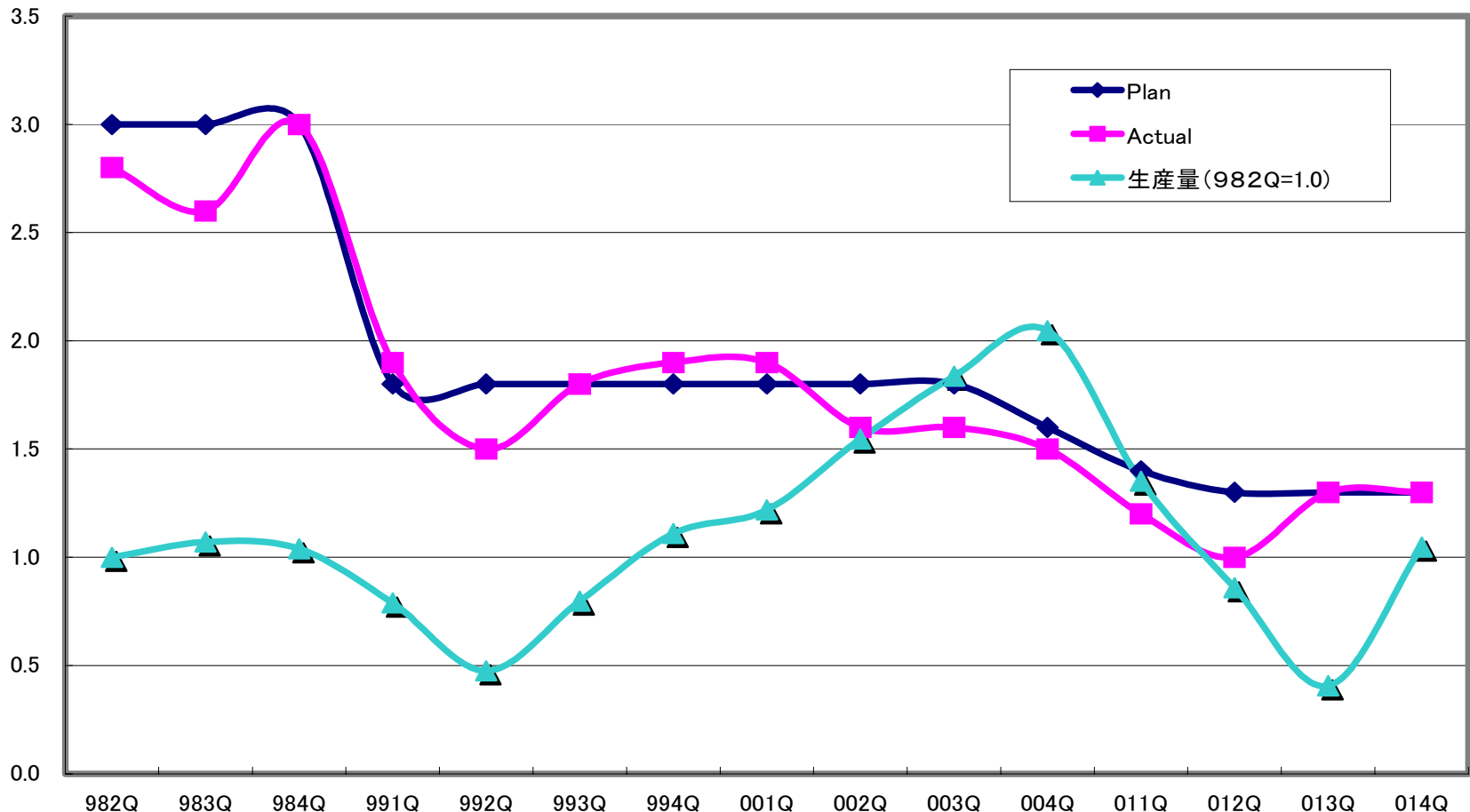
UMCJ生産システム＝TPSにあるのでは？

社名	UMCJ	同業 5 社平均
サイクルタイム	100	136.1
最大ラインイールド	100	98.3
1人当たり労働生産性	100	81.5
C/R 生産能力(per 1 m ²)	100	58.5
C/R 占有率(per equipment)	100	94.6
稼働日数	100	91.4
装置稼働率(DUV)	100	91.0
装置稼働率(i線)	100	95.4

注意:上記の数値は、例えば、「サイクルタイム」であれば、同業5社は、(平均的に見て)UMCJ に比べて36%長いことを意味する。また、同業5社は、UMCJ に比べ、「1人当たり労働生産性」や「平米当たりの C/R 生産能力」がかなり低くなっている。このことから、同業5社では、より多くの人員を投入し、より大きなクリーンルームの中で生産が行われている。加えて、同業5社平均の「装置一台当たりのクリーンルーム・スペース占有率」がより小さくなっているので、同業5社では、UMCJ に比べ、より多くの装置を使いながら生産が行われている。

NPNX及びUMCJにおけるサイクルタイム [Mask-to-Mask (Day)]の推移

NPNX & UMCJにおけるサイクルタイム[Mask-to-Mask(Day)]の推移



注意:UMCJにおけるテクノロジー

- UMCJの最近(2002年8月)の発表によると、製品の売上高比率では、ロジックが74%、DRAMが15%、フラッシュメモリー11%となっている。また、テクノロジー別に見た製品の売上高比率では、0.25 μ m(以下)が16%、0.35 μ mが81%、0.50 μ m以上が3%となっている。したがって、線幅から判断する限り、1、2世代前のものが主流であるといえる。
- この点に関し、例えば、TSMC(アニュアルレポート)の2002年におけるテクノロジー別の売上げ計画は、0.25 μ m以下が73%、0.35 μ mが13%、0.5 μ m以上が14%とされている。

強力な製造部門の存在(1)

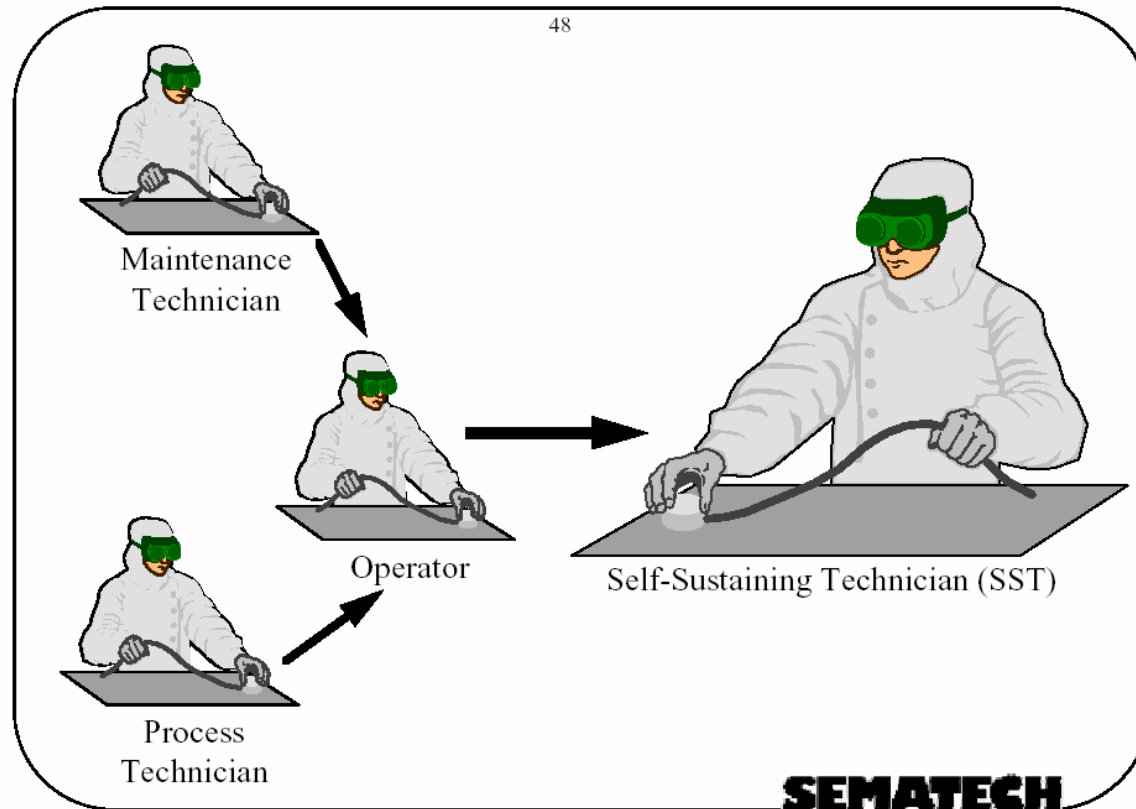
生産ラインのハイレベルな同期化・整流化

- UMCJの組織構成は、少なくとも形式上は、我が国の一般的な半導体メーカーに類似
- ところが、同社の製造部門は、装置関連のみならず製品関連のトラブルのかなりな部分(前者の50%、後者の80%)を自ら解決できる強力な技能者達を保有
- 強力な製造部門の技能者達とEEやPEとの相互補完関係確立(一部では後者を代替?)

強力な製造部門の存在(2)

(SEMATEC(1994)が目指す製造現場)

注意: Self-sustaining Technicianとは、オペレーションを行いつつも、装置保全や装置・製品関連トラブルにも対応できる理想的な技能者を指している。



UCバークレイ調査の例(1)

<http://euler.berkeley.edu/esrc/csm/csmreports.html>

Cost per Wafer	Levels of Automation(using fractional tools)			
Cost Components	level (0,0)	level (1,1)	level (1.5,1.5)	level (2,2)
Tool Depreciation	601.25	601.25	601.25	601.25
Tool Maintenance	155.88	155.88	155.88	155.88
Tool Leasing	0.00	0.00	0.00	0.00
Direct Personnel	155.34	135.00	129.29	112.07
Indirect Personnel	46.09	48.40	49.01	50.48
Direct Space	170.19	170.19	170.19	170.19
Indirect Space	5.90	6.16	6.43	6.59
Direct Material	200.00	200.00	200.00	200.00
Indirect Material	0.00	0.00	0.00	0.00
Cost Centers	0.00	0.00	0.00	0.00
Facilities	0.00	0.00	0.00	0.00
CIM System	0.00	0.00	0.00	0.00
Control Units	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Cost	1334.64	1316.87	1312.05	1296.45

UCバークレイ調査の例(2)

Companies Participating in the Main Phase of the Competitive Semiconductor Manufacturing Survey

Advanced Micro Devices, Inc. (AMD)	National Semiconductor Corp. (2 fabs)
Cypress Semiconductor, Inc.	NEC Corp.
Delco Electronics Corp.	Oki Electric Industry, Ltd.
Digital Equipment Corp. (2 fabs)	Samsung Electronics Co., Ltd.
Harris Corporation	Silicon Systems, Inc. (SSI)
Hyundai Electronics Industries, Ltd.	Sony Microelectronics Corp. (2 fabs)
Intel Corporation	Taiwan Semiconductor Mfg. Corp. (TSMC)
Int'l Business Machines, Inc. (IBM)	Texas Instruments, Inc.
ITT Intermetall	Tohoku Semiconductor Corp. (TSC)
LSI Logic Corp. (2 fabs)	Toshiba Corp.
Lucent Technologies (2 fabs)	United Microelectronics Corp. (UMC)
Motorola, Inc.	

Table 1

全体最適を明確に意識した職位・職階づくり(1)

(各自に常にワンランク上の作業を担わせる仕組み?)

- 製造ラインの職位・職階: 製造部執行役員、製造部長、製造課長、スーパーバイザー(SV)、班長(エリアのリーダー)、オペレーターという構成。
- 日本の同業他社では、このうちのSVがいなくて、各エリアをすべてのシフトにわたって統合する『組長』がおり、傘下に数名のスタッフやシフトを束ねる班長がいるといった形態?
- UMCJのSVは、同一シフト内のすべてのエリアを統合するリーダーであり、通常の『組長』より上位の業務を担当。SVになる前には、自らの専門エリア以外のエリアの生産管理業務も実体験。SVは、もちろんシフトのリーダーとしてシフト勤務につく。

(続)

全体最適を明確に意識した職位・職階づくり(2)

(各自に常にワンランク上の作業を担わせる仕組み?)

- SVは、各エリアを代表する班長などとの連絡を密に取りながら、各エリア内で行われる部分最適化が全体最適化につながるようなコーディネーション機能を果たす。
- 班長は、同業他社の『組長』と同位のポジションであるが、管理・監督業務に加えてオペレーション業務も実施。
- 末端のオペレーターすら、MoveやWIP管理やDispatching微調整を担当。
- 加えてエリアから独立した形の強力なオペレーションサポートと呼ばれる現場スタッフを各エリア毎に保有。彼らは、製造現場の短期・長期的な問題発見・解決を担当すると共に、EEやPEのみならずITEとの間の橋渡し役を担う。

Intrinsic Motivationを最重視する生産システム (大局的最適化範囲の拡大で重要性さらに増大?)

- 人間の本源的・自律的な改善意欲や学習意欲(Intrinsic Motivation)を重視する仕組みを意図的に導入。そのために、“**各自が自らの役割がメタ認知できるような仕組み**”を提供
 - 末端のオペレーターに至るまで、短期・長期の作業目標、各時点における目標と実績との乖離状況、乖離発生箇所、乖離解消のために期待されていること、短期・長期の作業結果等々が容易かつ的確に理解できるような生産指標をオープン＆公平な形で提示(**GPSを使ったナビゲーター画面を見せる形？自らのポジションが的確に分かれれば分かるほど、よりの確な行動が採れる？**)
 - 高度な自動化システム(特にCIM)の利用によって、末端のオペレーターからも“徹底的に意欲を引き出す心理学的アプローチ”としてのTPS実践がより容易になってきている？(**実際、AMD、TSMC、STマイクロ、……、最近に至っては中国ハイアールにおいてすらも一種のTPS実践？**)
 - 半導体同業他社は、CIMを生産モニター・管理ツールとしか見ていないのでは？ところが、CIMは、人々のインセンティブ構造に関するシステム設計(=**メカニズムデザイン**)のためのツールとしても極めて有用？

自動化システムのもたらすDuality？(1)

- 我が国半導体メーカーの多くは、高度な自動化システム(例えば、CIM)が導入されている場合でも、生産ライン効率にのみに目を奪われてしまい、そこに携わる人々のIntrinsic Motivationを効果的に誘発するツールとしての重要性に思い及んでいない？

→工場運営に関するISSM論文(92～02年)からの印象

(1) 多くの日本勢は、Fabをいかに自動化して生産効率を上げるかの自動化至上主義？加えて、メカニズムデザイン的な要素(Intrinsic Motivationが果たす役割)にほとんど言及なし。現状のIntrinsic Motivationは、安定的&Givenと想定？

(2) 一方、AMD等のいくつかの論文は、自動化も不可欠だが、それ以上に会社・工場・チームの和、intrinsic motivation高揚の大切さを

各種のイビデンスを示しながら強調。(AMD程ではないが、同様の点が、TSMC、Intel、フィリップスの論文にも散見)

＜参考＞ISSM(1995)のAMD論文“Recognition and Reward: Human Elements of Semiconductor Manufacturing Excellence”は、圧巻！

自動化システムのもたらすDuality？(2)

- 各種自動化システムは、人々のインセンティブ構造に関するシステム設計ツール(したがってメカニズムデザインツール)としても極めて有用？UMCJの実践例は、自動化システム(特にCIM)のもたらすDualityをサポートする貴重なイビデンス？

→「自動化しない部分をわざと残しておくことが実は自動化ラインを使いこなす上で重要である。」(AMD自動化担当マネージャ談:トレセンティ若林氏より借用)

- なお、上記の点とかなり矛盾するが、我が国半導体メーカーは、自動化率が高いと言われる割には、未だに組長レベルの人々に体化したアナログ風の生産管理アルゴリズムに強く依存した生産管理システムに頼っている？

→ 生産現場で採用されている情報開示・フィードバックループの多くが、進捗管理に長けているとされる『組長』レベルまでしか到達していない。(某電機メーカーの事例)

自動化システムのもたらすDuality？（3）

- 装置・プロセスの高度化・複合化・ネットワーク化の急速な進展は、対峙すべき複雑性のレベルを数段上昇させると共に大量の情報をも生み出すことによって、現行の組長的アルゴリズムやフィードバック・ループに頼るだけでは的確な情報処理・意思決定ができない状況を出現させつつある。にもかかわらず、我が国の多くの企業・組織が、このような状況を前にして手をこまねいている。
 - 全体最適につながらない部分最適化が蔓延し、製造現場の競争力低下の大きな要因に？
- メカニズムデザインを欠いた自動化は、絵に描いた餅になる危険性孕んでいるが……。 (なお、この種のメカニズムデザインの重要性に関する認知不足は、各所で観察される？)

Intrinsic Motivationを高める仕組み： TPS流「目で見える管理」システムの導入（例示）

- 『達成率表』（[達成率表例示.pdf](#)）や『WIPLレポート』（[WIPLレポート例.pdf](#)）の提示を日常化することにより、自工程や前後工程の進捗状況、自工程で行うべき作業内容や優先順位、自工程へのWIPの流入・流出状況、装置の繁忙状況などを把握するための統合的な知識・ノウハウ（=**メタ認知能力**）を開拓
- サイクルタイム短縮や同Variabilityの除去（=**生産システムの同期化・整流化**）がいかに大切なものであるか？そのために何をしたらよいのか？といった点について、末端のオペレーターレベルにまで懇切丁寧にそれらの意義を提示しつつ指導
- ボトルネック化しがちな装置毎のガントチャート（Gant Chart）を継続的に作成し、付加価値を生む作業（=**TPS流の『正味作業』**）と生まない作業との峻別による各種のムダの排除、装置キャパシティの精確な見極め

Motivationアップ状況下で高度な教育訓練実施

- 同業他社を圧倒する極めて包括的な教育訓練システムを。中でも装置技能員(MERM)と工程技能員(METS)という2種類の社内資格の存在が圧巻。MERMは主にPMや装置ダウン時の突発対応を、METSは主にプロセス起因の問題解決や条件出し等のエンジニアの領域まで踏み込んだ高度な作業実施。**(MARMやMETSは着工作业も担う！)**
- MERMは現場で発生する装置関連トラブルの55%、METSは現場で発生するプロセス(製品)関連のトラブルの80%を解決。同業他社では、技能者がプロセス(製品)起因の問題を独自に解決しているようなケースは極めて稀。そもそも、そういう権限も責任も与えられていない？**(結果として、技能者とEEやPEとの間に双方が立ち入らないグレーゾーン出現？)**
- MERMやMETSの認定を受ける際には、はじめての場合には6ヶ月、その後は2~3ヶ月程度の間、エンジニアリング部門に行ってOff-JTでのインテンシブな研修を受講。再教育も頻繁。
- 製造部門内において技能者が追求できる仕事の幅が広く、各々の仕事の深さも深い。(5分野:製造作業技能、製造管理技能、装置保全技能、工程管理技能、製造企画技能)

METS認定のための必須・選択科目 (エッチング)

- 必須科目(一部): (メタル段差測定に際し)測定器の基本操作ができる。得られた測定値に対し、工程の持つバラツキか異常値かを判断できる。プロセスの異常か測定器の異常か分類できる。
- 選択科目(一部): (某社製酸化膜プラズマエッチング装置に関し)レシピ内容を理解でき各ステップの役割を理解している。ロットの異常か工程(対象装置)の異常か判断できる。適切なロット救済判断ができる。

品質を工程で造り込むTPS流自主検査システム

- QCエンジニアはおらず、諸工程内での検査は、現場の技能者達がほぼすべて実施。中心的な役割を占めるのが『スーパーインスペクター』(=殆どがMETS)と呼ばれる技能者達。
- キラー・ディフェクトの症状が出た場合、『スーパーインスペクター』がMETS権限によって必ず装置停止し、PE等と検討。その際、後工程に流して良いか否かに関する製品スペックの徹底した標準化作業を主体的に担当。この部分に多大なエネルギー投入。
- TPS教科書(トヨタ内部資料)より:
「ラインの状況がだれにでもすぐ分かるようにしておくと、管理者はこのラインはうまく行っているかどうかはすぐ分かる。監督者は自分が今何をしなければならないかが分かる。工場スタッフや製技部門も何が改善点かすぐ分かり自分たちの仕事にフィードバックできる。……(省略) 問題がはっきりしていれば改善案は皆で知恵を出し合ってできる。さらに、異常管理に集中できるので管理範囲(能力)が増大する。組長、班長は何本ものラインを1人でもてるし、工務の部品係は取扱点数が非常に多くても対処できる。」

技能者・エンジニアの対等な関係

■半導体デバイスのようなインテグラル型製品の生産には、疑似民主主義的な仕組みが不可欠なのは？

→ところが、同業他社の半導体デバイスメーカーでは、エンジニアサイドに「我々の言うことを聞いていれば良いのだ」との意識の強い？そのため、技能者のエンジニアとの相互補完性阻害？（このような傾向は、他の製造業でも一般的になりつつある？）

→TSMC等の例からすると、「日本の半導体産業の製造現場が、TPSに負けている」とも感じられる？

■UMCJでは、両部門（製造・技術）が実質的にも対等

→エンジニアリングロット依頼の例

組織経営の重要性？

ミッション・ゴールを共有する仕組み

- 『ジョブグレード制度』([UMCJジョブグレード表\(技能職\).pdf](#))の実施→先のSVはE1であるが、他部門の部長中には、E1やE2のジョブグレードの人々存在。
- 全員参加型のユニークな製造朝礼実施。→社長、製造・技術・人事・総務等々の担当取締役や購買部長も出席。
- 新株引受権(ストックオプション)付与制度と四半期毎のスペシャル・ボーナス制度導入

まとめ

- 夜間や休日に起きた装置・製品トラブルのために長時間のホールド状態に悩まされ続けている半導体メーカーからすると垂涎の理想的な工場運営が実現
- トヨタ生産方式を彷彿させるUMCJの生産方式。TPSの半導体版が実践されている？優れた企業に見られる共通の特徴？
- これらの改革の大半は、製造担当執行役員の土屋氏(TIの現場出身、TI本社の工場でも辣腕を振るった方)の理論とイニシアティブによって実践。同種の実践が、土屋氏や彼の“教え子”達により、SONY国分工場、TI美浦工場、リコーやしろ工場等々で行われ、かなりの成果を上げているという。(土屋理論が、エルピーダでも花咲くか？)

Intrinsic Motivationに関する参考文献

- Deci, E. L. (1975), Intrinsic motivation. New York: Plenum.
- Deci, E. L. (1981), The psychology of self-determination. Lexington, MA: Health.
- Deci, E. L., & R. M. Ryan (1985), Intrinsic motivation and self-determination in human behavior. New York: Plenum.
- Deci, E. L. and R. M. Ryan (2002), Handbook on Self-Determination Research, Boydell & Brewer