

生産システム革新マネージャー育成講座

次世代生産システム
より良い生産システムを求めて

早稲田大学 名誉教授

秋 月 影 雄

2021年1月29日

1. 何を生産するか

1.1 生産企業の目標

目 標

何かを生産し、それを販売することで、それなりの利益を安定して継続的に得ること。
その為に社会の変化に対応し、生産分野を発展・展開させることも必要。

検討課題

次の点から、現在の生産活動が適切か判断するとともに、今後の展開を検討する。

地域性: その地域がこの生産をするのに適しているか。

発展性: 時代の変化を考えて、更に会社を発展させていく方向があるか。

国際性: 外国製品との競合は？ 国外への展開を考えるべきか。

あるいは国内製品として独自性を保っていけるか。

これらを検討する上で、本講座の「俯瞰的な見方」がまさに重要ポイントとなる。

地域の特性に適した生産

(例)群馬での生産活動 (1)

地域性 : 首都圏近郊、近隣に幅広い分野の企業が集積し、土地が安く、工場立地に適しており、新規事業向け。

産業構造 : 現在、製造業が経済成長率を高めている。輸送用機械関連企業が4割、設備投資が大きい。

国際性 : 外国との主要な窓口、成田に近い。外国人を活用して人手不足に対応している。輸出は拡大している。

() 運輸関連工場

群馬には自動車工場も多く現存し発展しているので、運輸関連の工場の展開は期待が持てそうに見える。

(課題) 自動車部品工場と自動車工場とが必ずしも地域内で直結しているわけではない。昔からのつながりが重要で、新規工場が自動車部品を作れば直ちに売れるわけではない。運輸関連自体の変化(例えばEV、ドローン)をみて、新しい展開に合わせて根底からの結びつきを作っていないと成功しない？

() 魚関連の事業

群馬は本州の中心にあり、太平洋側・日本海側のどちらからでも魚食材を入手できる。さらに温泉を利用したフグの養殖やうなぎの養殖にも適している。群馬は魚の集積地やその加工地として魚関連事業を展開できるか。

(課題) 群馬に大規模な魚市場をつくっても、近郊から多くの買手が集るとは思えない。

「魚の集積地」として受注を受けて発送していくネットワークを構築するとか、「おいしい魚の食べられる温泉のある観光地」として観光業とのセットにするとか、「おいしい魚と温泉で豊かな人生の最後を送れる年寄のパラダイス」など新しい展開とセットで考えないと成立しない？

重要ポイント

生産企業にとって「何を作って売るか」が事業の拡大でも新規の事業展開でも成功するか否かの主要なポイントとなることは当然である。

単に、この地域である事業展開をする物理的な実現性の検討をして成立の可能性が認められたとしても、昔からのつながりや、政治との関連、裏面にある種々の制限に立ち向うことが必要になる。

成功するか否かは、地域の利点を生かしていく努力を続ける決断次第である。

2. どんな生産工程にすべきか

2.1 目指すべき生産工程

一品生産

大型機器・輸送用機械(航空機・電車・大型車輛)など日数をかけ一品ずつ生産する。

製造する物は一定の箇所で、そこに作業者が集って作業。

(課題)

- ・継続的に適切な受注があって、生産休止や納期遅れを生じないこと。
- ・無駄なく生産できるよう生産スケジューリングを適切に作ることが大切。
- ・部品置場など作業に無駄を生じないように配慮すること。
- ・多種類の製造への対応、技術を必要とする作業へ適時技術者を投入できる体制。

大量生産

同一製品(多少違いのある多種類製品を含む)を大量に生産する。

多人数で作業を分担し、効率良く生産する。

(課題)

- ・いかに効率よく生産するかが重要。「無駄な動き」を無くす。
- ・自動化の検討は重要だが、投資に見合うかよく考えること。
- ・安定した受注があり、在庫が増大し廃棄となることがないようにすること。

2.2 手作業工程の基本的形態

多くの工場で自動化が進められているが、中小企業の生産工程の多くは手作業が主体となっている。大規模な近代化された工場でも部分的に手作業工程の箇所があり、適切な手作業工程を構成することは生産システムとして重要である。

基本的な考え方

- ・どんな工程でも長所と短所があり、実際に作られた工程に対して改善をすすめることが必要。
構成している工程の長所を指摘するのではなく、短所に目を向ける態度が大切。
- ・作業工程だけでなく、製品・部品の搬送・置き方の検討も重要。
- ・お金にならない作業(むだ作業)を如何に減らすかが重要。

工程の基本的構造

	<ul style="list-style-type: none"> ・各箇所での作業が単純で工数も少なくできる。 ・ふり向き作業をなくすこと。 ・作業バランスをとることが重要。
	<ul style="list-style-type: none"> ・各箇所でおこなう作業が異なるので、作業指示が重要

台車方式とコンベア方式

- ・台車方式が「はやり」になっているが、以下のような基本的な特長・欠点に着目し、よく検討することが必要。

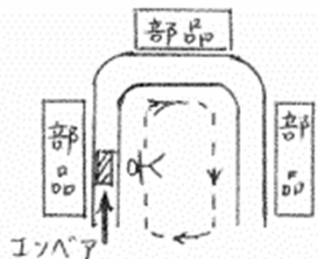
基本的な特長・欠点

	台車方式	コンベア方式
見た目	・工場全体の区分が見え難いので、一見ゴチャゴチャした感じになりがち。	・工場内の工程・部品置場など区分が明確ですっきりする。
自由度	・工程が自由に構成でき、変更も容易。製品に合わせた台車・作業台ができる。	・工程が固定され容易な変更ができない。
むだ作業	・台車の手押し移動。	・ラインバランスが取れないと手待ちが発生。
作業性	・多方向からの作業が可能。 ・台車の上なので作業台が安定性に欠ける。 ・作業に必要な電源が面倒。	・加工品の回転ができないと、一方向のみからの作業になる。 ・部品置場が制限される。
利用度	・使用しない台車の置場が増加することがある。	・使用頻度の少ないラインが生ずることがある

- ・いずれも、長所が同時に欠点となる裏腹の関係にあることが多い点に注意。

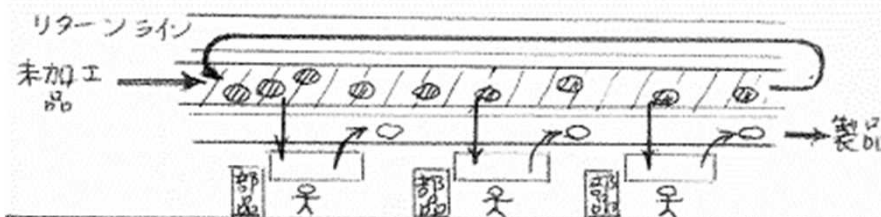
その他の方式

(生産量)少量 (作業)1人で多くの作業をする。1人当りの作業部品は多く、工数も多い。



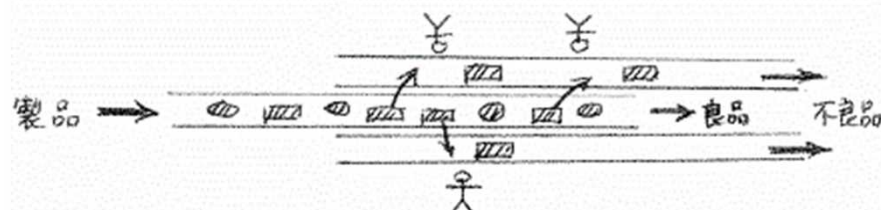
- ・作業が終わったときに、起点にもどっているようにするのがポイント。台車方式でも同じ。

(生産量)大量 (作業)単純作業で1個当りの工数が少ない。



- ・短いラインを沢山並べるほかにこのような方式もある。
- ・作業数・ライン長・ラインスピードの決定が重要。
- ・作業者の能力差に対応。

(生産量)大量 (作業)不良品の目視による抜取り、又は種別分類



- ・ラインが多くなるのでふり向き作業にならない構成が重要。
- ・作業数数の決定が大切。

3.不良をつくらないために

3.1 不良の発生と状況

製品設計

製造している製品自体に問題がある。売れない製品も不良品と考えるべき。

原理的に製品に問題がある	<ul style="list-style-type: none">・製品のコンセプトが間違っている。どういう物を作るべきなのか根底から考えることが必要。・きちんと勉強してきた技術者が力を発揮できる場を与える。・新製品開発に当っては、幅広い知識を持つ人材に機会を与え、実力を発揮させる開発グループを作ること。・商品のデザインも重要。
構造が悪い	<ul style="list-style-type: none">・まずは有すべき機能を持つ製品の構造設計ができているか。・生産に当って困難を生じるような設計をしないこと。・工学的センスを持つ技術者を育成すること。
材料が不適	<ul style="list-style-type: none">・適切な価格の材料で作れること。・耐久性のない製品にしないこと。

購入部品

購入している部品に問題がある。部品製造会社と打合せ検討ができるか。

所定の寸法・強度・性能を持っていない	<ul style="list-style-type: none"> ・部品についての正しい知識を持って購入しているか。 ・部品製造会社が技術不足。 ・購入している部品の価格設定は適切か。
時々不良品が混入する	<ul style="list-style-type: none"> ・部品製造会社に製造上の問題がある。 ・当分その部品の購入をそのまま続けるのなら、受入れ検査体制の強化が必要。

生産現場

- ・自動化している箇所では設備に不備があれば自動的に不良を生じる。
- ・人手作業では作業の仕方で種々の不良を生ずる可能性がある。全体的にすべき作業を明確に指示する。作る場合に誤りが生じ易い場合は対策が必要。
- ・技能を必要とする作業に対しては技術者教育が重要。

部品違い	<ul style="list-style-type: none"> ・部品供給の仕方が不適。部品置場の明示、同種部品の区別の明確化が必要。
作業忘れ	<ul style="list-style-type: none"> ・作業指示の明確化。 ・作業のチェックをどこまでさせるか。 ・部品の員数確認。 ・外から見えない箇所の作業忘れに注意。

作業間違い	<ul style="list-style-type: none">・作業標準の明確化。・特に間違い易い作業は明示する。・品種によって作業に多少の違いがある場合は特に注意。
不完全作業	<ul style="list-style-type: none">・自動化の場合は、設備が所定の動作をしないことがある。・技能を要する作業では技能教育が不備。
破損・傷	<ul style="list-style-type: none">・作業の仕方の指示。作業場の清掃が不十分。・実行し難い作業はないか。・落下等をさせないために全体的に取り扱いに注意。・破損・傷を生じた場合の対応の指示。

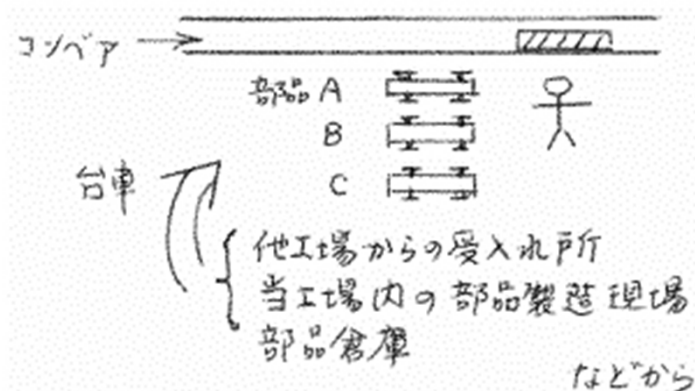
発送・設置

- ・単純なミスなどで不良を生じさせない心構えが重要。特にクレームを軽視しないこと。

出荷間違い	<ul style="list-style-type: none">・チェック体制を明確にする。
輸送中の破損・傷	<ul style="list-style-type: none">・荷姿に注意。特に破損し易い製品に対しては梱包・取扱いの指示。
取り付け時のミス	<ul style="list-style-type: none">・取り付けの作業マニュアルを明確にする。
引き渡し後のクレーム	<ul style="list-style-type: none">・重大事と受けとめること。・設計から製造工程まで全てについて再検討する。・使用者側の責任として簡単に処理しないこと。

3.2 手作業工程の部品供給と不良防止

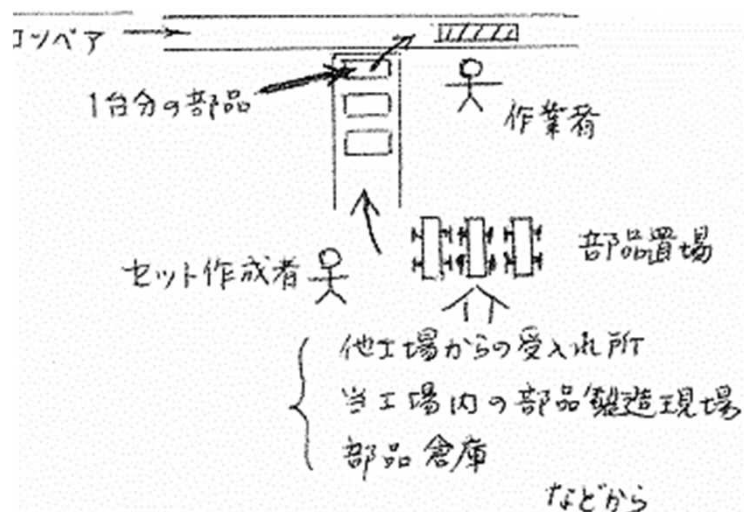
基本



(課題)

- ・取り違いが起きやすい。
- ・台車が作業者の近くに置ききれない。
- ・部品が多くなる場合はU字型工程にするか？
- ・多種類の場合、台車の入れ替え作業が増える。

セット供給



(特徴)

- ・部品置場が必要。
- ・セット作成者が必要。
- ・作業者へのセットは部品数が少なければ同一の製品の流し個数分だけセットにする。
- ・最も重要な点は作業者の部品供給台に作業指示を明示し、不良防止できること。

4. 設備保全

4.1 設備保全の目標

目標

生産にかかわる設備に異常や故障が生じて、製品に不良が生じたり、生産活動が停止したりすることを防止する。特に、予期しない突発故障の防止は重要である。

起こしたくない故障の対応例

- ・設備は使用によって必ず劣化する。それにもかかわらず点検もせず適切な定期保全をすることもなく使用し続けて、故障してはじめてメーカーに連絡する。
- ・設備に異常が生じ、しばしば不良を生じているのに放置している。
- ・設備に異常を生じていたのに放置しておいて突然設備が停止する。
- ・故障した設備を保全担当者が自分で修復可能と判断して対処したが、結局復帰させられずメーカーに依頼、その結果長期間の設備停止になった。
- ・しばしば故障するが、その都度適当に修復して使用しており、本質的な改善を検討していない。
- ・簡単に設備の部品交換ですむはずなのに予備部品を持っていない。

4.2 設備故障と基本的な対応

<u>設備の不備</u> <ul style="list-style-type: none">・基本的設計が不適・材料が不適・チョコ停の発生	生産のための設備を考え直す必要がある。 材料強度と耐久性を検討。 自動化機器は簡単な設備が使用されることが多く、しばしばチョコ停を発生する。設備の調整が重要。
<u>設備の劣化</u> <ul style="list-style-type: none">・自然劣化・強制劣化	定期保全で大丈夫か？無駄な保全が多すぎるようなら保全方式を検討する。オペレーターが異常に気付く能力を持つことも重要。 過負荷になっていないか？給油や適切な掃除の検討
<u>設備の取り扱いに誤り</u> <ul style="list-style-type: none">・誤操作・無理作業	作業者の教育が必要。作業マニュアルの充実と作業標準の表示など、誤操作させない仕組み作り。 設備の使い方、作業の仕方を見直す。

4.3 設備診断技術

目的

使用している設備に対して定期保全では生産量の変動や設備の劣化によってオーバーメンテナンスになったり、逆に保全前に劣化や故障を生じたりする。これを避けるために、設備に異常や劣化が生じていないかどうかを診断し、適切な保全作業をおこなっていくことを目指す。そのためには設備の稼働中に設備の状況を知ることが望ましく、多くの技術が開発されてきている。

よく用いられている設備診断技術

異常の種類	対象機器	検出法
漏れ・割れ・腐食・傷	配管・タンク	AE・超音波探傷
異常振動・異常音・がた	回転機・歯車・振動機器	振動ピックアップ
異常温度	軸受・反応塔・炉・建築物	熱電対・サーモクレオン・赤外線カメラ
油劣化	潤滑油	フェログラフィ・SOAP
絶縁劣化	電気機器・ケーブル	高圧法・電圧降下試験・部分放電

(注意) 典型的な検出法に対応した汎用機器が市販されており、簡単に使用できるようになっているが、これらは技術であり正しく理解して使用しないと誤った結果を導くことになる。

(例) 振動診断技術

- ・回転・往復など動作中に振動を伴う設備に対する診断をする技術。
- ・機械の振動が空気の振動(音)を引き起すので、機械からの発生音の変化で異常を知ることが多い。このことから現場の作業者が機械の異常に気づくことも重要な診断技術である。異常音が発生した時に、その音を録音しておいて作業者の教育に役立てることは大切である。
- ・直接機械の振動を測定することで、異常の種類・程度の判定ができることが多い。

知っておくべき基礎知識

() 振動検出器

圧電素子(力の変動を電圧に変換する素子)を用いた汎用検出器が多く売られている。この検出器では力、すなわち加速度を測定している。速度・変位にはそれを積分して検出しているので、高周波(数10Hz～数10kHz位)の振動測定に適している。超低周波振動では可動鉄片型で変位を直接測定する方が感度が高い。

() スペクトル分析(周波数分析)

回転あるいは往復運動する物体はその運動に対応した周波数で振動する。更に、夫々の物体が固有振動数を持っているので、それに応じた振動が発生する。従って、どんな周波数の振動の大きさが変化したかを知ることによって異常の原因を知ることができる。振動の周波数成分を求めるのがスペクトル分析である。

() フーリエ変換と数値計算の注意点 (2)

周波数分析は検出信号 $x(t)$ に対して次のフーリエ変換という計算をすることでおこなわれる。

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad j = \sqrt{-1}, \quad f \text{ (Hz): 周波数}$$

(実際には ∞ にできないので、 $0 \sim T$ 区間の積分になる)

$|X(f)|$ が $x(t)$ に含まれる周波数 f (Hz) の成分の大きさになる。

フーリエ変換を数値計算するために $x(t)$ を時間区間 (sec) でサンプリングする。

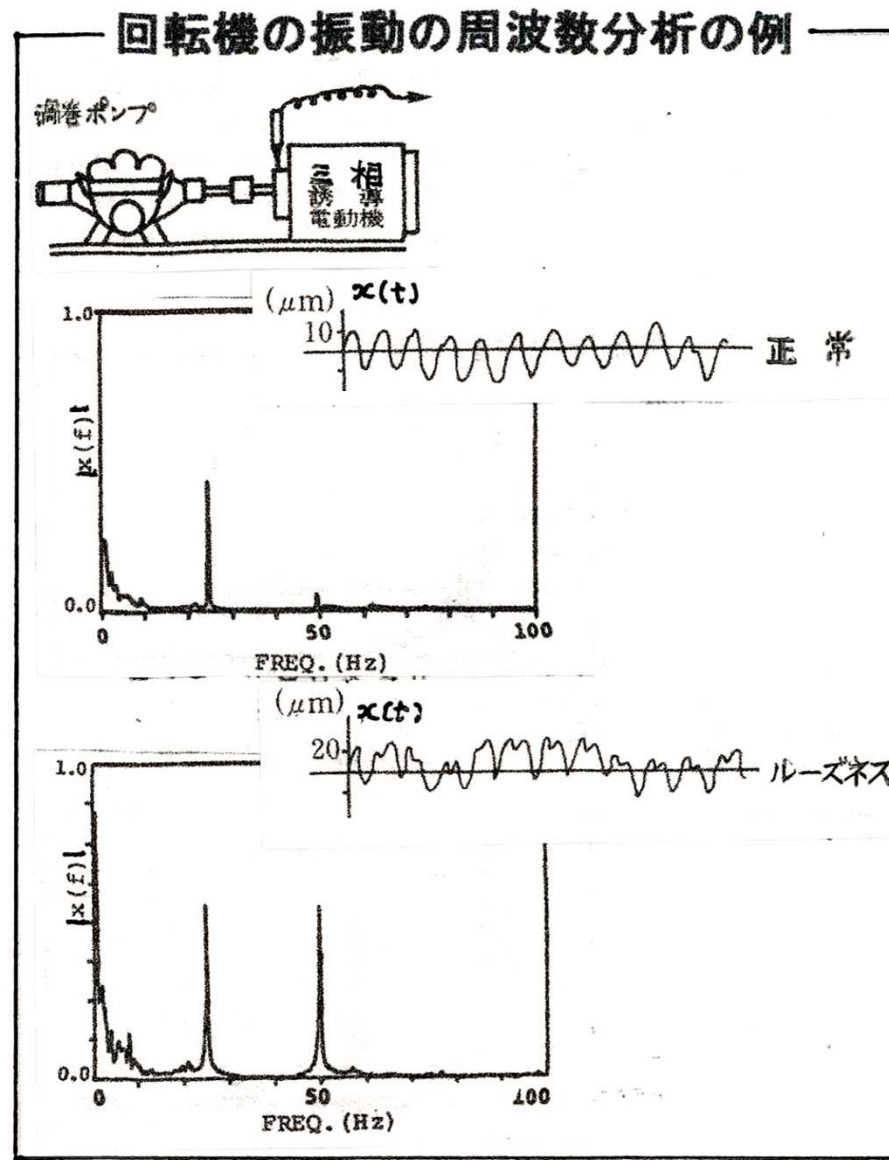
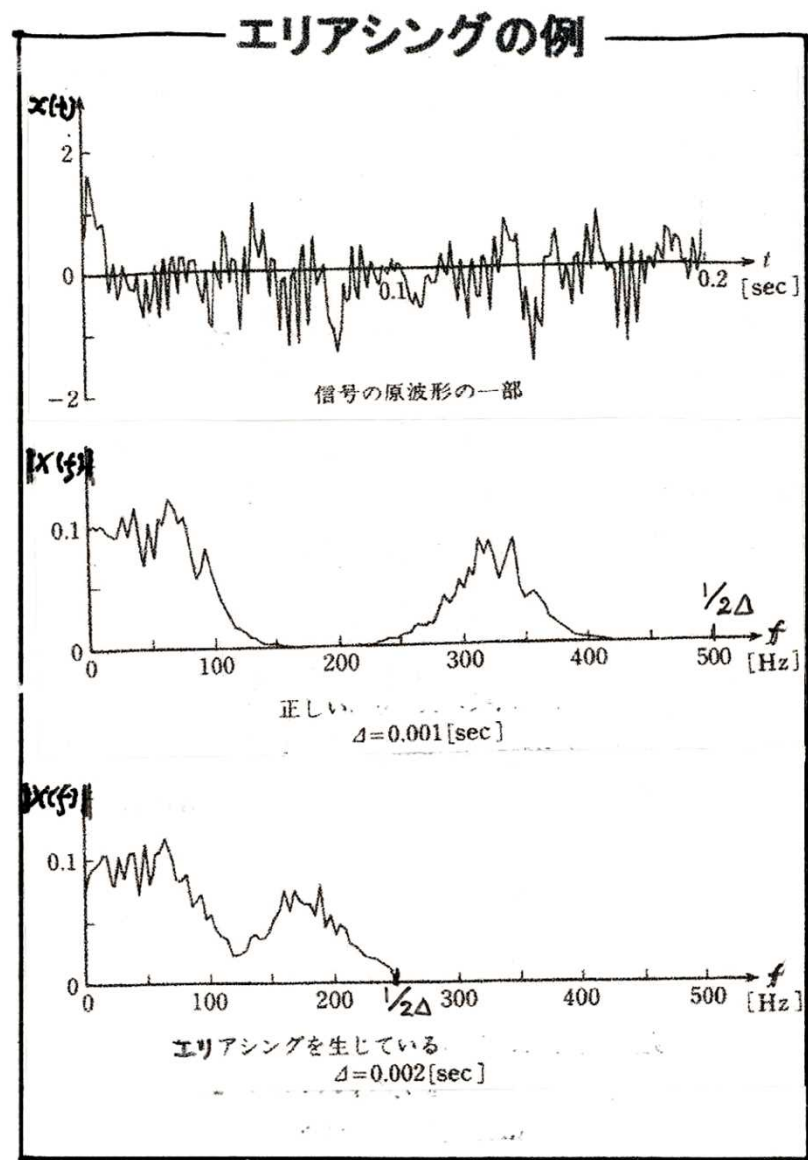
$$x(t) \rightarrow x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

フーリエ変換を効率良く計算するためにFFT (高速フーリエ変換) という計算法が用いられ、ほとんどの振動測定器はこれに従っている。FFTを用いるためにはサンプリングされたデータ数が 2^N 個のデータである必要がある。(一般に1024、あるいは2048が用いられている。)

・ の選定とエリアシング (重要な注意点)

市販の測定器では N が定められていて、 が選定できるようになっている。 を小さくするとデータ長 ($\cdot 2^N$) が短くなり、適切な結果が得られない。また、 を大きくとりすぎると、 $1/2_{\Delta}$ (Hz) より高い周波数成分が $1/2_{\Delta}$ で折り返されて低い周波数成分としてあらわれる エリアシング と呼ばれる現象が起きる。 の選定は重要である。

() 実例



5. 生産システムの進展

生産工場の目標は良質の製品を安価で製造することであり、その手段として自動化と情報化が進められてきている。

5.1 加工組立工場の自動化

生産システムのなかでも装置産業は自動化が推進され、無人化になっているところもある。一方、加工組立の分野では簡単に自動化できない作業が多く、完全な自動化はできないが、可能な箇所の自動化が進められ、部分的に自動的に稼働している設備も多く見出されるようになっている。

自動化における課題

- ・自動化のための設備投資が必要。要するに自動化によって経済的メリットがなければ取り入れられない。安価で自動化できるか、自動化しようとする設備で製造される製品が今後も売れ続けるか、あるいはこの自動化設備が汎用的なもので、製品変更があっても使用できるかが導入の際に検討されることになる。
- ・自工場で自動化システムの設計とメンテナンスができ、導入した自動化システムを維持する技術があることが望まれる。

現状の自動化で生じている問題点

- () 金属材料等の切削・加工が自動化されているところが多いが、次のような問題がある。
切削粉の完全な除去ができない。

ロボットが加工品を移動さす際に切削油を振りまき、床を切削油だらけにしている。要するに加工は自動的にするが、掃除は人手作業。人は掃除のために必要？

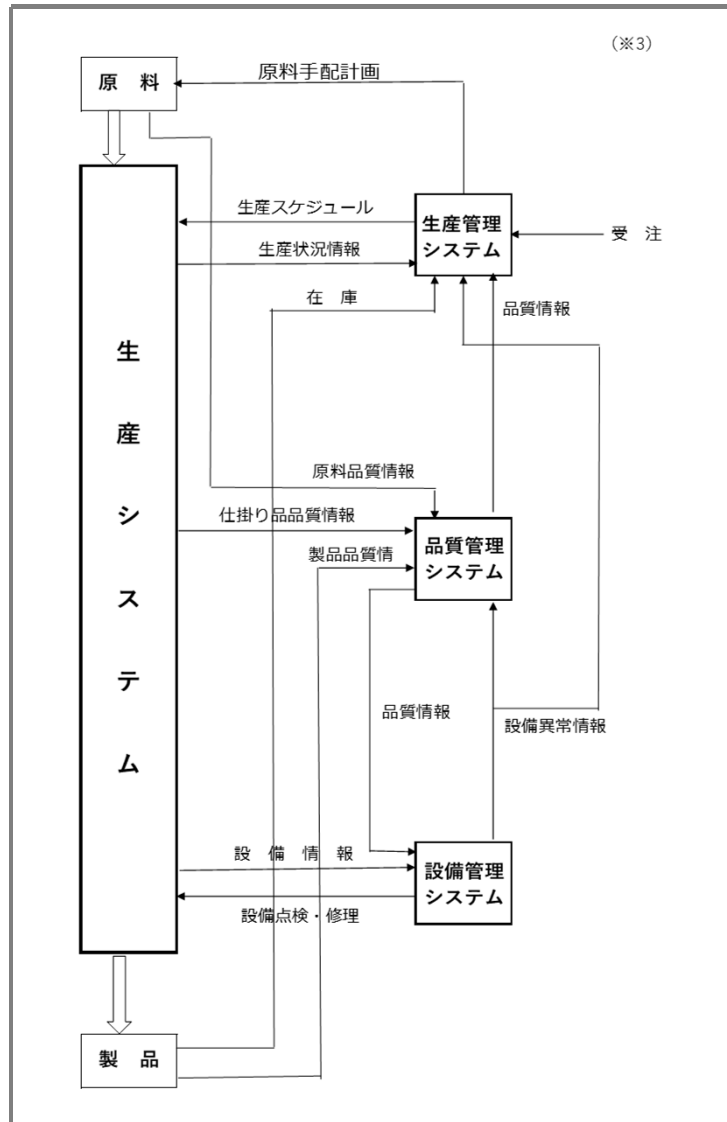
- () 自動化装置とチョコ停。加工品をつかまえてベルトコンベアに乗せて搬送するような単純作業は自動化されているところも多い。しかし所謂チョコ停が発生し、その度に作業者が飛び廻っている。簡単そうでも努力しないとチョコ停はなかなかなくなる。人はチョコ停回復のために必要？

- () 自動化装置のなかには、原理的に要求される作業を完璧に達成することのできない装置がある。

(例) バネほぐし

からまって入っているバネを振動によってほぐし、1個ずつバラバラにして供給する装置。振動の周期・振幅の調整をしてよくほぐれるようにしても、原理的に完璧にほぐすことができるわけではなく、チョコ停がしばしば発生する。

5.2 生産工場の情報化



工場は安全を確保するとともに、効率の良いきめ細かい操作をして高い生産性を保つことが望まれる。そのために工場内の状況をたえず把握して管理することが必要で、特に自動化の進んだ工場では工場内の種々の情報を得て状況判断する図に示すような工場の情報システムが必要となる。

(1) 生産管理システム

- ・プラントの運転と制御
- ・生産計画（スケジューラ）
- ・原料・部品発注
- ・仕掛り品量の管理
- ・生産量の管理
- ・在庫管理
- ・安全性の確保

(3) 設備管理システム

- ・設備に関するデータ管理
- ・点検データ処理と管理
- ・設備保全計画
- ・設備診断システム

(2) 品質管理システム

- ・原料の品質チェックと原料の性質による製造工程の指示
- ・仕掛り品の品質チェック
- ・製品の品質チェック
- ・不良品の発生原因の判定と対策の指示

(課題)

情報の取得・処理・活用

工場の情報化は、工場内で得られる情報をどこでどう処理して何を管理するのかをはっきりさせることが大切。ただ情報を取って工場を『見える化』するためのものであってはならない。

知能化

情報を出来るだけ多く取得することは工場内の状況を知る上で望ましいことであるが、膨大なデータから適切な対応の仕方を決定するには知能化されたシステムが必要となる。これが有効な情報システムになるか否かの重要点で、構成に当っては重視して検討することが大切。

(例) 設備情報

集中管理としての設備管理システムは図(3)設備管理システムに示されたようなことをおこなうべきであるが、重要な役割として設備の異常を知らせる必要がある。設備の情報を適時取得し、現場で処理して正常・異常の判断をし、異常時に警報を管理室等へ知らせるような形が考えられるが、判断や対応の仕方を定めるには知能化が必要となる。また、場合によっては自動的に復帰させるような知能化システムが望まれる。

5.3 こんな研究もされている

リビングラボ(LL) (4)

企業が社会ニーズを満たす開発を目的とする。住民と企業の共同作業で、生活者が暮らしの中で気づいたことを商品・サービスの開発・検証に生かす試み。

(例) 「鎌倉リビングラボ」「松本ヘルス・ラボ」「WISE LL」

スマートセンシングシステム (5)

工場の生産性向上を実現するために工場内各種設備を接続するIoTの活用で、工場全体をデジタル化しその運用を最適化する。

() 発電デバイス

設備の状況を検出するためのセンサに必要な電源を設備の振動などから得て、工場内に配線を追加せず、電池交換も必要としないようにするための研究。

() 学習型スマートセンシングシステム

- ・工場内の設備に対し、IoT導入を容易にするために、自動的にデータ解析・抽出等の処理を可能とする等の仕組みの開発。
- ・無線メッシュ通信。多くのセンサ端末から得られた情報と情報収集端末(コンセントレータ)との双方向無線通信をおこなう。

農村デジタルトランスフォーメーション(農村DX) (6)

AI等の先端技術を活用し、農業の効率化を計る。特に農業作業だけでなく、農村生活全体をデジタル化する試み。(株)日本総研が石川県で北陸先端科学技術大学と共同で取り組んでいる。

AI工場の世界標準 (7)

工場内の生産設備管理や自律型輸送車両などAIの判断で工場を稼働させるスマートファクトリー化が進められている内で「ものづくりの国際標準」を作る争いが世界的に広げられている。

参考文献

- 1 群馬県製造業の現状と今後の成長に向けた取り組み 日本銀行前橋支店
- 2 計数・測定 得丸・添田・中溝・秋月 共著 培風館
- 3 次世代計装システム 秋月 第10回計装研究討論会 石油学会 平成5年2月9日
- 4 朝日新聞 2019年1月7日
- 5 電気学会誌 スマートセンシングによる多様な現場での生産性向上への取り組み 2020年5月
- 6 電気学会誌 「農業DX」の取り組み 2020年12月
- 7 朝日新聞 2019年6月2日