

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

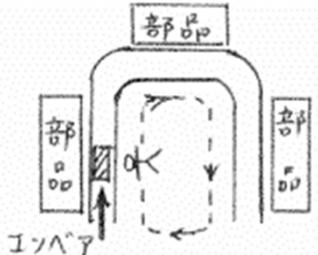
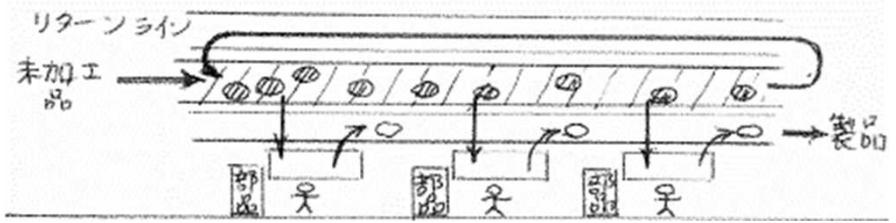
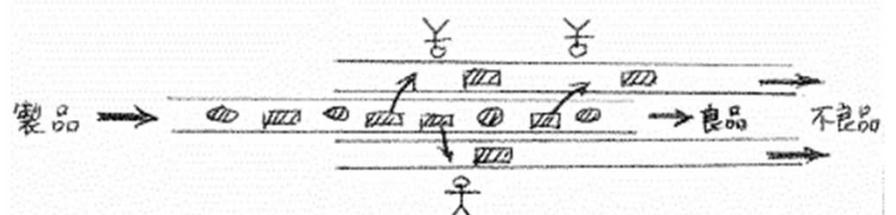
- ・台車方式が「はやり」になっているが、以下のような基本的な特長・欠点に着目し、よく検討することが必要。

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

<p>(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。</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
<p>(生産量)大量 (作業)単純作業で1個当りの工数が少ない。</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> ・短いラインを沢山並べるほかにこのような方式もある。 ・作業員数・ライン長・ラインスピードの決定が重要。 ・作業員の能力差に対応。
<p>(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</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・作業員数の決定が大切。

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。

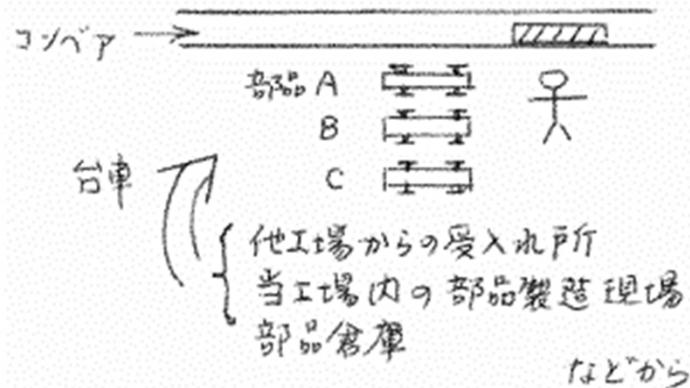
発送・設置

・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

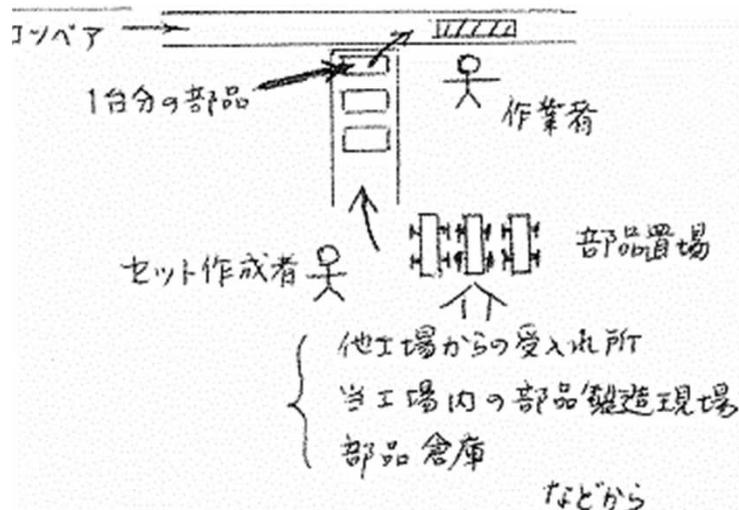
基本



(課題)

- ・取り違いが起り易い。
- ・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

<p><u>設備の不備</u></p> <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	<p>生産のための設備を考え直す必要がある。</p> <p>材料強度と耐久性を検討。</p> <p>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。</p>
<p><u>設備の劣化</u></p> <ul style="list-style-type: none">・自然劣化・強制劣化	<p>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。</p> <p>過負荷になっていないか？給油や適切な掃除の検討</p>
<p><u>設備の取り扱いに誤り</u></p> <ul style="list-style-type: none">・誤操作・無理作業	<p>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。</p> <p>設備の使い方、作業の仕方を見直す。</p>

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。

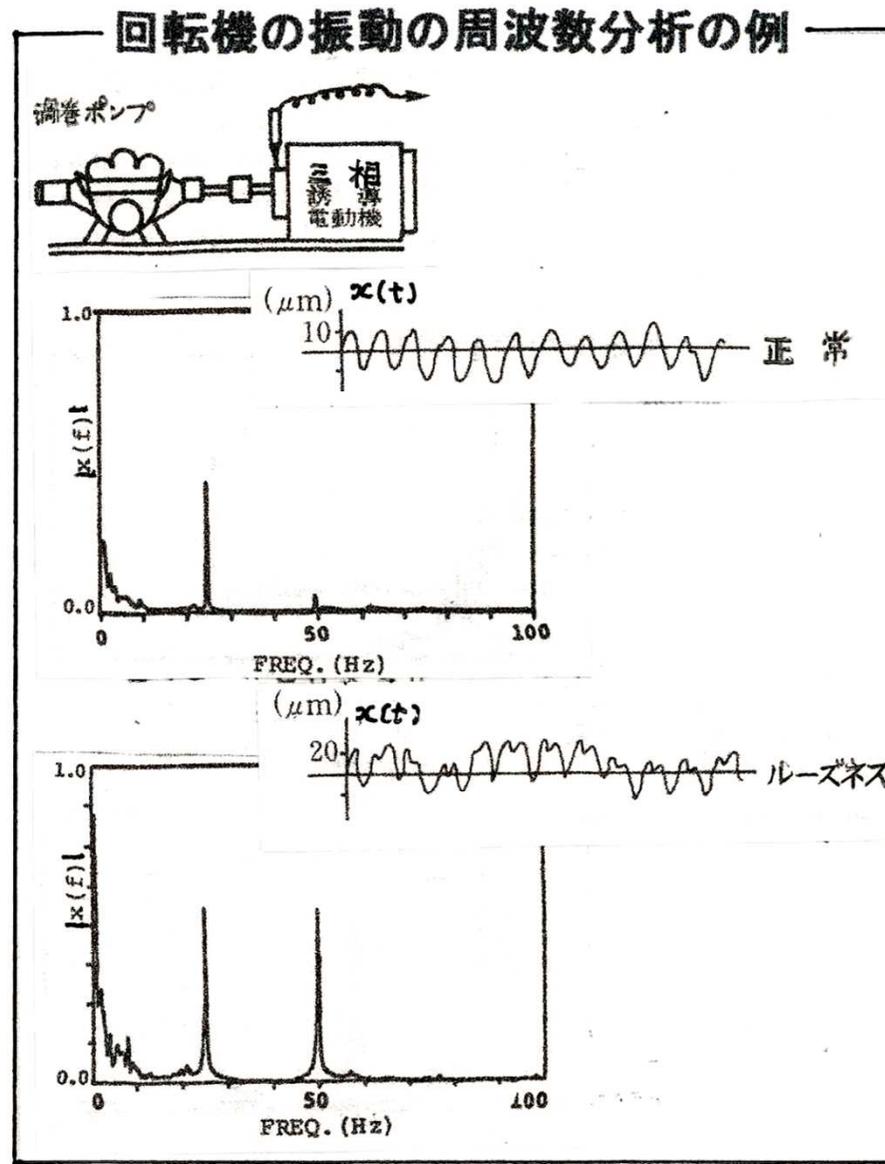
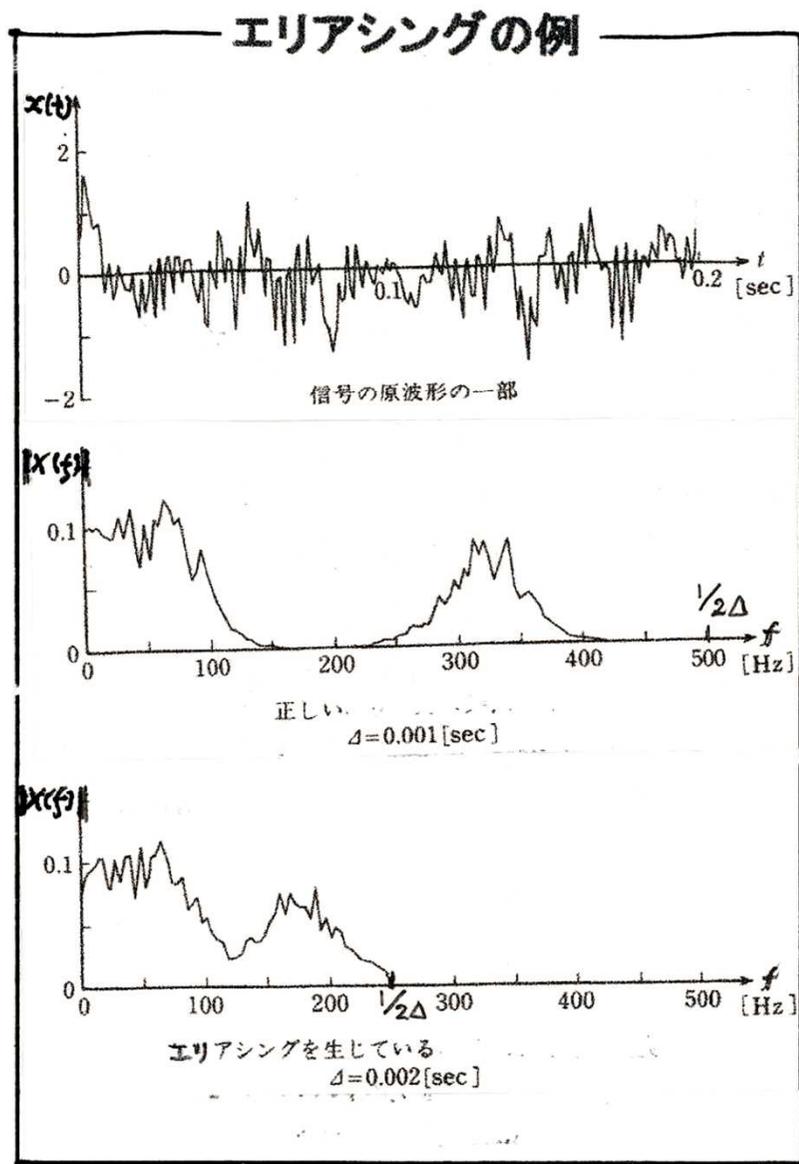
$$x(t) \rightarrow x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

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、 Δf が選定できるようになっている。 Δf を小さくするとデータ長($\Delta t \cdot 2^N$)が短くなり、適切な結果が得られない。また、 Δf を大きくとりすぎると、 $1/2\Delta f$ (Hz) より高い周波数成分が $1/2\Delta f$ 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。 Δf 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？

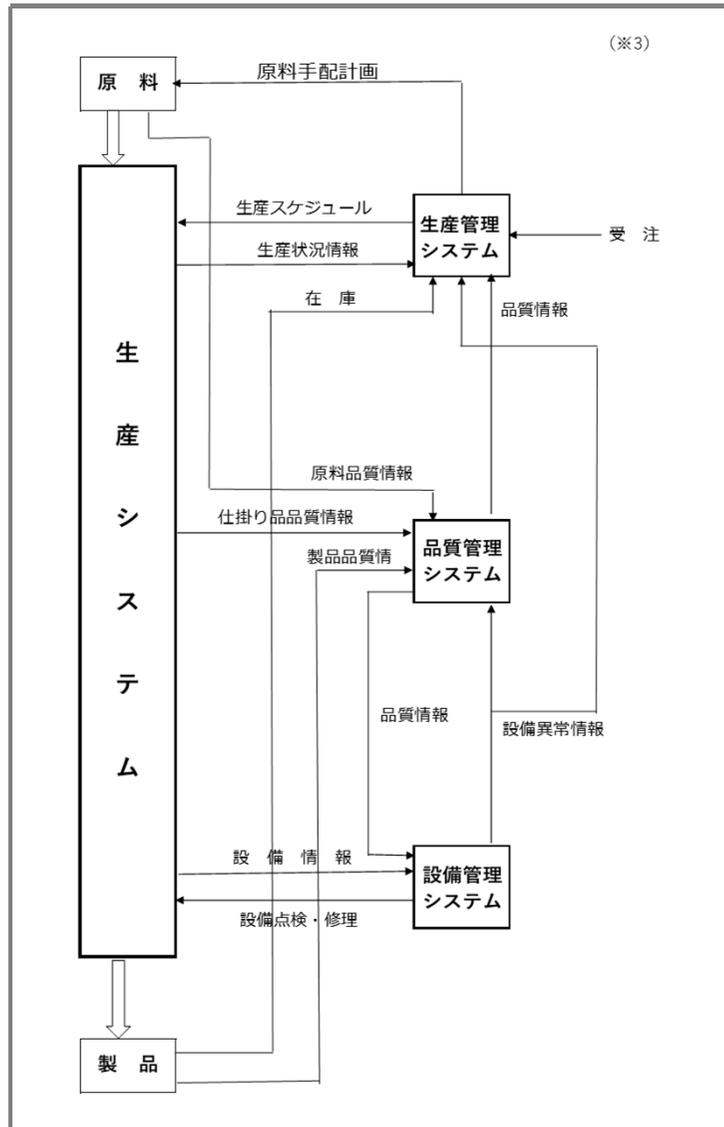
- () 自動化装置とチョコ停。加工品をつかまえてベルトコンベアに乗せて搬送するような単純作業は自動化されているところも多い。しかし所謂チョコ停が発生し、その度に作業者が飛び廻っている。簡単そうでも努力しないとチョコ停はなかなかなくなる。人はチョコ停回復のために必要？

- () 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

(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

(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

(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)

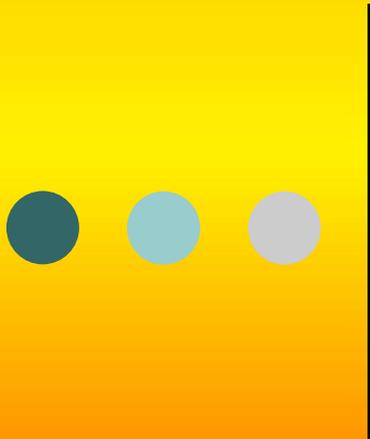
AI等の先端技術を活用し、農業の効率化を計る。特に農業作業だけでなく、農村生活全体をデジタル化する試み。(株)日本総研が石川県で北陸先端科学技術大学と共同で取り組んでいる。

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がられている。

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



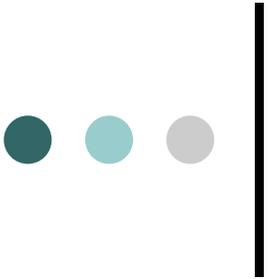
次世代生産情報システム の要諦

ー ビッグデータ活用の可能性

群馬大学理工学府 電子情報部門

関 庸一

情報技術の普及にともないIoT、AIの活用可能性が広がっている。本講演では、製造工程を中心として、現場から入手する情報を現場にどのように活用できるかという課題について、Big Data、その利用法、今後の可能性などを考える。



講師自己紹介

○ 学歴

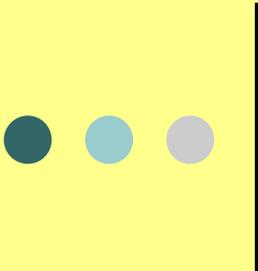
- 昭和57年 3月 早稲田大学理工学部数学科卒業
- 昭和59年 3月 同大 理工学研究科経営工学専門分野博士前期課程修了
- 昭和63年 3月 同研究科 博士後期課程単位取得後退学
- 平成 2年10月 工学博士「多次元的数量化方式の研究」

○ 職歴

- 昭和62年 4月 早稲田大学理工学部 助手(工業経営学科)
- 平成 2年 4月 群馬大学工学部 助手(情報工学科) (平成 3年11月:助教授、平成14年 3月:教授)
- 現在 群馬大学 教授(電子情報部門)(電子情報理工学科)、理工学府長
 - 来年度から、情報学部 教授

○ 専門分野:

- **データマイニング** : 多量データに対する統計手法の開発とその応用
 - ID付きPOSデータや、クレジットカードの利用履歴データ、医療介護関連データなどを対象に手法の開発と分析、データ解析コンペティション
- **統計的学習理論** : 自己組織化マップ(SOM)、樹形モデル(CART)や一般化線形モデルなど統計モデルとその解法の開発、統計的モデル選択基準
- **応用データ解析** : 統計的品質管理、モニタリングデータ、評価データなど各種データに対する確率モデルと分析手法の開発、その応用



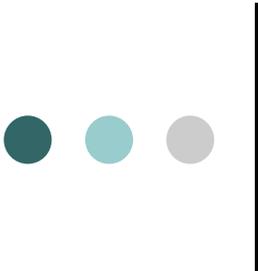
概要

- 製造の中の情報
 - 管理のサイクルとオンライン制御
 - 品質損失の評価とその削減
- BigDataで起こる変化
 - Society5.0 ?
 - BigData とは
 - IoT と 工程の自動化
- BigData の可能性と限界
 - BigDataの分析法
 - 利用可能性と限界



概要

- 製造の中の情報
 - 管理のサイクルとオンライン制御
 - 品質損失の評価とその削減
- BigDataで起こる変化
 - Society5.0 ?
 - BigData とは
 - IoT と 工程の自動化
- BigData の可能性と限界
 - BigDataの分析法
 - 利用可能性と限界



製造の中の情報

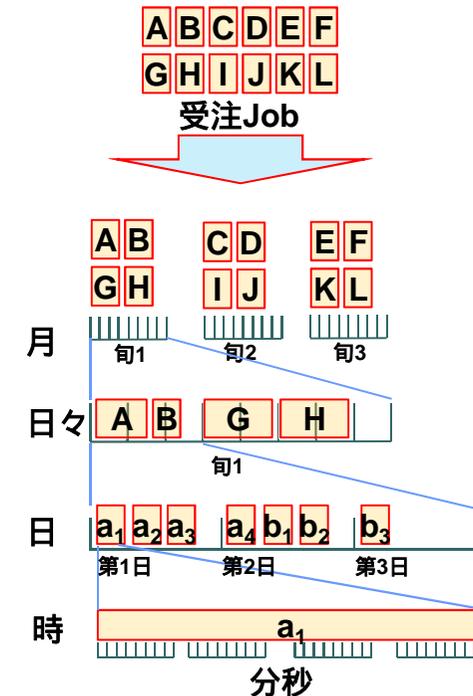
- 計画 管理(統制)
- 計画階層
 - 立案周期 準備リードタイム
= 計画のフィードバックサイクル
- 統制
 - 工程内の統制 ex. 異常検知と調整
 - 生産計画の統制

計画サイクル

適切なモノ・コトを必要な時と場所に生じさせるため

○ 計画スパン

計画	タイム スパン	計画 単位	決定項目例
負荷計画	月	旬	資材・勤務
日程計画	数日	日	工程・機械割当
スケジュー リング	日	時	ロット処理順序
作業手順	時	分・秒	単位作業内容



○ それぞれでの決定項目：

- 所与の準備リードタイムへ対応できるように制御可能要素を確定

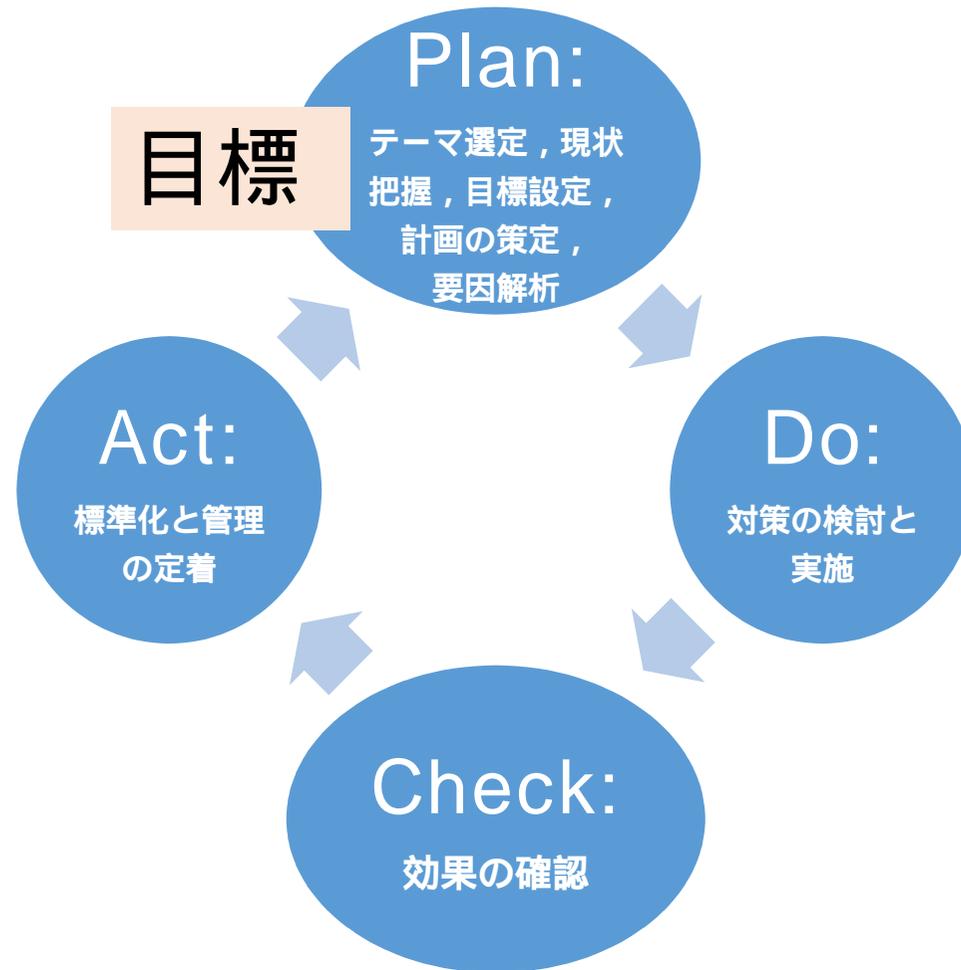
○ 上位計画の検討項目が下位計画の条件

それぞれの計画階層では

管理サイクル: PDCA

計画 統制

from 品質管理



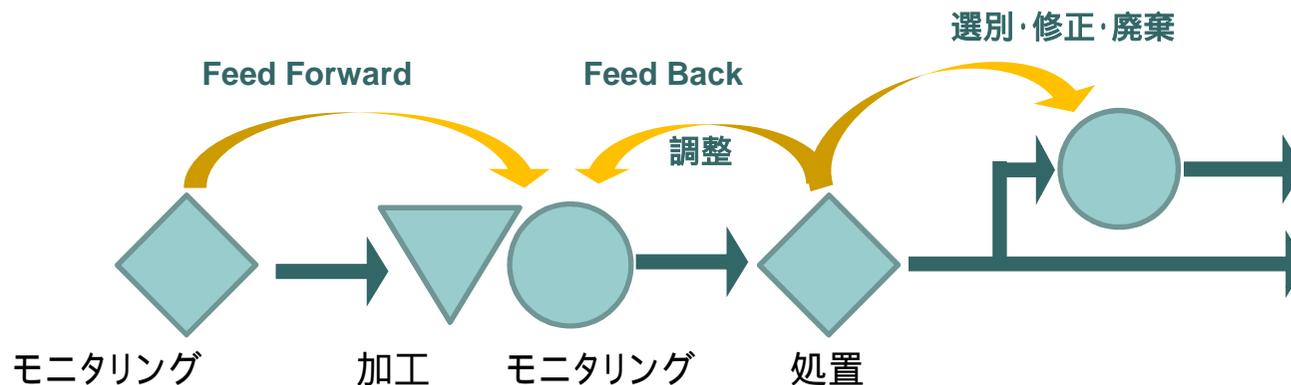
● ● ● | 特定の工程に注目すれば

- オンラインの管理 (統制)
 - モノの流れとその制御法
- 損失の構造(主に品質)と制御
 - 製品の市場での損失とその計測
 - 損失の構造
- 工程状態の変化モデル

● ● ● | オンラインの管理

○ オンラインの統制(コントロール)
 = 目標値の調整 ノイズ影響の相殺

- Feed Forward 条件を見て調整(適応制御)
- Feed Back 結果を見て調整(フィードバック)

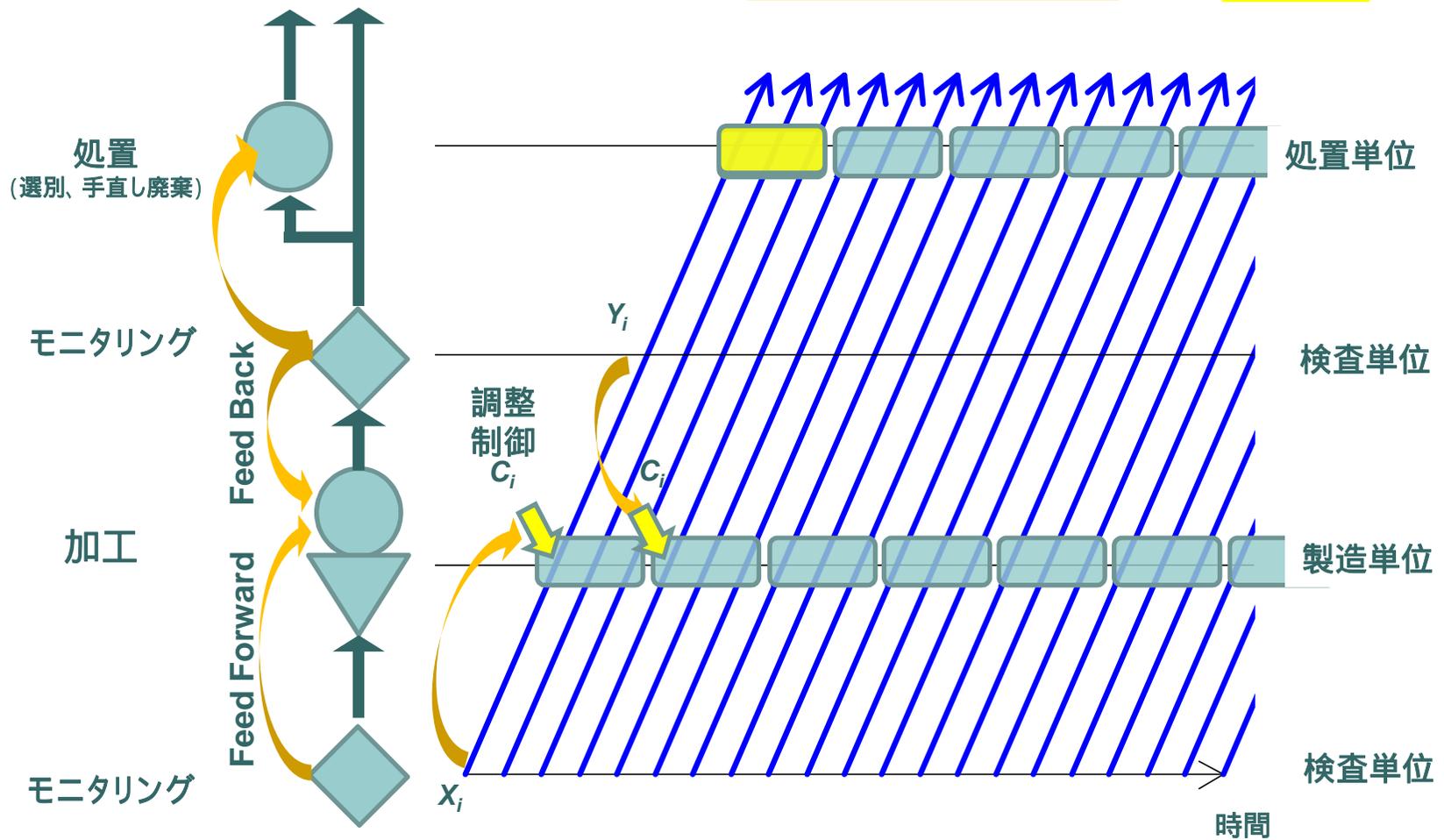




工程の条件

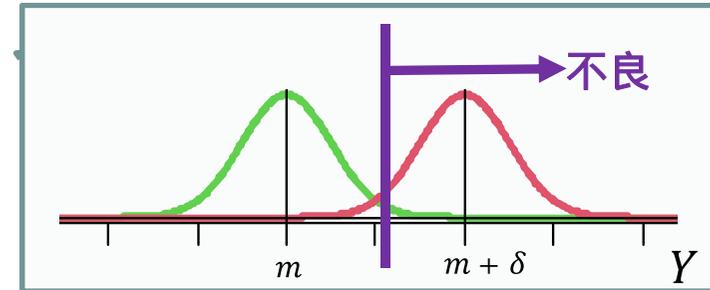
時間を逃れないので、
検査間隔、製造単位の
関係で必ず見逃す不良

手直し
or
廃棄



i : 製品番号

生産の工程条件



- 生産工程の品質特性 Y の分布・不良率
 - 標準状態 ex. $Y \sim Dist(m, \sigma^2)$: 平均 m , 分散 σ^2 のある分布
 - 故障状態(要 調整状態) ex. $Y \sim Dist(m + \delta, \sigma^2)$
 - δ : 目標値 m からのずれ
 - 簡単のため、分散 σ^2 は変化しないとする。
- 生産経過(製造コストの作り込み) の中の意思決定内容
 - 情報獲得{タイミング/情報の質}
 - 調整・処置方法(選別、手直し・廃棄) {実施ルール}
 - {検査時点} {調整や処置の時点}
- 加工単位・検査単位・処置単位(製品の流れの粒度)
 - 大きさが一致するとは限らない
 - 大きな単位に合わせて処置するしかない

製品の市場での損失とその計測

タグチメソッド流

○ ある品質特性(組合せ)の製品の市場での損失

= **損失関数** (二次関数近似) : $L(y) = k(y - m)^2$

y :品質特性、 m : 目標値、 k : 比例定数

- 機能限界[市場]・許容差[工場規格]

安全係数: (許容差設計) 良品判定

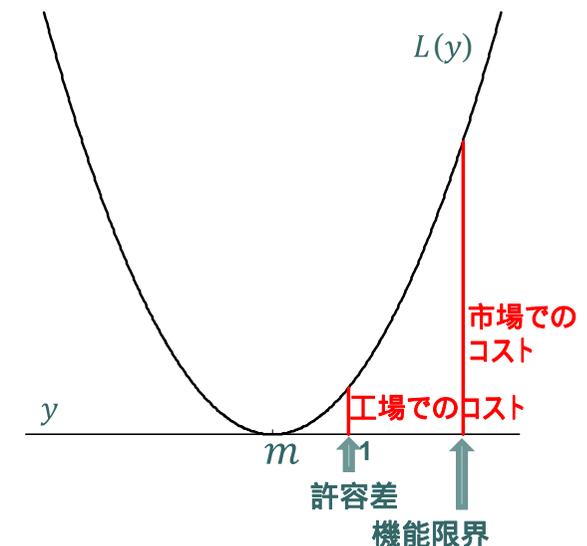
○ 製品の品質特性の選択

- 計測可能な特性
- 計測{不能・無益}な特性

検査しない、最終稼働試験

ex. 破壊検査、極く稀な不良、観測できる特性がない

…選別・調整による 品質損失改善 > 実施コスト ?



損失の構造

○ 選別・調整コスト(工数・原材料)

- 情報獲得(検査・診断)コスト = 頻度 × 単価
 - 計量値 / 良・不良
- 製品を選別して手直しor 廃棄するコスト
 - 選別工数、不良品の手直し工数 / 廃棄損失
- 制御・調整作業のコスト = 頻度 × 単価
 - 工程の調整: 工数、工程停止

トレードオフ

○ 製品品質の損失

損失関数(選別・手直し後の品質コスト)

選別・調整しても生ずる

製品品質の損失

○ 選別・手直し後の品質コスト

● 遅延(ラグタイム)コスト

製品1個当たりの品質劣化程度 × 継続時間

(品質劣化が1回で、調整で復帰する場合)

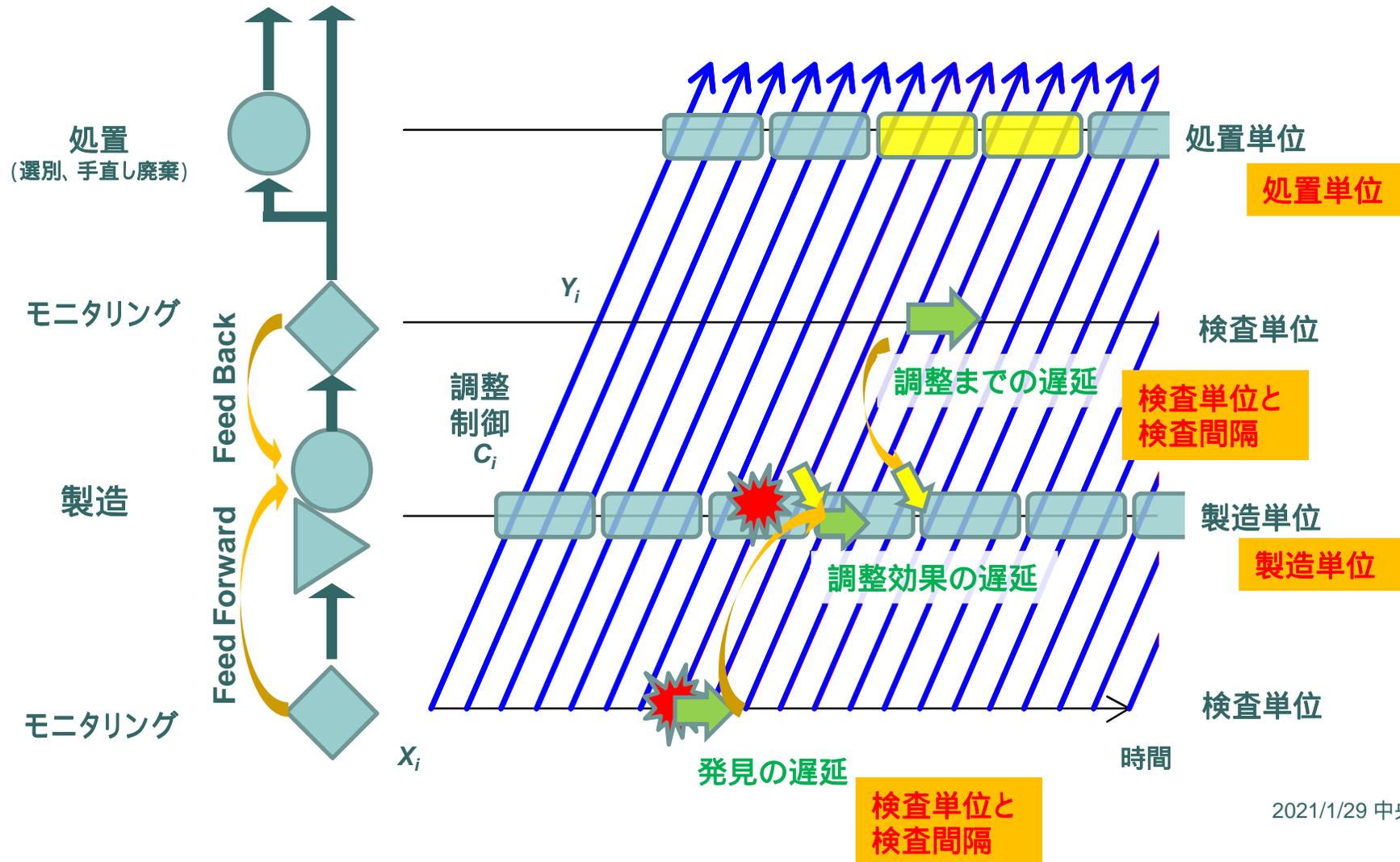
- 劣化発生から発見までの見逃し
- 発見から調整効果発現までの見逃し

← 予測可能性(上流で把握、変化モデル[後述])

○ 調整結果の品質コスト

- 調整ミスのコスト ... 測定誤差の分布、調整誤差の分布
- 調整効果の遅延・拡散 (複雑[後述])

● ● ● 工程の条件に依存して決まる損失(遅延)



損失の評価：損失の期待値 $E[L(Y)]$

- 標準状態： $Y \sim \text{Dist}(m, \sigma^2)$ のとき

$$E[L(Y)] = E[k(Y - m)^2] = k\sigma^2$$

- 要調整状態： $Y \sim \text{Dist}(m + \delta, \sigma^2)$ のとき

$$E[L(Y)] = E[k(Y - \delta - m)^2 + k\delta^2] = k\sigma^2 + k\delta^2$$

- 調整後の状態 = 標準状態？

調整によるゲイン > 調整コスト？

- 計測誤差や調整誤差があって、調整量が δ から分散 σ_δ^2 で独立に確率変動すれば、

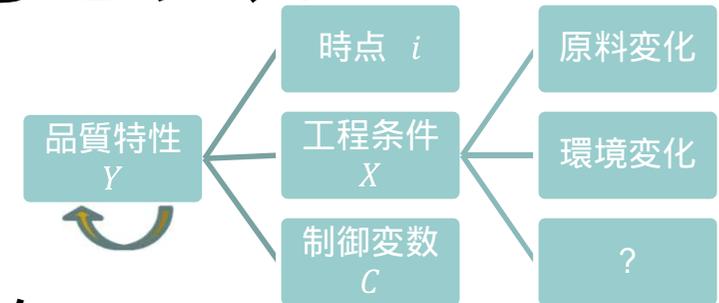
$$E[L(Y)] = k\sigma^2 + k\sigma\delta^2$$

調整によるゲイン： $k\delta^2 - k\sigma_\delta^2 > \text{調整コスト}$ ？

- $\delta^2 > \sigma\delta^2$ ？ δ のズレのときに調整すべきか？

- $\delta^2 < \sigma\delta^2$ ならば品質改善がない。調整コストに拘わらず調整しない。
- σ_δ^2 が計測誤差に依存しているなら、計測対象を増やすモニタリング法などが考えられる。

工程状態 Y_i の変化モデル



標準状態 要調整状態

- 転位の予測の可能性はあるのか？
- 変化モデル $Y_i \sim Dist(\mu(i, X_{1:i}, C_{1:i}), \sigma^2)$

- 変化点(ランダムな時点で1回悪化) ex. 工具破損

今までの説明(予測不能 事後検出)

- 変化傾向(トレンド) ex. 工具摩耗

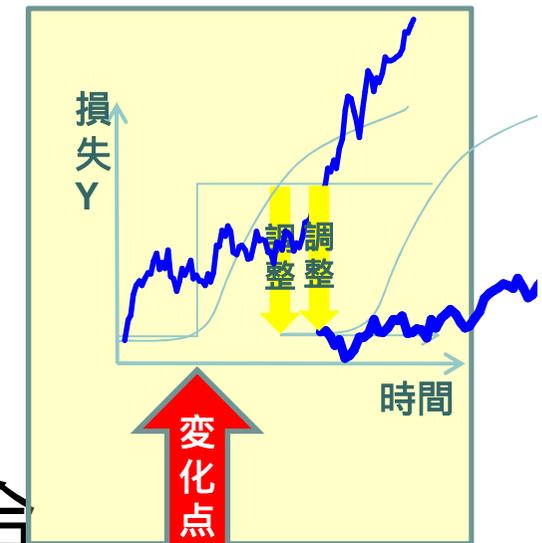
ex. 特定の時期 i がたったら交換する(予防保全)

- ランダムウォーク(現状のレベル Y を参考にはできる)

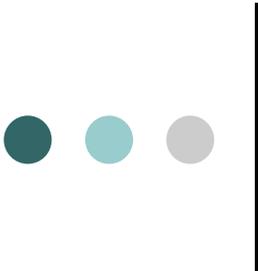
- その他の工程条件(ex. 原料変化) X の変化

X_i の変化を打ち消す C_i (適応制御)

- 制御変数 C の調整による変化の効果は？



X_i や C_i の効果が遅れて μ に現れる場合



まとめ

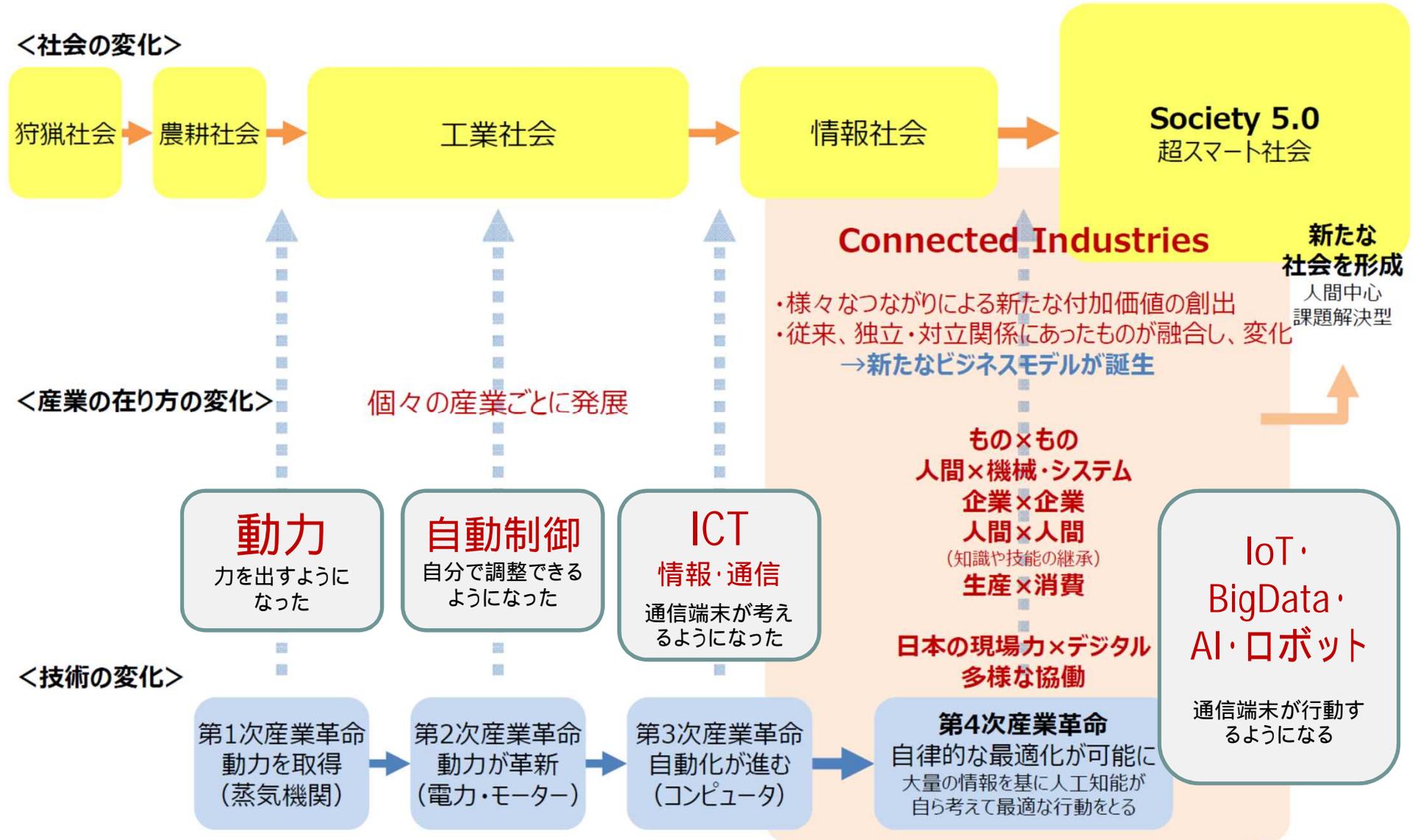
- 調整のキーポイント
 - リアクションを取れるタイミング
 - 最善は「品質は作りこむ」、次善は発生場で即応
 - ダメなら： 製造単位↓、Feed backからFeed forward
 - リアクションの効果とコストの評価
- 課題
 - 工程状態のモニタリング法の設計(情報収集計画)
 - 観測頻度・タイミング、観測単位、...
 - 状態変化の時系列モデルの推測(統計的推測)
 - 状態の判定、原因結果関係 $\mu(\cdot)$ の特定、...
 - 処置方法の設計(意思決定問題)
 - 観測された製品・工程状態に対し、何をすべきか
 - ← コストの性格、原因結果関係



概要

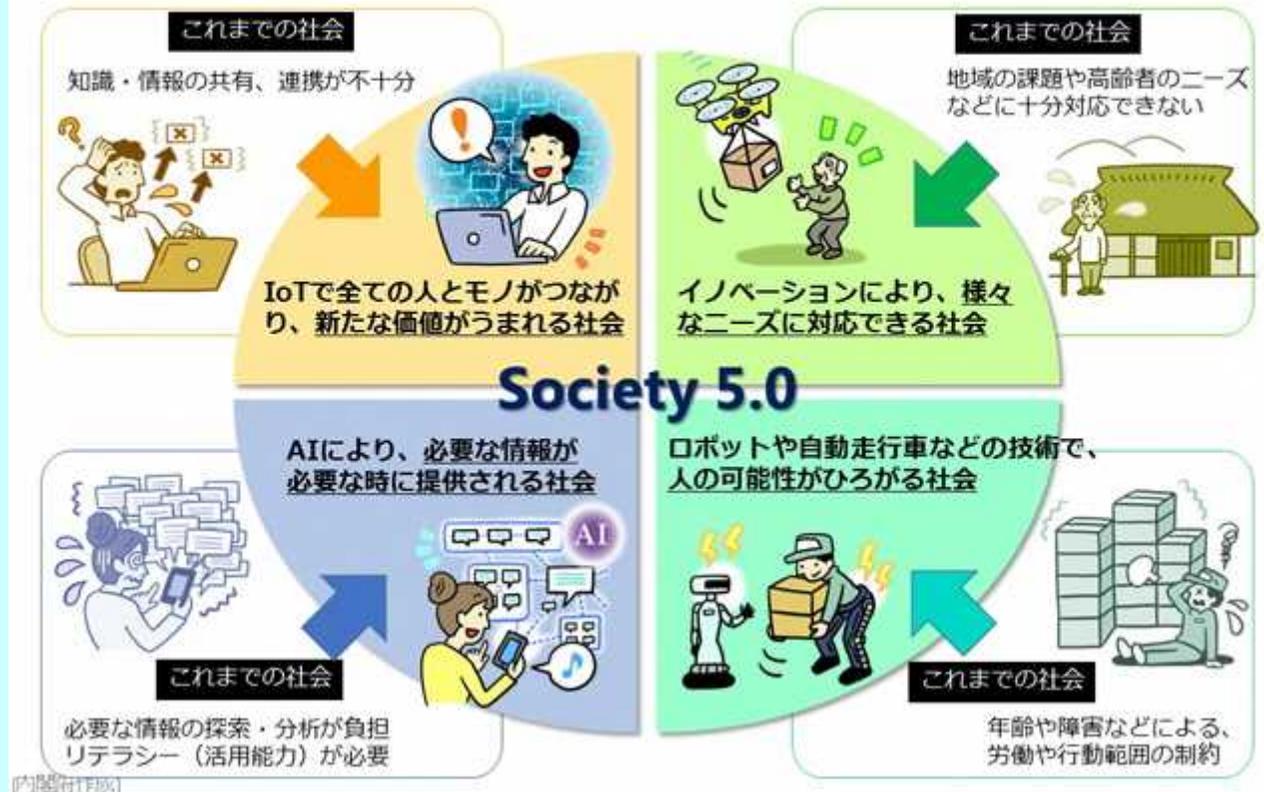
- 製造の中の情報
 - 管理のサイクルとオンライン制御
 - 品質損失の評価とその削減
- Big Dataで起こる変化
 - Society5.0? 未来社会への変化
 - Big Data とは
 - IoT と 工程の自動化
- BigData の可能性と限界
 - BigDataの分析法
 - 利用可能性と限界

Society 5.0につながるConnected Industries



経産省, 新産業ビジョン, (2017). <http://www.meti.go.jp/press/2017/05/20170530007/20170530007-2.pdf>

Society 5.0で実現する社会



- これまでの情報社会 (Society 4.0) では知識や情報が共有されず、分野横断的な連携が不十分であるという問題がありました。人が行う能力に限界があるため、あふれる情報から必要な情報を見つけて分析する作業が負担であったり、年齢や障害などによる労働や行動範囲に制約がありました。また、少子高齢化や地方の過疎化などの課題に対して様々な制約があり、十分に対応することが困難でした。
- Society 5.0で実現する社会は、IoT (Internet of Things) で全ての人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出すことで、これらの課題や困難を克服します。また、人工知能 (AI) により、必要な情報が必要な時に提供されるようになり、ロボットや自動走行車などの技術で、少子高齢化、地方の過疎化、貧富の格差などの課題が克服されます。社会の変革 (イノベーション) を通じて、これまでの閉塞感を打破し、希望の持てる社会、世代を超えて互いに尊重し合あえる社会、一人一人が快適で活躍できる社会となります。

今、何が起きているのか？ ～技術のブレークスルー～

- 実社会のあらゆる事業・情報が、データ化・ネットワークを通じて自由にやりとり可能に (IoT)
- 集まった大量のデータを分析し、新たな価値を生む形で利用可能に (ビッグデータ)
- 機械が自ら学習し、人間を超える高度な判断が可能に (人工知能 (AI))
- 多様かつ複雑な作業についても自動化が可能に (ロボット)

→ これまで実現不可能とされていた社会の実現が可能に。

これに伴い、産業構造や就業構造が劇的に変わる可能性。

データ量の増加

世界のデータ量は
2年ごとに倍増。

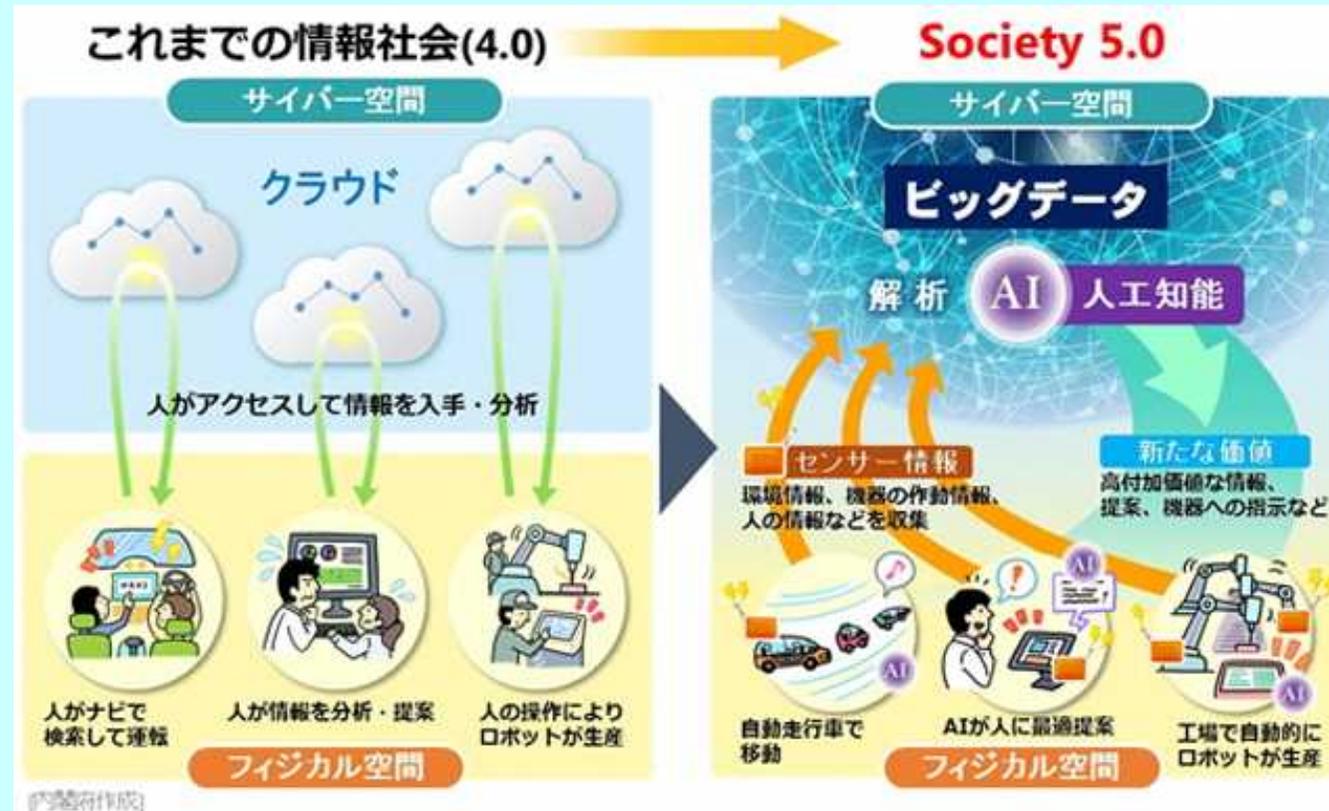
処理性能の向上

ハードウェアの性能は、
指数関数的に進化。

AIの非連続的進化

ディープラーニング等
によりAI技術が
非連続的に発展。

Society 5.0のしくみ



- Society 5.0は、サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステムにより実現します。これまでの情報社会(Society 4.0)では、人がサイバー空間に存在するクラウドサービス(データベース)にインターネットを経由してアクセスして、情報やデータを入手し、分析を行ってきました。
- Society 5.0では、フィジカル空間のセンサーからの膨大な情報がサイバー空間に集積されます。サイバー空間では、このビッグデータを人工知能(AI)が解析し、その解析結果がフィジカル空間の人間に様々な形でフィードバックされます。今までの情報社会では、人間が情報を解析することで価値が生まれてきました。Society 5.0では、膨大なビッグデータを人間の能力を超えたAIが解析し、その結果がロボットなどを通して人間にフィードバックされることで、これまでには出来なかった新たな価値が産業や社会にもたらされることとなります。

Data is Power!

データは力なり

Evidence based Decision Making
証拠にもとづく意思決定

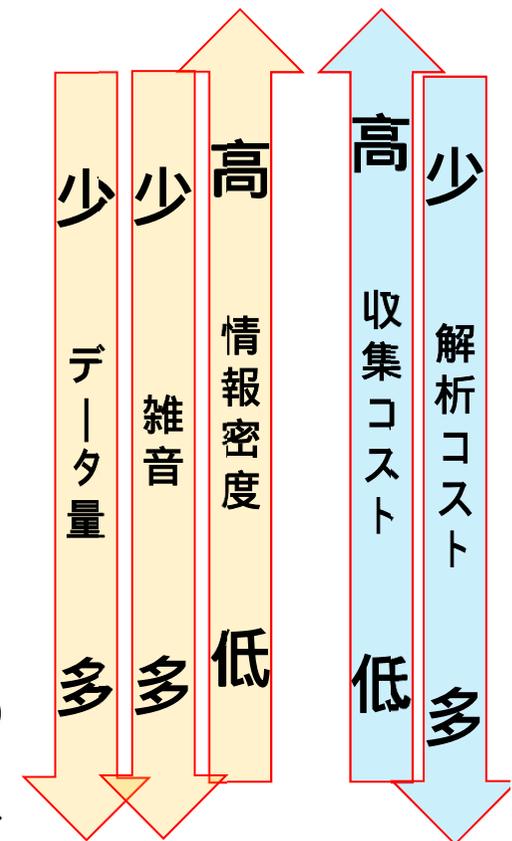
証拠 (Big Data) が容易に収集できるようになってきている

ディスクに埋もれるデータから知恵を引き出せるか？
人間が引き出す / AIに学ばせる？

データとは

… まず、データの種類(観測状況)

- **実験データ**: 実験条件を調整・管理して実施
 - 現象へ介入して作り出した結果
因果把握
ex. 実験計画法による開発実験
- **調査データ**: 母集団を規定して調査
 - 計画して選別されたサンプル
目的対象の現状把握
ex. 標本調査、アンケート調査、モニター調査
- **履歴データ**: 日常業務で蓄積された履歴
 - 現実の**悉皆把握** (関心対象以外の事例が含まれるクソみそ一緒)
環境状況の現状把握、…
ex. 自動検査履歴、受入れ検査・製品検査、システムログ

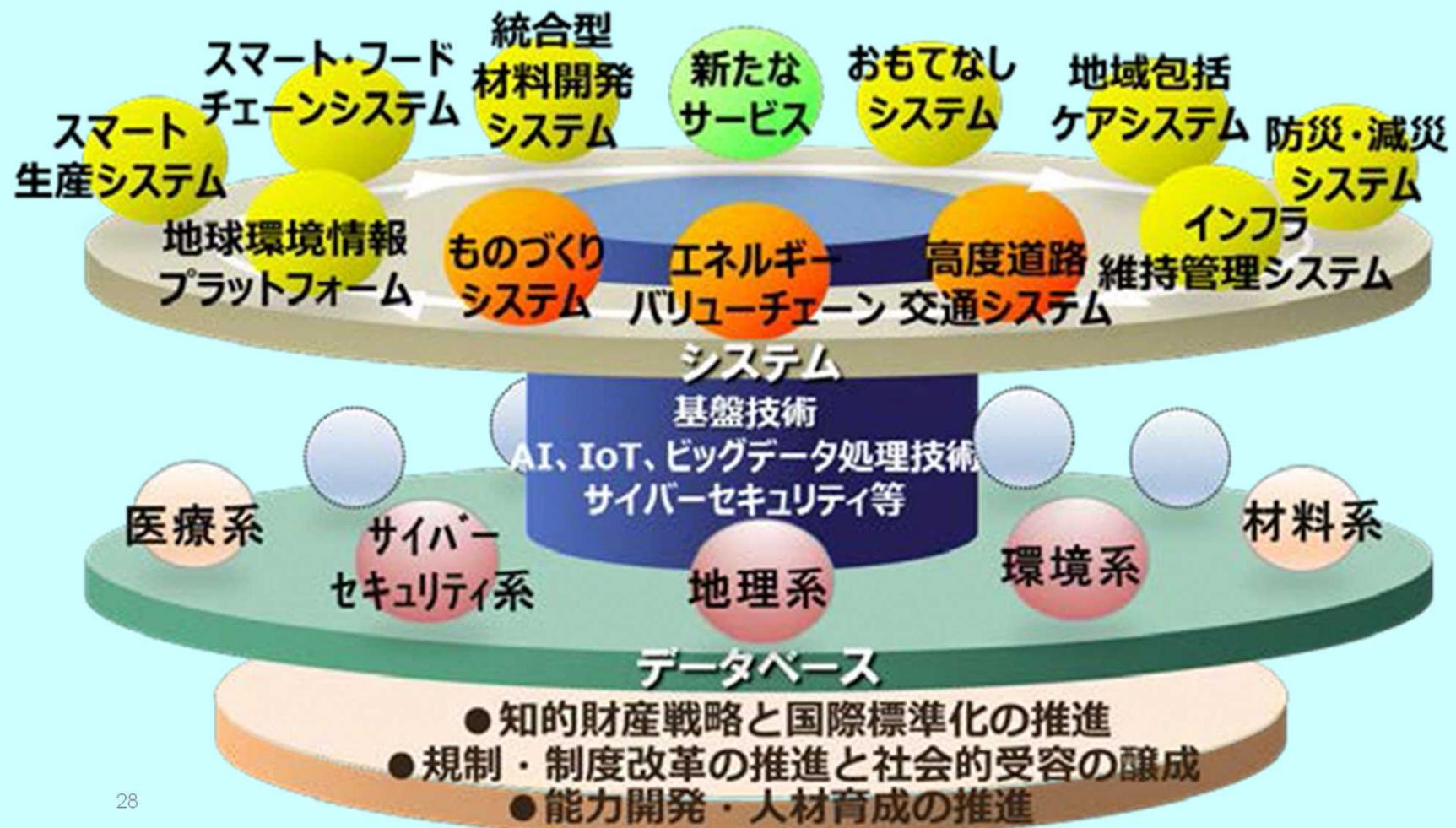


大規模データ (Big Data) . . . 3V

BigData = 履歴データ

- データ量 (Volume)
 - 悉皆、多対象、多地点、多時点、多変量、...
 - 反復の発見と選別(目的対象に絞り込むには?)
- 多様性 (Variety)
 - 数値、因子、XML、自然言語、画像、動画、...
 - 特徴量(必要な特性に要約する方法は?)
- 生成速度 (Velocity)
 - リアルタイムなデータ入力
 - 蓄積して処理(オフラインバッチ)
→ オンラインモニタリング

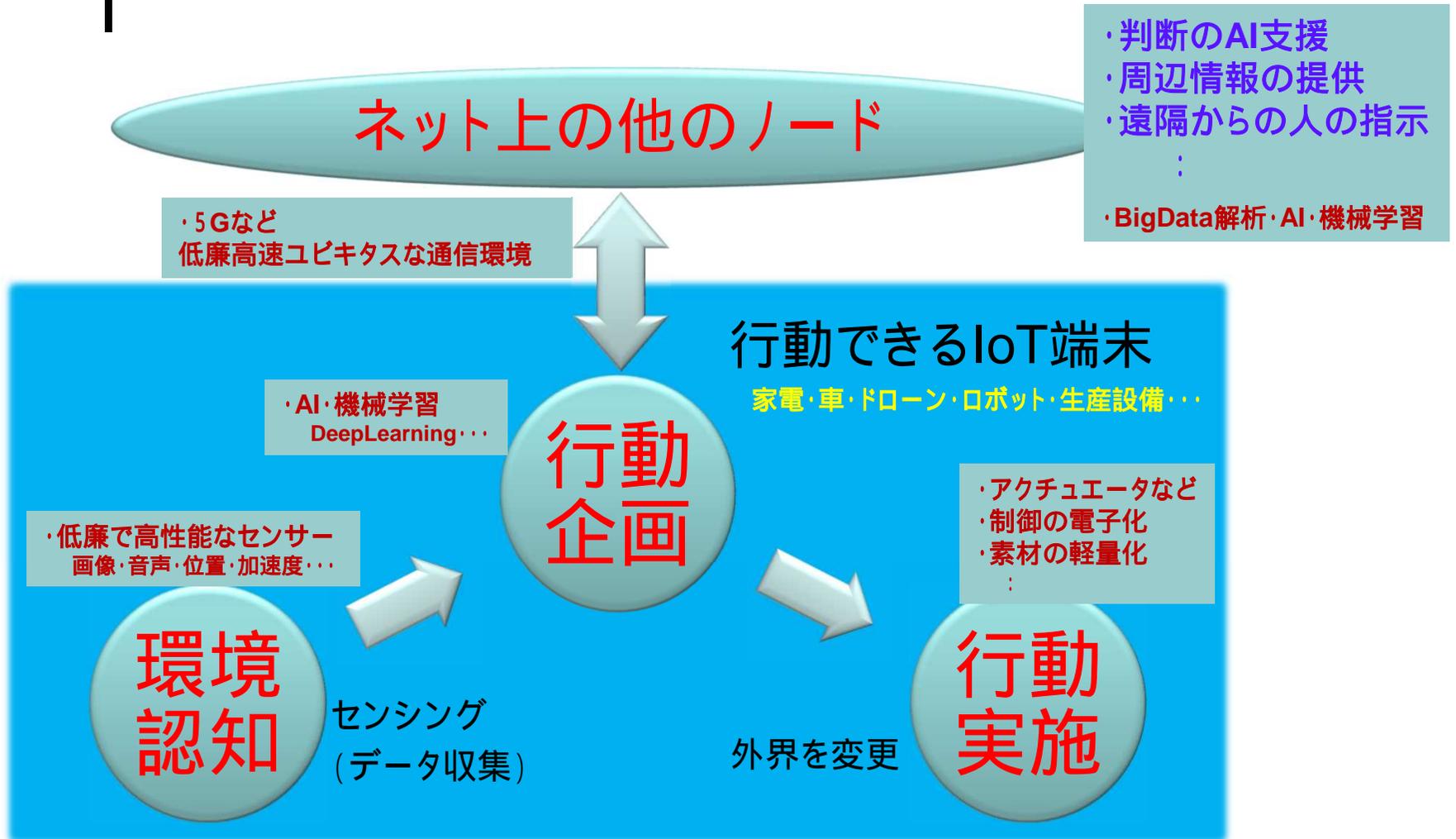
Society 5.0を実現するプラットフォームのイメージ





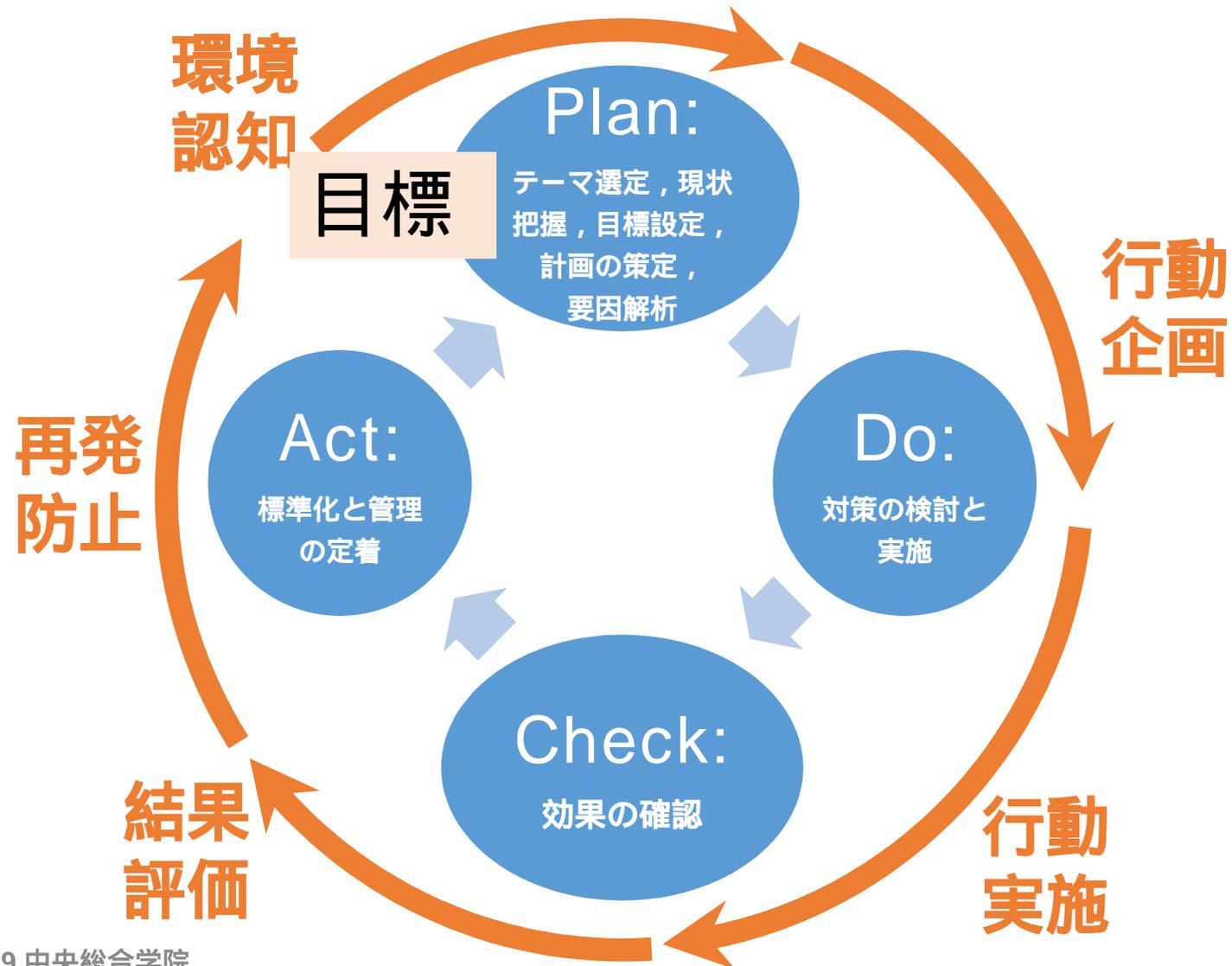
IoT

Internet Of Things
もののインターネット



改善的経営情報機能

適切なモノ・コトを必要な時と場所に生じさせるため



自律的経営情報機能

適切なモノ・コトを必要な時と場所に生じさせるため

ex. アジャイル開発

データ
エンジニアリング

環境
認知

情報
収集

データサイエンス
(狭義)

分析

目標

意思
決定

OR:オペレーションズリサーチ
数理定式化と最適化

行動
企画

行動

行動
実施

結果
評価

対象とする固有領域
の知識と実践力

評価

再調査

Feed
Back
制御

再分析

自動化・AI化

- 物の流れの制御・・・自動搬送・自動倉庫
 - 工程間移送 AGV
 - ピッキング：必要なものを集めて箱詰め
 - <https://www.youtube.com/watch?v=VrWljIwYy48>
- 正しい状態かどうか判定・・・自動検査/保守
 - Deep Learning, 画像認識・振動解析・・・不良・異常検知
- 対象に応じた正しい加工
 - ex. 対象の向きを修正して加工
 - ex. 加工ロボット(溶接、塗装、...)
- 工程群の統合化
-

表：IoT 等活用事例に基づくビジネスモデルの類型と中小ものづくり企業の課題

No.	IoT 等活用の類型		中小ものづくり企業が抱える課題
	類型	詳細類型	
1	生産性向上	現場作業改善	<ul style="list-style-type: none"> 製造の精度が不足 製造前の検討が不十分 製造条件の調整が困難 人員の不足 作業者自身の気づきを促すことの難しさ 指導のための管理者の気づきを促すことの難しさ
		工程管理	<ul style="list-style-type: none"> 短納期対応による煩雑さ 紙媒体での管理の煩雑さ 製造拠点の分散による管理の難しさ 少ない人員での管理の難しさ 顧客からの問い合わせ対応の負担
		品質確保	<ul style="list-style-type: none"> 製品情報の迅速な追跡の難しさ 品質検査の手間
		事務作業効率化	<ul style="list-style-type: none"> 見積作業の負荷 マニュアル作りの負荷 現場情報のデータ入力の手間
		技能継承／脱属人化	<ul style="list-style-type: none"> 熟練者でないと出来ない作業があること 見積作業には業務経験が必要なこと マニュアル作成・活用が進まないこと 作業ノウハウの偏在 スキルのある人材の不足
		経営改善	<ul style="list-style-type: none"> 適切な材料在庫の確保 リアルタイムな生産状況の把握 クリエイティブな作業時間の確保
2	新商品・サービスの創出	新商品創出	<ul style="list-style-type: none"> 競争力のある新サービスの創出 既存サービスの新規顧客開拓 顧客の製品利用状況がわからないこと
		新サービス創出	
		その他付加価値創出	

パタン認識: AI



AI搭載画像検査装置
「AI太郎(あいたろう)」

様々な異物を検出するために、上下各2基のフルカラーLEDと上下2台のカメラを搭載して、画像を撮影する。AIを使った画像検査(ディープラーニング)で、事前に指定したものを自動選別



概要

- 製造の中の情報
 - 管理のサイクルとオンライン制御
 - 品質損失の評価とその削減
- BigDataで起こる変化
 - Society5.0 ?
 - BigData とは
 - IoT と 工程の自動化
- BigData の可能性と限界
 - BigDataの分析法
 - 利用可能性と限界

大規模データの解析法

課題設定とデータ収集

- 役に立つ(解析の骨格) ... 誰のために何を定める
- アクションを決める関数(決定関数)の発見手順

データ整備

- 対象(注目する反復生起)と変量(位置づけと扱い)
- 変量(特徴量)の生成

仕事の8割

データ解析(探索的・検証的)

- 変量間の関係のモデル化
- 各種手法

モデル検証 …よく当たる？

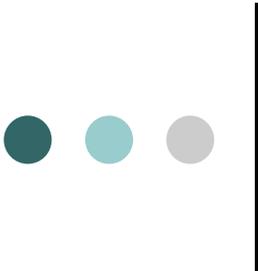
- 当たるとは(値があたる / 分布があたる)、汎化力

課題設定とデータ収集

…その分析は役に立つ？

- 目的意識(立ち位置)が解析結果を使う人の目線か？
 - ex. 流通データ: 顧客 / 店舗 / メーカー / ?
 - ex. 工程データ: 部品メーカー / 当該工程 / 後工程 / 品質保証部
- 何をすれば良いかを提案しているか？
 - **決定関数**: 「獲得情報 アクション」の提案
 - (Input) 使える情報は何か? そのコスト?
 - (Output) アクションの選択肢の妥当な整理
 - 真の状況ごとの各アクションの利得・コスト

… ただし, 利得・コストの評価は難しい(視点・時点・地点などで変わる)。
代用して有益な評価尺度はなにか?
- 決定関数を定められるほど, **適切なデータ**があるか?



現象の理解とデータ収集の関係

現在どんなデータを収集済みか？

- データを解析、現象を理解(仮説構築)

今後どんなデータを収集可能か？

- データ収集態勢を整えて、データ収集、仮説検証
- 現象のモデル化と決定関数の設定、運用

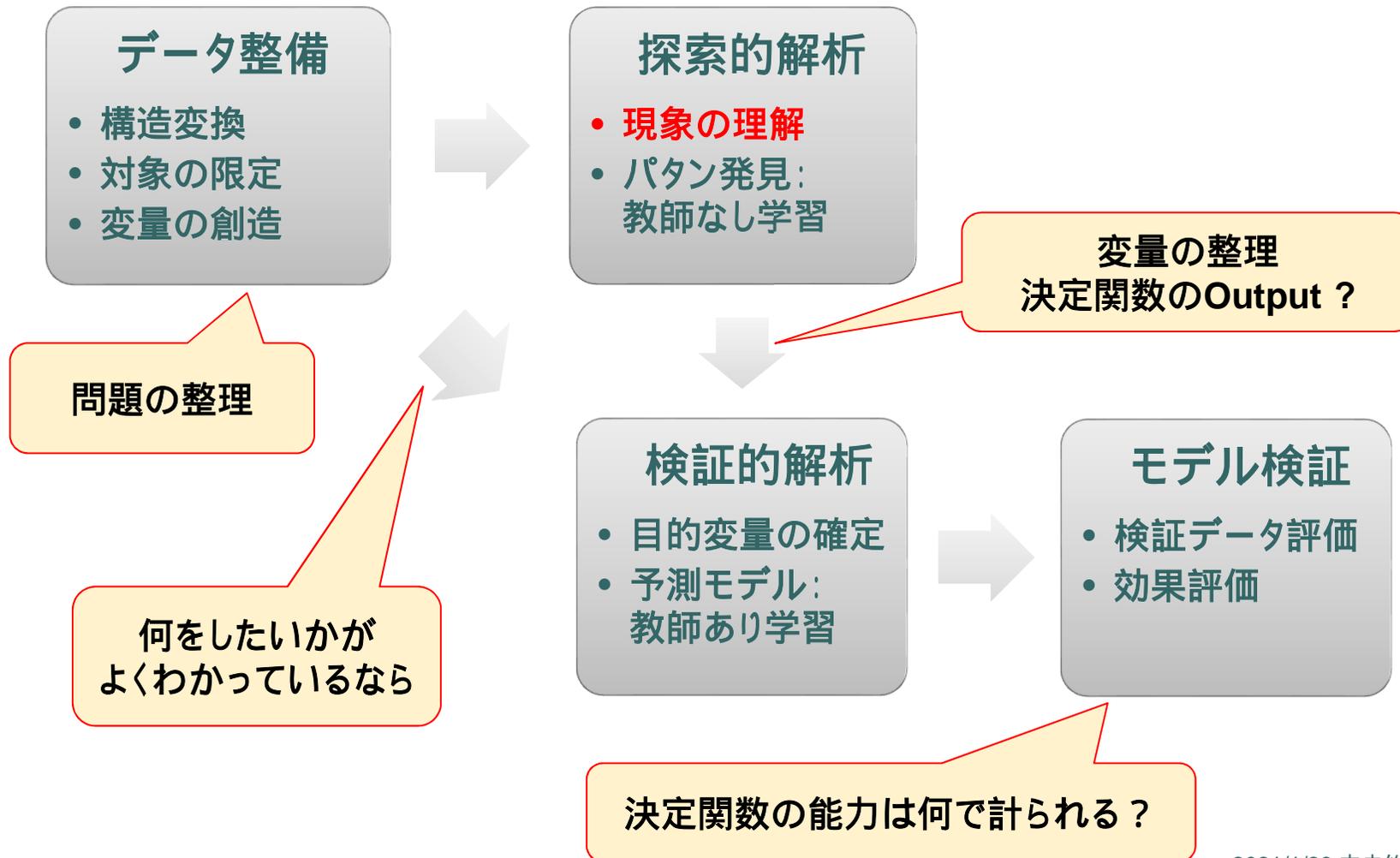
に戻る

データの収集上の注意

…どんなデータを集めるか

- 集計データ < 個品のプロフィールデータ
 - 把握の粒度(反復単位)は最小単位が良い
 - ロット < 個品、不良数 < 特性値の値
 - ただし、最小単位？
- 原因系と結果系の対応のある対データを！
 - IDをどう付番するか: ロットの合流・分離
 - 突合可能性の確保
 - 部品検査 製造 完成品検査
- 原因系候補のリストアップと観測可能性の検討
測定コスト

大規模データの分析手順



データ整備：変量の創造

…変量の役割づけ

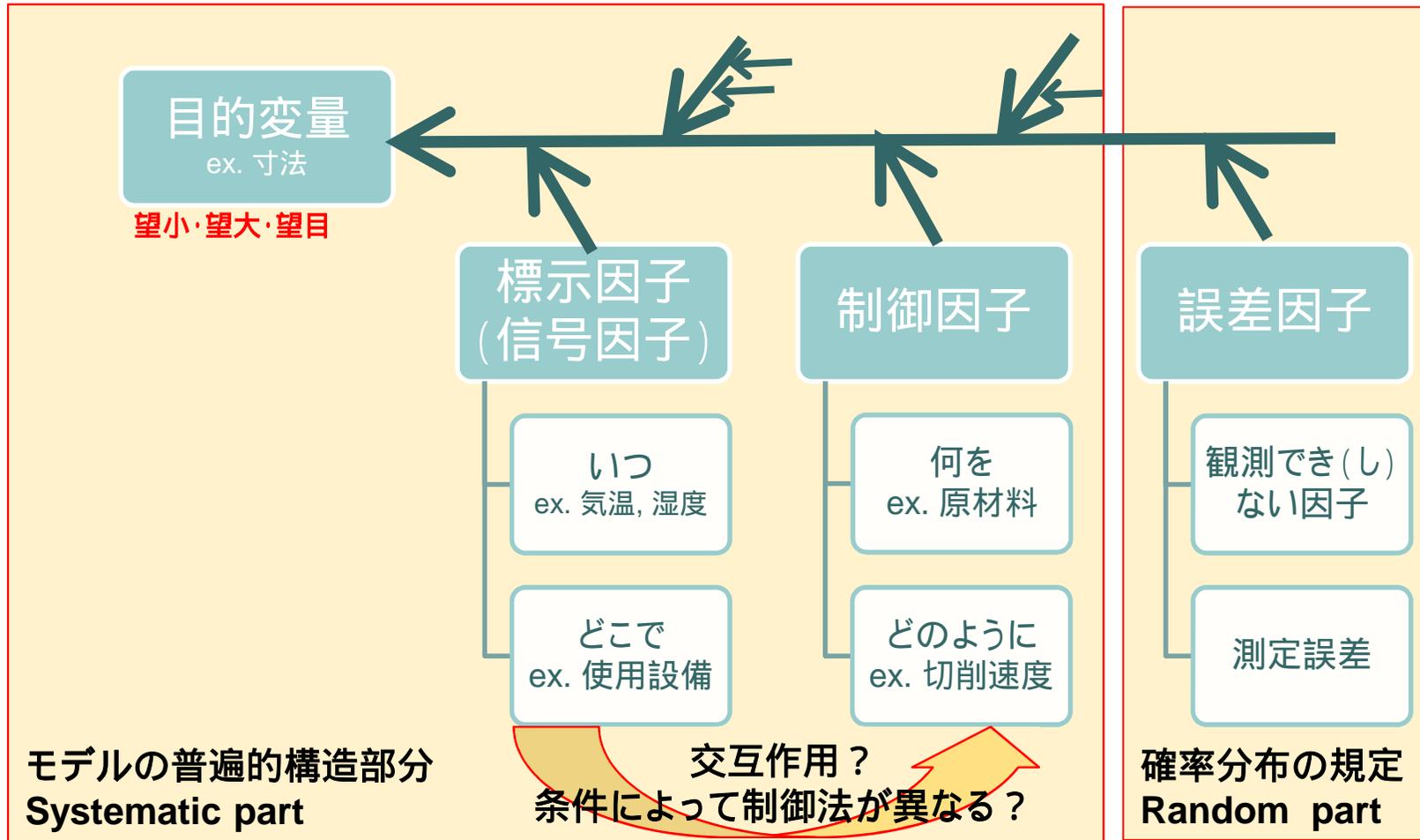
反復間で異なる点は何か？

- 結果系の変量 … その違いを制御したい
 - 目的変量 : 管理特性
- 原因系の変量 … その違いを知れば,
今度のときにアクションがどう取れるか？
 - 制御因子 (コントロールできるパラメータ)
 - 標示因子 (コントロールできないが事前観測できる環境)
(信号因子) その値を見てコントロールを変える
 - 誤差因子 (制御も観測もできない. 予測結果の分布を規定)



特性要因図

変量間の関係と分類



母数効果

変量効果



データ解析 何を知りたい？

- 最近の様子はどうなっているのか？
【教師なし学習】
 - 事例ごとにタイプ分けして理解したい
 - 事例をいくつかの程度で評価したい
- 最近の様子から、今度、どうなるか、事前にわかるようにしたい。【教師あり学習】
 - 最近の様子 = 教師データ
 - どんなとき(説明変数)には、
 - どうなる(目的変数)[タイプ/程度]

データ解析の手法

…続々登場：分析環境依存

(R, Matlab, Google (BigQuery, Prediction API), ...)

○ **【教師なし学習】** 探索的データ解析 (データの要約)

: 必要な情報を浮き彫りにする。

変量の総合変数化、事例(群)の特徴づけ

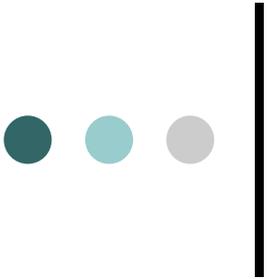
- 連続変数の要約：主成分分析、正準相関分析、NMF
- 離散・頻度変数の要約：双対尺度法 (対応分析)
- クラスタ化：クラスタ分析、SOM (自己組織化マップ)、LCA
- 距離・類似度の特徴量化：多次元尺度構成法 (MDS)、LINE

○ **【教師あり学習】** 確証的データ解析 (現象のモデルの発見)

: 関連を把握 (説明変数群 目的変数)

線形モデル = 古典的多変量解析 / 非線形モデル (機械学習の方法など)

- 回帰：目的変数が連続値 ex. 売上高 ← 立地 + 商圈人口 + ...
 - 重回帰、一般化線形モデル、樹形回帰モデル、...
 - 平滑化、射影回帰、加法モデル、MARS、関数解析法、RBF (ラジアルベーススファンクション)
 - K-NN (k近傍法)、NN (ニューラルネットワーク)、...
- 判別：目的変数がカテゴリ ex. 病気の再発 ← 重症度 + 治療法 + ...
 - ロジスティック回帰、決定木、NN (ニューラルネットワーク)、Deep Learning、SVM (サポートベクトルマシン)、多項ロジットモデル
- 変量間の相関・関連のモデル化
 - 因子分析、共分散構造分析、グラフィカルモデリング、ベイジアンネットワーク、...
 - アソシエーション分析 (マーケットバスケット分析 分割表の検定)



モデル検証

…よく当たる？ : 予測する力

- 何が当たる？
 - 結果が当たる…点推定, recall / precision
 - 分布が当たる…区間推定(確率評価), 反応確率
- 分布をあてる ex. 平均と標準偏差
 - 獲得できる情報に限界 完璧な予測は不可能
= 結果の分布がわかれば十分と諦める.
 - 予測分布の分散が小さい方が幸せだが, 以下の何れかが必要
 - 現象の説明モデルをもっと的確にする.
 - 獲得できる情報の質を改善する.

汎化能力が高い？

- 観測結果を発生させる仕組み(因果)をデータから追えるか？(裏が取れるか)
 - データの豊饒さ(事実の量)
 - 現象の複雑さ

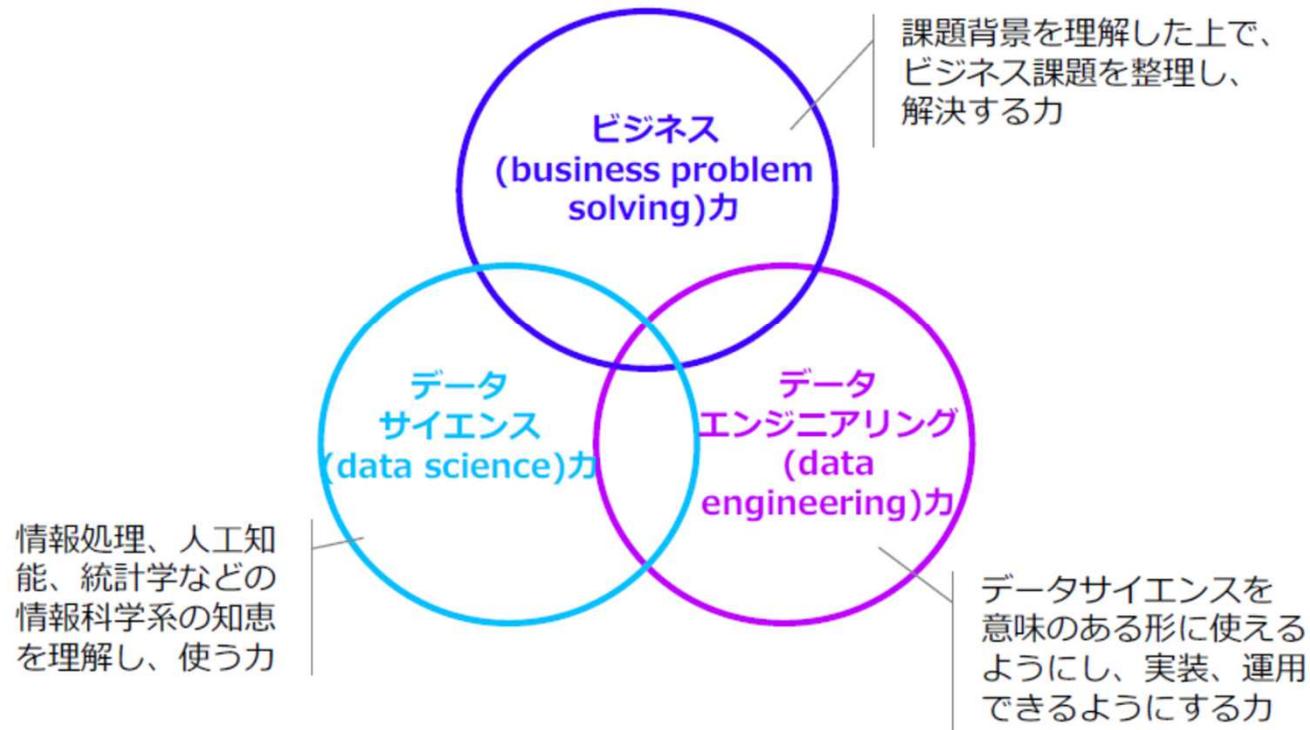
】 モデルの複雑さを抑制
- データの豊饒さとモデルの複雑さのバランス
 - 風が吹けば桶屋が儲かる？
 - 複雑なモデルは真実から遠ざかる
- モデルの説明力 = その世界の理解
 - 今はよいけれど...。外部環境の変化にどこまで配慮できる？
 - 不思議なことが起こった場合、0から考え直さなくて済むか？
 - 当たらなくなったときに、モデルのどこが悪いか評価修正できる

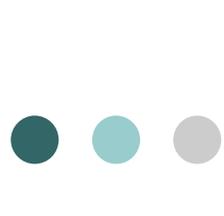


データサイエンティスト？

ビッグデータやIoT を活用する上で不可欠となる職種

データサイエンティストに求められるスキルセット





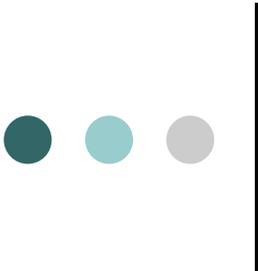
スキルカテゴリ by データサイエンティスト協会 2015

スキルカテゴリー一覧							
項目数			項目数				
データサイエンスカ (項目数：180)	1	統計数理基礎	14	データエンジニアリングカ (項目数：119)	1	環境構築	19
	2	予測	16		2	データ収集	12
	3	検定/判断	11		3	データ構造	11
	4	グルーピング	13		4	データ蓄積	16
	5	性質・関係性の把握	11		5	データ加工	13
	6	サンプリング	4		6	データ共有	13
	7	データ加工	8		7	プログラミング	20
	8	Data visualization	36		8	ITセキュリティ	15
	9	機械学習	19	ビジネスカ (項目数：123)	1	行動規範	11
	10	時系列分析	7		2	論理的思考	18
	11	言語処理	10		3	プロセス	20
	12	画像処理	6		4	データの理解・検証	26
	13	音声処理	5		5	データ入手	6
	14	パターン発見	3		6	意味合いの抽出、洞察	10
	16	グラフィカルモデル	3		7	解決	4
	17	統計数理応用	4		8	事業に実装する	8
	18	シミュレーション/データ同化	3		9	活動マネジメント	20
	19	最適化	7		項目数合計		422

● ● ● 利用の限界 : Data is power ?

○ 現状での限界

- 学習データの質・量 (データの豊饒さ)
 - 質 : キーデータを捕捉できるか ?
 - 良し悪し (結果系) の変量が蓄積されているか ?
 - 品質 : 不良程度、保守 : 故障事例
 - 現象の原因系のキーになる変量 ?
 - 量 : 現象の複雑さに対抗できる ?
 - 稀な現象は学べない



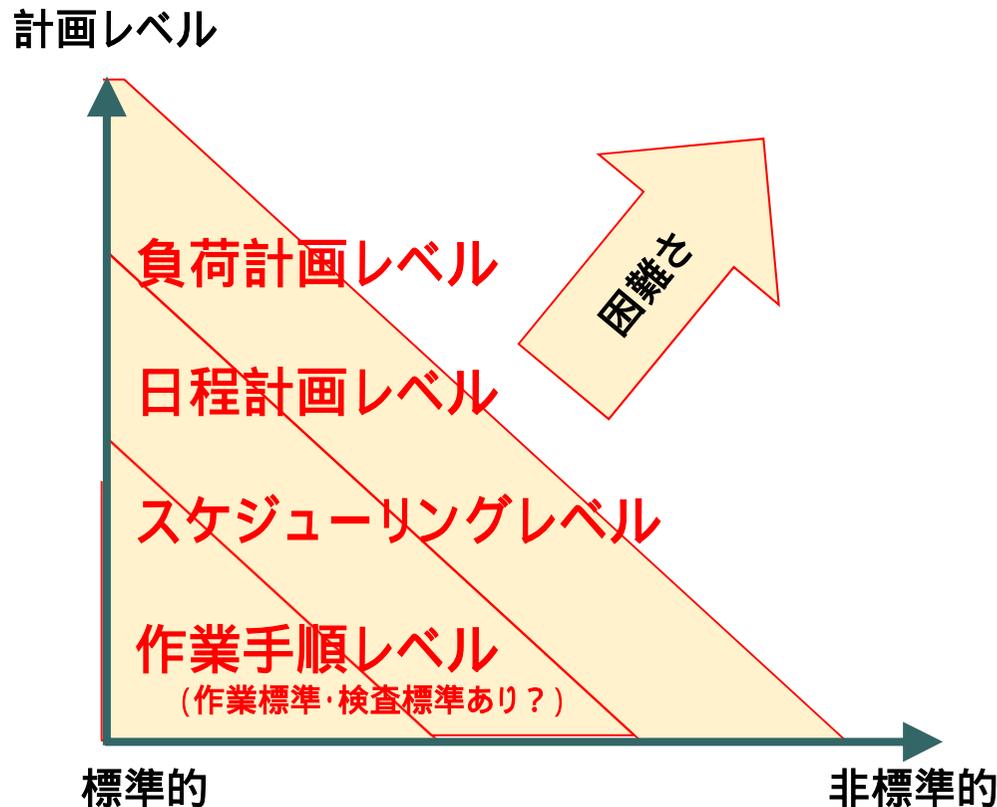
利用の限界

○ 現状での限界

● AI の限界

- 事前定式化済みの問題の最適化は可能
 - 昼間の空いた道路での自動運転
- Openな世界での企図再構築はまだ無理
 - ← 常識なし
 - 予定外の事態を理解できない
 - 雪道、まわりの暴走族での自動運転
 - 新たな不都合には気が付かない
 - 評価基準

自動化・AI化の困難さ



困難さ

- 高次のマネジメントに近いほど
- 標準がない(評価基準が不明確な)ほど
- 現状に豊饒なデータがあるか / 集めうるか?

検討対象

- 容易なものから
- 重点志向: 困っていますか?

「十分に発達した科学技術は、魔法と見分けが付かない。」

アーサー・C・クラーク

1917年12月16日 - 2008年3月19日
SF作家: 『幼年期の終わり』、『2001年宇宙の旅』
静止衛星による電気通信リレー(1945)

○ 夢:

- よ あれ!

- ヒトは願いを伝えるだけで、
ものはロボットが作ってくれる

- 人が企画
- 工程は無人



『ロードオブザリング』 灰色のガンダルフ
<http://www.plasticlab.net/lotr/lotr.htm>

ご清聴 感謝いたします。