

# グローバル製造業における 経営パラダイムの変化とIT デジタルエンタープライズへの道



辻 直志



根岸正州

## CONTENTS

- I 製造業を取り巻く経営環境変化
- II ITを用いた統合化の課題
- III ERPの変革
- IV デジタルエンタープライズの世界

## 要 約

- 1 海外市場での成長要請、製造業そのもののサービス化、IoT (Internet of Things) による製造業のオペレーションのデジタル化など、グローバル製造業を取り囲む経営環境は大きく変化してきおり、この中で、経営課題も機能別競争力の強化から、オペレーション統合力の強化と、統合された俊敏な経営意思決定力に変化してきている。
- 2 これを実現するために、多くの企業がIT (情報技術) 投資を進めてきた。しかし、その効果はいまだ限定的である。この原因の一つにERP (エンタープライズ・リソース・プランニング) システムを中心とする、これまでの企業統合システムの構造的問題の存在が挙げられる。
- 3 企業統合システムの構造的問題は、基本的には企業統合システムが生まれた時代の経営パラダイムに端を発するものである。しかし、さらにその背景にはITの技術的な課題として、これまでのデータベースの速度上限が影響していることが明らかになってきた。
- 4 近年、データベースの世界で大きな技術革新が進んでおり、①半導体メモリーの活用による速度向上、②集計・検索性の容易なデータベース構造の革新、③データベースにとどまらないアプリケーション・ハードウェアの全体設計思想の革新、によりこの制約が解消されつつある。
- 5 これが実現すると、企業のオペレーションのデジタル化による、統合的なオペレーションや、詳細なレベルでのオペレーションの可視化が可能となり、結果予測を踏まえた俊敏な経営意思決定が可能なデジタルエンタープライズへの道が開けてくる。

# I 製造業を取り巻く経営環境変化

い状況にある。

## 1 グローバル競争

2025年までの世界のGDP成長は、主に日本国外でなされる。現在の成長率を単純に当てはめて考えると、2014~20年の日本での成長は0.14兆ドルに対して、日本以外の主要マーケットでの成長は16.2兆ドルと、100倍にも上る。さらにこのうち、BRICSを含む新興国の成長は9.2兆ドルにも達する(図1)。これを受けて、日本の製造業は将来の成長を手に入れるために海外売上比率を急速に伸ばし、同時に生産も海外に移してきている。

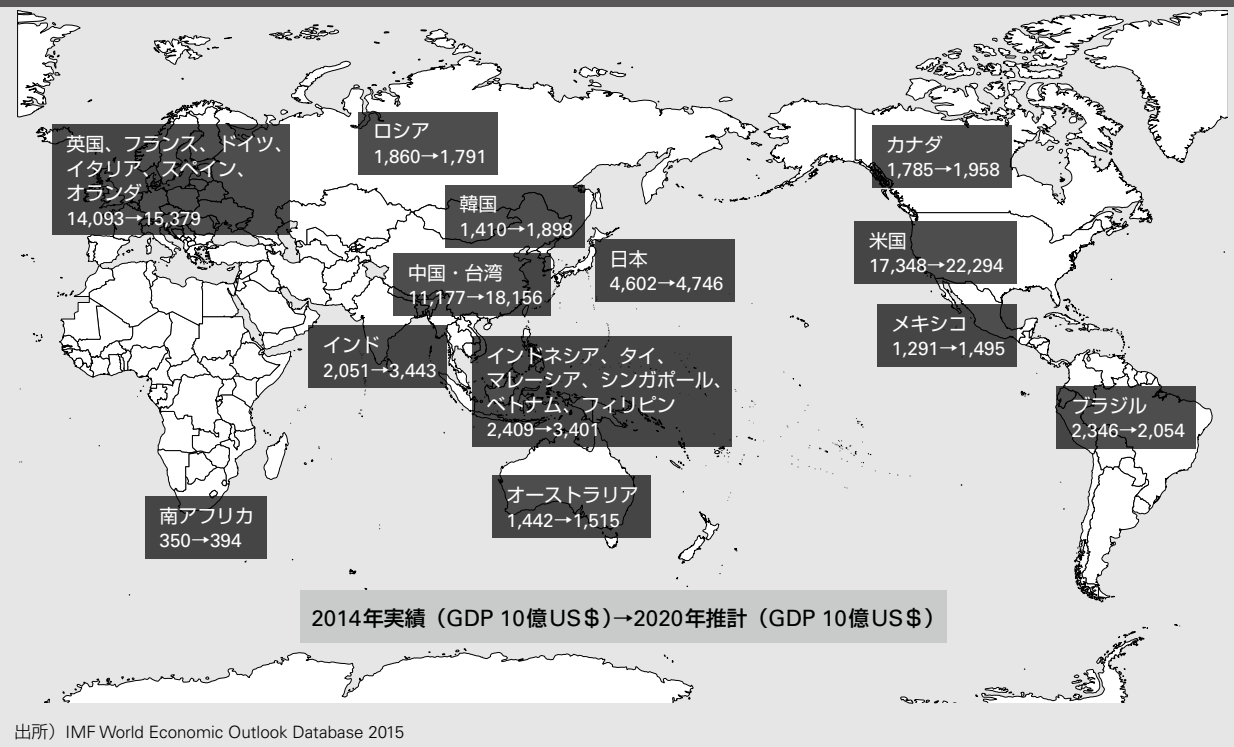
グローバル製造業において、成長力で競合相手に劣ることは買収や淘汰のリスク拡大を意味する。このため、国際市場で競争を続ける日本の製造業にとって、海外での成長は欠かせないものとなっており、しかも海外における成長速度を維持向上していかなざるを得な

## 2 サービス化

GE(ゼネラル・エレクトリック)の製造業のサービス化戦略、ドイツのインダストリー4.0により、製造業の競争パラダイムは大きく変わろうとしている。需要変化の速度が年々早まり、競合状況も厳しくなるにつれて、マーケティング方策、生産機能やサプライチェーンをダイナミックに組み替えながら、競争力を維持することが必須となってきている。

新興国における生産の急速な伸びに伴い、さまざまな製品が低コストで大量に生産されるようになり、急速にコモディティ化してきている。これはあらゆる「モノ」の付加価値の下落を招いており、「モノ」の生産だけでは付加価値成長を続けていくことが難しくなってきている。このように、グローバル製

図1 世界のGDP成長規模



造業が「モノ」の生産だけで成長を続けることが困難になってきていることから、自社の持つ製造技術や製品品質に加え、顧客の課題に対応するソリューション化、そして製品販売後のアフターサービスによる付加価値の内部化が製造業にとって極めて重要なものとなってきたのである。これがGEの提案する、インダストリーインターネットの背景となっている。

既に、グローバル製造業において製品のサービス化は大きく進みつつある。特に、製品化に適しているのは、運輸通信インフラ、エネルギーインフラ、建設機械、工場機器、医療機械など、その製品が故障などによって機能しないことで、莫大な損失が生じると考えられるものである。逆に、大量に生産され、一つ一つは小さく、簡単に買い替えが利くエレクトロニクス製品などは、あまりサービス化が進んでいないといわれている。

このように、グローバル製造業のビジネスモデルは、「作って売る」というパラダイムから「継続的サービスを売る」という方向に変わってきている。さらに自社や協力会社でモノを作る現場も、これを製造機能という「サービス」と捉えて、いかに効率的に使うかを競うビジネスモデルに変わりつつある。

### 3 IoT化

製造業においては、既に、生産ラインに多くのセンサーが搭載されていることが当たり前となっている。また、販売された製品にも多くのセンサーが搭載されている。これらのセンサー類は近年では通信機能を持ち、多くがインターネットにつながる時代となっている。

物流においても、多くの物流機器、車両、

そして荷物そのものにも、センサーやIDが搭載され、製造業の事業における、調達、生産、在庫、輸送、販売、アフターサービスに至るすべての「モノ」の流れや、動きに関する情報が、ネットワークを介して収集され始めている。IoTと呼ばれるこれらのネットワーク化されたセンサー群は、製造業のサービス化の実現においても、インダストリー4.0におけるサイバー・フィジカルシステムの実現においても、中心的な役割をなす重要な要素となっている。

たとえば、世界に散らばる100を超える工場を一元的に管理する場合にも、日々収集されるデータを取り扱う必要がある。電子機器や精密機械などの工場になると、その製造ラインの各工程には数多くのIoTが装備されている。たとえば一つの製造ラインに数百のセンサーがあり、工場当たり10の製造ラインがあるとすると、100の工場では数十万のセンサーが存在することになる。これらのセンサーが10ミリ秒ごとにデータを収集することになると、それだけで1日当たり数兆件のデータが収集されることとなる。

電子機械系の工場では、ラインの異常停止時に10ミリ秒単位で過去にさかのぼって復帰する必要があり、全ラインの統合監視運営をしようとする、この単位でのデータ収集、統合監視をしていかなければならない。(航空機に搭載した) GEのジェットエンジンが太平洋を越えて飛ぶと500GBのデータが発生するという話がよくいわれるが、100工場を超える電子機械製造業の場合、1時間ごとにそれ以上の量のデータが発生することになり、これを処理し必要によって制御し続けなければならなくなる。これがIoT化され

たグローバル製造業の姿である。

このように、IoTの浸透により、製造業のオペレーションは格段にデジタル化が進んでおり、まさにデジタルビジネスの世界に入ってきている。

#### 4 グローバル製造業の 経営課題の変化

製造業にとって、グローバル化、サービス化、IoT化は既に避けて通ることのできない現実となっている。製造業の経営者にとって、戦線が世界に広がり、生産・販売するだけでなく、継続的なサービスを提供するところまでカバーし、しかもその管理粒度が製品一つ一つ、プロセス一つ一つというように、極めて細かくなってきていることが大きな変化といえる。

このような環境にあって、製造業の競争パラダイムも大きく変化してきている。1990年代前半は、部品や製品の品質、機能、コストによる競争が中心で、これにプロモーション力や販売力が加わるという構造であった。この場合には、生産は生産、販売は販売といった機能ごとの競争力が強ければ競争に勝ち抜くことができた。

しかし、2000年のITバブル崩壊、2008年のリーマンショックを機に、調達から販売までのサプライチェーンをコントロールする能力が重要となることが再認識された。つまり、需要変動に際して、在庫を最小限にしつつマーケットに対してタイムリーに商品を届けることが最も重要な競争力となったのである。さらに近年では、単に個客に「モノ」としての製品を届けるだけでなく、ソリューションを提供するところまでビジネスの幅が

広がってきている。

これらの変化は、企業経営に大きなパラダイムの転換を迫っている。多くの企業においては、企業内で機能ごとに分業しながら、業績や会社への貢献といった組織評価によって組織間の競争を促し、機能ごとに自社の能力を高めることによって成長するという構図があった。このため、分権と競争が、企業競争力向上の面でも、さらには人材育成の面でも重要なパラダイムであった。この場合には、経営の意思決定は比較的長期を見通した目標を定め、この目標に対して組織の果たす役割を明示して、後は各組織に運営を委ねるという方式が成り立った。

これに対して、原材料の調達から生産、流通、アフターサービスまでを統合して、需要の変動に柔軟に対応することが競争力の源泉となると、組織をまたぐ、あるいは組織を超えた調整、組み替えを避けることができなくなる。この変化に、さらにIoTの浸透などに伴う、ビジネスのデジタル化の動きが加わることになった。多くの企業で、長期的なビジョンを描きながらも、短いサイクルで企業全体を見通した意思決定を多く求められるようになり、さらにその意思決定の精度を向上させていかなければならなくなってきているのである。

これにより、グローバル製造業は、事業全体の効率をさらに向上させるとともに、環境変化に対応して、企業全体の動きを最適化していくことが求められるようになった。そして、この統合力、特にオペレーションの統合力こそが、製造業における競争力のポイントとして重要性を格段に増しているのである。

製造業は多くの場合、組織機能の組み替え

に加えて、既存ITの機能向上や、新たなIT整備によってこれを実現しようと努力してきた。さらに、21世紀に入り、ITバブルの反省もあり、これらの動きは加速し、分権と競争の構造は残しながらも、全体最適を目指して統合力を高めるために、ITの整備が続けられることとなった。しかし、期待に反して、その実現は困難が極った状態にあった。

わが国最大の製造業であるトヨタ自動車であっても、リーマンショック時には、工場をラインオフした完成車が、いつどこで輸送され、どこで在庫され、どれだけディーラーの在庫になっているかを把握できていなかった。このため、北米のディーラーの在庫が既に溢れているにもかかわらず、完成車が生産され、輸送されていたといわれるように、全体最適を実現できてはいなかったのである。何が問題だったのであろうか。

## II ITを用いた統合化の課題

グローバル製造業が、統合された経営を目指しIT整備を進める際に活用しようとしたのが、エンタープライズ・リソース・プランニング（ERP）と呼ばれる企業統合システムであった。確かにバルク系の化学製造業ではERPによる統合に成功したケースもあるが、その他分野の多くの製造業においては、ERPシステムの限界がグローバル製造業のオペレーションの統合化を阻む要因の一つとなっていたように思える。

### 1 ERPの歴史

世界で最初のERPであるSAP R/1がメインフレームコンピューター上で開発されたの

は1972年であり、今から44年も前のことになる。当時のコンピューターは、ほとんどがメインフレームコンピューターと呼ばれる大型コンピューターであり、企業の情報システムは、財務会計、販売管理、生産管理、人事給与などのシステムをそれぞれ別々に開発し、各組織部門に閉じた形で使うというのが一般的であった。しかし、当然のことながら販売管理や生産管理で発生するデータは財務会計でも必要となり、これらのシステムは相互に連動して使われることになる。にもかかわらず、当時のシステムは各々のシステム間のデータ連携が非常に難しかった。

もともと当時の技術ではコンピューター同士を接続することが難しく、またシステム設計の仕方、作り方が、それぞれ全く別物となっていたため、連携して動かすということができなかったのである。ERPはこの課題を解決するために、最初から各部門のシステムを一つのコンピューターの上に載せて、「企業全体の情報を『統合マスター』と『統合データベース』で集約して活用する」ことにより、連携させて動かすように設計されたシステムパッケージであり、当時から統合化された企業活動を実現するための仕組みであったわけである。

これは実に画期的で、当時の分断されたシステムでは、営業システムに注文が入っても、在庫があるかどうか分からず、在庫システムや倉庫を見に行き行って回答するといったことが行われていた。これに対してERPでは、その場で在庫がどれだけあるかを瞬時に答えることができた。

1990年代に入り、ITのダウンサイジングが進み、コンピューターの流れがメインフレ



ームからクライアントサーバー型に移行すると、SAP以外にもオラクル、Baan、JD Edwardsなどのベンダーがクライアントサーバー型のERPパッケージに次々と参入し、ERPという言葉が一般化していった。

特に1990年代初頭には、欧米で数多くの製造業が大きな生産性の向上を目指して企業のビジネス構造を改革するBPR（Business Process Re-engineering）に取り組むこととなり、ERPはBPRを実現するための重要な道具として急速に普及していったのである。

この頃、ERPの価値を語る言葉として使われていたのが「リアルタイム」「ベストプラクティス」であった。業務部門間のシステムを統合し、販売や入荷、出荷などが発生したと同時にシステムに取り込み、他部門から確認できるというのがリアルタイムであり、それまでの方式に比べ業務効率を格段に向上させることとなった。ベストプラクティスとは、数多くの企業がERPを導入する過程で採用するさまざまな業務効率化策を集めておいて、その中で最も良い業務効率化策をERPパッケージの中に取り込むということである。これを使うことによって、個々の企業が最も効率の良い業務を行うことが可能になった。

## 2 ERPの課題

このように、ERPは企業の統合的な経営を実現する道具として開発され、多くの企業でなくてはならぬ存在として活用されている。しかし、グローバル化、サービス化、IoT化などによって企業がますます巨大化しながら、なおかつ統合的に動かなければいけない状況では、実際の経営を行う上で幾つかの課題が認識されるようになってきている。この

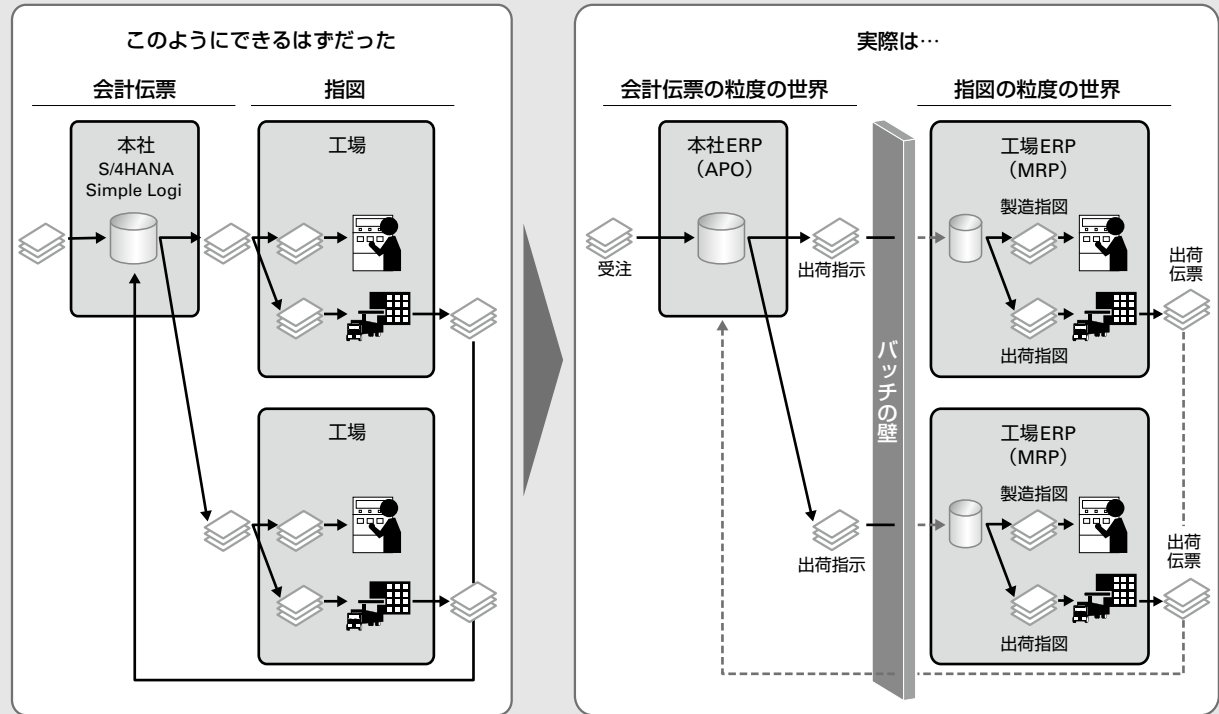
中でも、大きなものについて見ていくこととする。

### (1) 財務会計中心の仕組み

大規模なグローバル企業で採用されているオラクルやSAPなどのERPは、会計面からすべての企業活動を統合するという考えに立脚しており、会計システムがその根幹を成している。この会計システムに周辺のシステムを付加して企業活動全体をカバーするシステムを構築する、という考えに基づいて開発されており、企業経営において、結局はすべての活動が会計伝票に集約され、把握管理される形となっている。グローバルに活動する巨大な製造業であっても、すべてが会計項目上に集約されることによって、システムを用いた企業経営効率化ができる形になったと考えるわけである。

問題は取り扱うデータ粒度の問題である。本社のERP上ではほとんどのデータが会計伝票の形で集約して扱われているが、製造業であれば、現場はモノの動きで成り立っている。本来、ERPは現場のモノの動きと会計の動きを連携させて、企業経営を効率化するために開発されたのだが、実際に本社のERPで現場のモノの動きを直接取り扱おうとすると、システムの速度の問題で動かなくなってしまうのである。たとえば、本社で業務処理を行っているときに、同じシステム上で工場側がERP上のサブシステムとなっているMRP（Material Resource Planning）を回すと、その時点でシステムの負荷の上限を超え、本社の業務まで止まってしまうことになる。こういったことを起こさないように、本社と工場のERPは別にして、本社には工場の

図2 本社と現場のバッチの壁



出所) 各種資料より作成

影響が出ないようにしてシステムを作らざるを得なくなる。

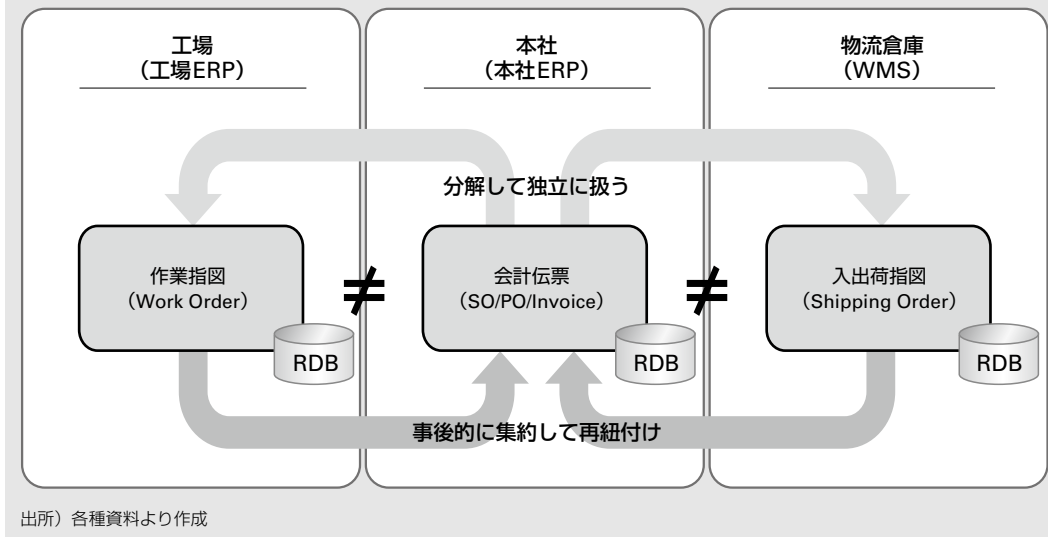
このようにするためには、工場側のすべてのデータを直接本社に送るのではなく、バッチ処理（一定の範囲で区切り、集約して処理）して、会計伝票として本社に送る（図2）。そうすることで、本社と工場は独立に動けることになる。ところが、今現在、工場で作っているものが何か、倉庫には在庫が何点あるのかといった細かい情報はこのときに集計されるので、個別には分からなくなってしまう。こうして、本社の会計伝票と工場のモノの動きは、乖離していくことになる（図3）。

こうなると、本社側のシステムで、工場の正確な在庫をつかもうとしてもできない、ということが起こる。これが、本社と1つの工

場との間だけで発生するのであれば問題は小さい。しかし、グローバル製造業で多く見られるように、本社に対して、複数の組立工場、部品工場、さらには協力工場がネットワークを形成してつながっている場合には、ことは簡単ではない。

たとえば、リーマンショック時の製造業におけるサプライチェーン崩壊の状況を思い返してみるとよい。最終組み立て工場の需要予測が、毎月毎月下方修正されていく中で、中間のモジュール製造工場や、サプライチェーンの上流に位置する部品製造工場、さらに原材料供給企業は、生産のリードタイムがあるため、すぐには生産を絞ることができず、大量の不良在庫を生み出してしまった。さらに悪いことに、この需要の下方修正

図3 会計伝票と指図の非同期により発生する現実世界との乖離



情報が月単位で遅れて伝達されるために、この混乱を拡大させることになったのである。

実は、このような状況は、企業の財務情報だけを見ても判断ができない。財務情報は金額情報に過ぎず、「モノ」の種類や個数は把握されていない。実際の「モノ」の流れ、需要の予想情報、サプライチェーンを構成する企業の生産状況や在庫情報を総合して判断しなければ、適切な企業経営を行うことが難しい時代に既に突入しているのである。

ここで問題は、財務指標が結果指標となっている点にある。もちろん企業経営は予算によって計画され統制されている。しかし、ある時点で企業の経営状況を把握しようとしても、財務数値が確定した状態での把握となるため、すべてが過去の情報となる。この時、結果の集計に別会社化した工場などが含まれると、月次決算後でなければ確定数値を入手できないこともある。「現状」といいながら、集計はさらに過去に遡り、先月末や先々月末の結果でしかないということが普通に起

こってしまう。このため、今現在何が行われているかを把握することが極めて難しいという実態が生じている。

## (2) 計画と実績の分離

企業経営を行う上で、適切な経営判断を行うためには、タイムリーに企業運営の現状を把握することが不可欠である。そのためには企業の現在の姿とともに、何らかの経営判断をした場合の、将来の状況が見える必要がある。もちろん、完全な将来予測などあろうはずはないが、どのように動くかといった推定すらできなくては、経営意思決定はできない。

巨大な企業の場合、経営の現状といっても、外部の企業との取引状況、子会社の実績などを取りまとめるとき、実は先月の実績、場合によっては先々月の実績しかないといった問題に突き当たる。これを確定ベースの実績で追いかけると、意思決定は、今ではなく2カ月前の状況に戻って考えなくてはいけなくなる。



こういった場合、ERPのように確定数値をベースにして動く仕組みでは、ERPから確定数値を抜き出した後、ほかのシステムで分析を行い、さまざまな補完処理をして推計データとして算出した上で経営判断を行っていくことになる。しかし、これを実現しようとすると、たえずすべてのデータがシステム内に登録されていたとしても、まずさまざまな部署や会社から上がってくる確定データを待ち、さらにこれを基に推計処理をして、幾つかの仮定を置いた上で推計データを経営に提示することになってしまう。

経営者に聞くと、予算と実績の乖離原因が常にタイムリーに把握できているかという点必ずしもそうではないことが分かる。原因はいくつかあるが、一つには前に述べたように、予算の裏づけとなる実績の情報が予算策定時から過去に遡っていることにある。また、予算の策定粒度が実態のオペレーションに比べ

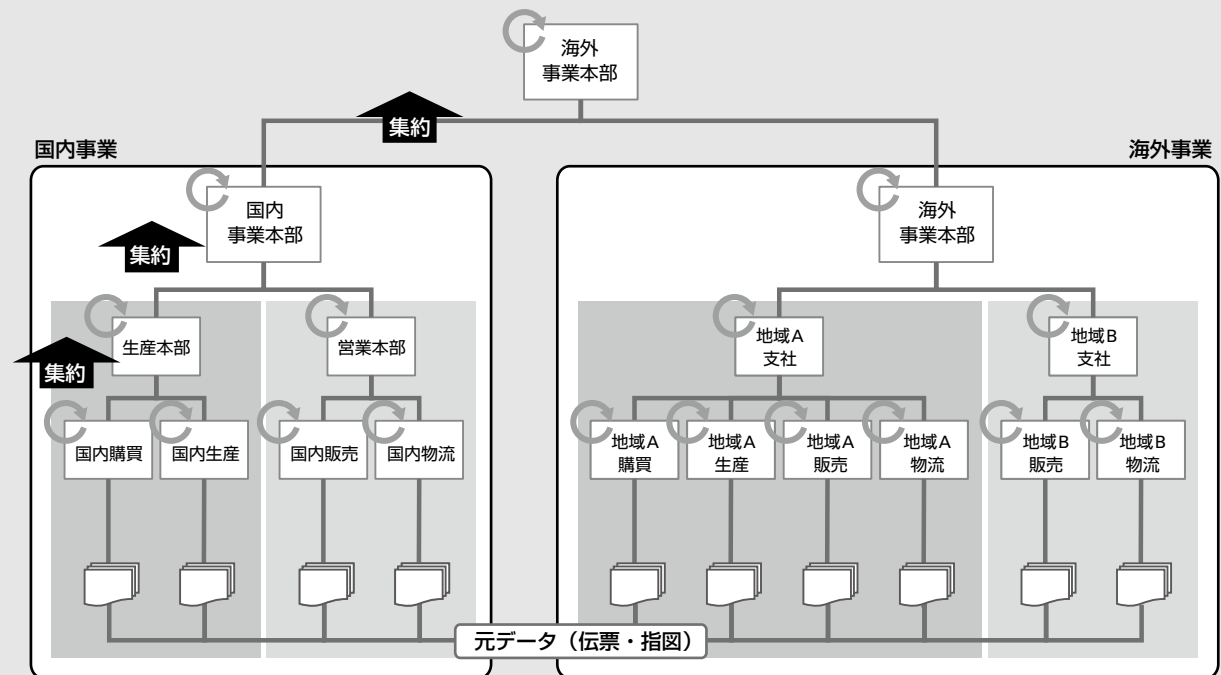
て粗いということもある。細かく予算を策定しても結局追跡しきれないという背景もあり、さらに生産する複数製品の販売数量の組み合わせによって生産原価が大幅に変化するため、仮置きするしかない、という現実もあり、結果として予算と実績の乖離を十分に説明できない状況が生まれることになる。

このように、財務指標を中心とした企業経営の中では、企業運営の実態と計画としての予算が実は乖離していて、その突き合わせに困難が伴うということがまま起こる。このようにして、経営から見る確定した実態と計画は常に乖離し、経営はバックミラー経営になっていくのである。

### (3) 階層組織に対応したデータ構造

企業経営は、組織を中心とした運営となっている。従来のERPは、この考え方に沿って組織ごとに業務を分割し、多段階の組織、た

図4 組織階層によるデータ集約



出所) 各種資料より作成

たとえば本部、部、課などに分かれている場合には組織ごとに集約し、これをさらに上位の組織で集約するという考え方で作られていた(図4)。しかし、これでは組織とは直接関係しない製品別収益や顧客別収益を見る場合や、市場環境に合わせて組織をダイナミックに変更した場合などの対応が難しかった。また、近年登場した、バーチャル組織による企業横断的活動などにも十分に対応することはできない。

多くの場合、ERPの外側に仕組みを作り、エクセルなどを使って配分計算をすることで対応している。しかし実は、これもシステム速度の問題に起因している。ERPを使っているときに大規模な全社横断の集計を行おうとすると、システムが止まってしまうのである。

多くの企業における業務活動は、基本的にはすべてのデータがシステムに投入されているケースがほとんどである。特に、生産や販売、物流に関するデータをシステムに依存していない企業は、ほとんどないといってよい状況にある。ERPという統合システムを使っているながら、組織を離れて自由にデータを取り扱うことは難しいのが現実である。

### III ERPの変革

#### 1 こなれてきたERP

ここまで触れてきたように、財務指標中心の経営も、計画と実績の分離も、階層組織による事業運営も、紙と鉛筆で巨大な事業を運営する必要性から生まれたものである。ITを持たなかった過去の企業経営者は、財務帳簿と予算管理と組織管理によって事業運営を

行ってきた。ERPは、こうした過去の経営パラダイムをベースに開発されたものだったといえる。

ERPが初めて開発されたのは、今から44年も遡る1972年のことである。この時代の経営はまさに財務指標中心で、機能別組織の分権構造であったかと思われる。実際、SAPもオラクルも基本となる会計規則に厳密に準拠して作られており、会計に紐付けて企業全体を運営する構造の、会計中心のシステムとっていいものとなっている。

実際、1970年代の初期はともかく、1990年代のERPブームのときも2000年のITバブル崩壊のときも、この構造自体は大きく変化していなかった。むしろ、企業の属する産業ごとに業務をカバーするアプリケーションを次々と投入し、企業側が大きな手を加えずにこれらのアプリケーションを使い、企業全体の経営をERP中心に行うことをより容易にするための多くの努力がなされてきた。

当初はERP導入企業の業務と必ずしもマッチせず、多くのトラブルを経験したが、近年では少なくとも中核的なシステムについては、多くの企業の経験を取り入れた、いわゆるこなれたものになってきており、海外のグローバル製造業のほとんどがERPを活用するといった状況になっている。しかも、企業のほとんどの業務領域をカバーするほど、その適用範囲も広がってきている。結果、グローバル企業の多くはERPによって事業経営を行うことが、むしろ当たり前といえるほどになっている。

#### 2 新たに見えてきた課題

しかし、適用される業務の範囲が増えるほ

ど、そしてデータの規模が大きくなるほど、ERPの本質である「企業全体の情報を『統合マスター』と『統合データベース』で集約して活用する」という考え方から遠ざかっていった面もある。

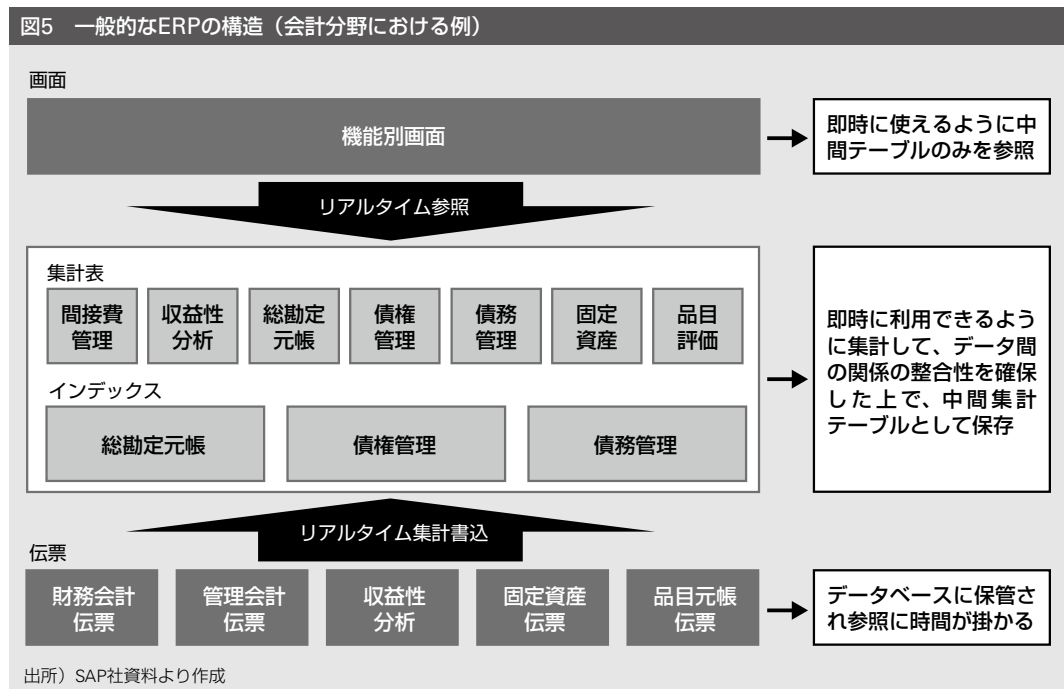
ERPをグローバル製造業で活用しようとすると、国ごとにシステムが分割され、事業所間の連携にバッチプロセスが介在するためデータベースが分断される。その中でも相互に最低限のデータ連携をしつつ利用されているといわれるが、実際には大きなタイムラグを伴って連携されている、という状態が多い。すなわち「企業全体の情報を集約して活用する」という姿からは遠ざかった形となっているのである。

これには、企業側における組織やルールの問題も、設立時期や買収経緯などにより業務やルールを統一できなかったという事情もある。しかし、根源的な問題としてシステムの速度不足が挙げられる。現在のようにITが進化し、瞬時に巨大な情報が飛び交う世界で

速度不足とは、ということなのだろう。

ERPは仕組み上、グローバル製造業の経営においてERPがカバーする業務領域で発生するすべてのデータを発生時点で収集する構造となっている。発生したデータはデータベースに保存されるが、誤ったデータを保存しないように、データが発生した時点でほかのデータと矛盾がないかチェックし、元データを保存するとともに、次にデータを使いやすくするために集約表に整理して保存する(図5)。

かつては取り扱うデータ量がそれほど多くなかったため、データベースの速度はほとんど気にならなかった。しかし、現在では大量のデータが発生するため、たとえばデータベース上にある元データを使って集計しようとすると、場合によっては何十分も掛かってしまう。このため、あらかじめ見ると分かっているデータを事前に集計しておく、といった構造を取らざるを得なくなってくる。ERPの中では典型的に使われる組織ごとの集計データなどは、このような形で集約表として保存



されており、集約表に保存されたデータは一瞬で呼び出すことができる、という仕掛けになっている。

一方、元データとして保存された、集約表に載っていないデータを探そうとすると、大量の元データから求めるデータを探すことになる。これはシステムに極めて大きな負荷を掛ける行動で、通常業務と同じシステム上で行くと業務が止まってしまう事態になりかねない。このため、元データはERPと切り離して別のシステム上にしまっておき、別のシステムとして動かすことが多い。これがデータ・ウェアハウスと呼ばれるものである。

つまり、ERP上ではあらかじめ、業務に用いることが分かっているデータしかシステムに載せられないということである。このため、会計伝票とその集約表は載せられるがタイムリーな在庫情報は載せられない、確定したデータは載せられるが計画データは載せられない、粗いデータは載せられるが詳細データは載せられない、組織ごとに集約したデー

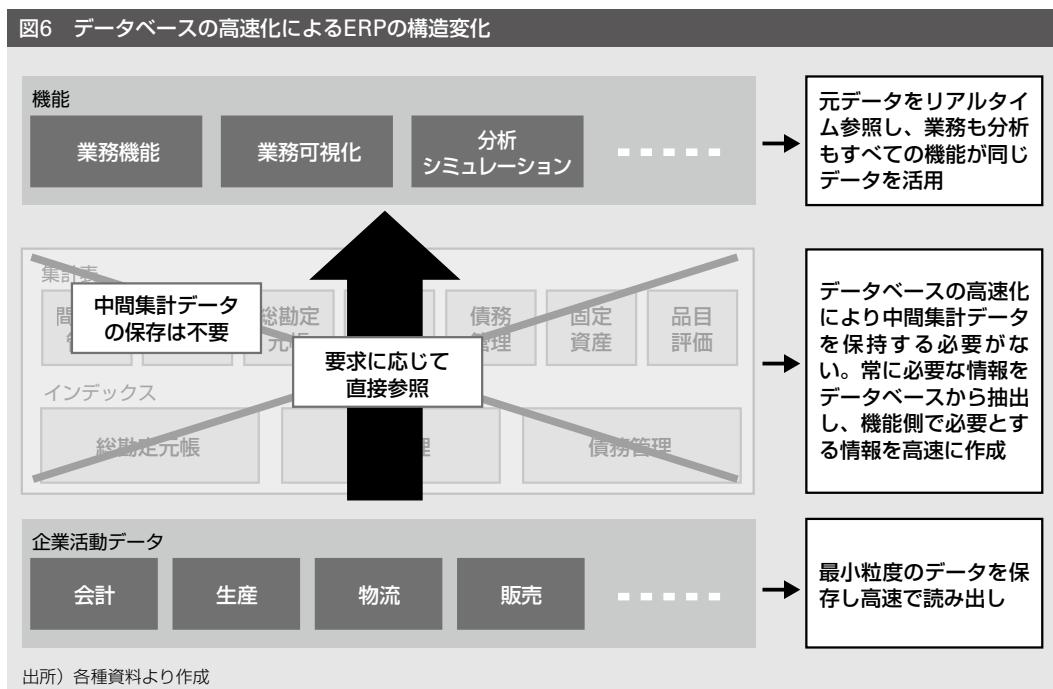
タは載せられるがその元データは載せられない、といったことが起こる。これが、①会計中心、②計画と実績の乖離、③階層構造組織など、グローバル製造業においてERPを活用する際の課題につながっていくのである。

### 3 構造的限界：データベースの速度問題

こういった状況を生み出しているのは、データベースの速度であることが明らかになってきている。業務処理を行う計算自体は、コンピューターを並列に並べれば速度を上げることができる。しかし、データを一元化して管理しているデータベースではそれが難しい。特に、データの整合性を確保しながら読み出したり、書き込んだりする部分を並列で走らせるには、大きな困難が伴うのである。

1つのデータに対して複数のプロセスが同時に別のデータに書き換えるのは困難が伴う、ということはご理解いただけるものと思う。

このように、システムの速度向上において



は、データベースの速度がクリティカルポイントになってしまうわけである。データベースの高速化ができれば、すべてのデータを事前に集計しておく必要はなく、常にその場で集計して使うことができる。このようにすれば、決められた使い方はばかりではなく、計画と実績の乖離分析や詳細な業務状況の把握において、組織階層に縛られることなく自由に元データにアクセス・活用できるようになる(図6)。

現在、すべてのERPはデータベース上で動いている。ERPの限界はERP自体にあるのではなく、実はデータベース側にあることが明らかになってきた。これまでのERPの使い方によしとする場合にはこの限りではないが、グローバル製造業が求める、エンタープライズワイドでの統合された経営を実現しようとするならば、この問題を解決して、新たな世界に入っていく必要がある。

#### 4 データベースの速度向上のための技術革新

このように、ERPを巨大になったグローバル製造業の統合的経営に適用する際に、データベースの高速化が大きな課題となっているとの認識が定着し始めたのはそれほど古いことではない。21世紀に入って、巨大なクラウドサービスが登場するとともに、認識がひろまり、IoT化によって極めて大量のデータを扱うことがさまざまな局面で急増する中で、こういった認識も醸成されてきたのであろう。このような認識に基づいて、データベースの高速化に関しては幾つかの技術革新が進みつつある。

#### (1) 半導体メモリー活用による速度向上 (インメモリー化)

まず、第一がデータベースのインメモリー化である。インメモリー化とは、これまでデータベースのデータを保存するにあたって、基本的にハードディスクを用いてきたのに対し、半導体メモリー上に保存するという方式である。よく知られるように、ハードディスクは高速ではあるが、構造的な問題でこれ以上速度を向上させることが難しい所まで成熟化している。そこで、ハードディスクよりも何桁もスピードの速い半導体メモリーを使ってデータベースを動かそうというのである。実際、データベースの速度はインメモリー化により数百倍～数千倍に高速化できる、SAP、オラクル、マイクロソフトは既にデータベースのインメモリー化を進めている。企業全体のデータを格納したデータベースの規模は、場合によっては、数テラバイトから数十テラバイトにもなるが、現在の技術で数十センチメートル角のボード1枚に1テラバイト以上のメモリーを乗せることが可能となっており、家庭の冷蔵庫程度の大きさのハードウェアでデータベース全体をインメモリー化することが可能となっている。ただし、半導体メモリーはハードディスクよりは高価なので、非常にデータ圧縮率の高い記録方式を使って、必要なメモリーを最小限にして用いるなり、直ぐには使わないデータはハードディスクに格納するなど、効率的にハードウェアを使う工夫が必要となる。

#### (2) 集計・検索性の高いデータベース構造の活用(カラム型データベース化)

もう一つの革新はデータベース構造の革新



である。これまでのデータベースの構造は、リレーショナルデータベースと呼ばれるものがほとんどであった。これはたとえば金融機関の入出金処理のように、お客様のデータを高速に、間違いなく確実に処理するというような目的には非常に性能の良い構造を持っていた。しかし、たとえば数千万件とか数億件のデータを集計したり、求めるデータを捜し出ししたりする処理では、実は最適な構造とはいえない。そこで、確実な処理の速度はリレーショナルデータベースに劣るが、集計や検索には抜群に性能が出るというデータベース構造が開発されている。これが、カラム型データベースであり、現時点で世界的にシェアを持っている製品はSAPが提供しているHANAというデータベースである。SAPはこのHANAを用いてデータベースの速度を1千～数千倍に向上させて、これまでのERPの限界を克服しようとしている。

### **(3)データベースにとどまらずアプリケーション、ハードウェアの全体設計思想の革新—最も細かい粒度でデータを持ち、必要に応じて即時にデータを集約して活用**

さらに大きな革新は、データベースそのものを常に複数のコピーをもって、並列化してしまうというデータベース構造の革新である。前述の通り、1つのデータを複数のプロセスが同時に書き換えることはできない、というのがデータベースの高速化を阻む一つの限界であった。そこで、データベースを並列化してしまうという考えである。

データを一方的に書き込むだけで、更新をしなければ、これが可能となる。複数のデータベースを並べておいて、常に書き込むとき

にはすべてのデータベースに同時に書き込み、読み出すときには勝手に必要なデータベースから読み出すことにすれば、更新というやっかいな処理が生じない。書き換えないのだから、複数のプロセスが同時に動いても構わないということになる。

これまでのシステムで通常行われてきた、「データベースの中に書き込まれているデータを書き換える」ということは一見分かりやすい処理のように思える。たとえば自分の銀行口座の残高はお金を引き出してしまえば、引き出した分だけ減った額に書き直されるのが当然である。この時には、①元の残高を呼び出し、②新たな残高を計算し、③元の残高を消して、④新たな残高を書き込むという処理を行う。実は、この消すという処理が厄介なのである。いったん消したら、もう元には戻せない。そこで、データを消す場合には、何か処理にトラブルがあった場合に備えて、データベースの外に途中の処理状況をすべて保存するという方法が取られることになる。このため、更新処理というのは実に手間が掛かるものとなる。

これに対してデータの更新をしないということは、①元の残高を呼び出し、②新たな残高を計算し、③新たな残高を書き込む、という使い方をする。データを消さないで追記するだけである。すべてのデータには書き込まれたタイムスタンプがついており、これで判別するわけである。これは劇的な効果がある。トラブルに備えたやっかいな手間を省くことによってシステム全体の構造を非常にシンプルなものとするのできるのである。ただし、データの更新をしないということは、データベースのデータ量が増えてしまう

という課題を発生させる。

そのために、データベースの構造としては、最も細かい粒度のデータまで分解して（「第7正規化」レベルという）持つようにして、必要に応じて瞬時に集約して使うようにすることで、データの処理速度が遅くなってしまふという問題を乗り越える必要がある。ここでいう残高の例でいえば、残高情報を持つのではなく、最小の取引単位をさらに分解したデータを持っておき、その都度、残高を瞬時に計算して表示する方法となる。

これを実現するためには、アプリケーション側の構造として、データベースへの読み出しや、書き込みを制御し、さらにもう使われなくなったデータを放棄するための仕組みとしてのアプリケーション構造そのものを変える必要がある。

さらに、これらの取り組みを実現するためには、最小粒度のデータを、必要に応じて即時に集約する必要があるため、ハードウェア、とりわけ、人間でいえば脳にあたるCPUの処理速度の向上が前提になる。

実は、これまではハードウェアのCPUの処理速度の制約が大きかったために、最小粒度でデータを持つことはできても、必要に応じて即時にデータを集約して活用するという方法を実現することは難しかった。特にデータ量が大量になればなるほど、瞬時に集約するということが難しかったのである。

しかしながら、さらにハードウェア、CPUも大きく変わろうとしている。これまでに多く使われている、PCやサーバー向けに開発されて、すべての処理を行える汎用型CPU設計の考え方から、CPUの構造そのものを大きく変更して、特定の機能の高速化を

目指した技術開発が進められている。

たとえば計算速度を上げるという意味では、1000を超える、コアと呼ばれる計算処理モジュールを1つのCPUに搭載して極限まで計算速度を上げる技術開発も行われており。多くの高速演算に使われている。さらにハードウェア（論理演算回路）をソフトウェアで書き換えられるようにした技術を開発し、計算用途に応じてソフトウェア側ではなくハードウェア側で高速に演算を実現できるようにして全体として超高速演算を可能にする技術開発も進められている。

さらにデータベース処理速度の向上を念頭において、並列化したプロセッサのキャッシュメモリーを巨大化して、一度に大量のデータをデータベースから読み出すことによる高速化を目指した超高速デバイスが開発されている。数千のプロセッサと数テラのメモリーの組み合わせにより、既存のプロセッサの1000倍以上の能力を発揮することが可能となり得るといわれている。

ハードウェアの革新はまだ開発段階にある技術も多いが、データベースソフトウェア側の革新で、その処理速度は既に1000倍から数千倍に向上している。さらにハードウェアの革新によって1000倍の高速化が実現されるとすると、トータルでは100万倍という、これまでとは全く違った世界が開ける可能性が出ているのである。

このようなデータベースの処理速度向上のために、データベースおよびアプリケーション、ハードウェア全体の設計思想の革新を実現している事例の一つに、野村総合研究所（NRI）が開発したBOS（Business Oriented Solution）がある。BOSは既に実運用されて

おり、データベースを並列化することによって、構造的にはどのように大規模なシステムにでも適用できるスケラビリティをもち、リアルタイム性とノンストップ性を併せ持つものとなっている。さらにBOSでは、データベース技術革新の副産物として、複数の異なるデータベースを持つことを許容する設計思想に基づいて開発されており、既存データベース資産の有効活用が可能となっている。多くの企業は、海外展開を加速するにしたがって、継ぎ足し、継ぎ足しでシステムを増築してきたために、開発した地域、時代によってさまざま異なるDBMS（データベースマネジメントシステム）を使っていることが多い。このため世界各国に分散するデータベースを一元的に可視化するには大きな困難が伴うのであるが、BOSは、既存のデータベース資産の有効活用をしながら、グローバルにおける全体最適なシステム構築の可能性も有しているのである。

## IV デジタルエンタープライズの世界

グローバル製造業を取り巻く経営環境が、激しい需要変動、生産品目の多様化、商品寿命の短期化、拡大し複雑化する生産ネットワーク、競合との激しい成長競争などにさらされていくことは誰の目にも明らかであろう。この環境を乗り切ってパフォーマンスを上げていくためには、従来型の財務会計中心と予算管理と組織管理による経営ではもはや難しい、というより「既に難しい状態になって久しい」といえよう。

世界はデジタル化し、ビジネスのデジタル

化も止まらない。グローバル製造業の中でも特にマーケティングの領域で非常に洗練された力を持つP&Gの元CEOである、ボブ・マクドナルド氏は、P&Gを「世界で最も技術に優れた企業」であると同時に「企業の隅から隅までデジタル化された企業」にしたいと抱負を述べた。グローバル製造業の活動をデジタル化し、現在何が起きているのかを把握し、どのような手段を講ずればよいのかを、あたかも将来をシミュレーションするような形で意思決定をする、といった世界が見えてきているのである。

ERPはその言葉にプランニングが含まれることが意味するように。本来、企業（エンタープライズ）内に保有する資源（リソース）を、どのように活用すれば効率的に経営ができるか計画（プランニング）することを目指した仕組みであった。しかし、グローバル製造業においては、本来目指したものが現在のところまだ実現できていない。その原因を追っていくと、実はシステムそのものに制約があったことが明らかになってきた。ERPだけではなく、どのようなシステムを作ろうとも「企業の隅から隅までデジタル化」していくためには、同じ制約が行く手を阻んできたともいえる。

現在、技術開発によってこの制約が外されてきている。今後はこの制約を越えて新たな企業システムの構築が進められていくものと思われる。

### 1 「現実世界」と「デジタル世界」の双子化（デジタルツイン）

インダストリー4.0が語られるとき、よくデジタルツインという言葉が語られる。製品

や、生産設備、工場、物流などの現実に「モノ」が動いている世界と、これらの「モノ」に付けられたIoTからの情報や、生産設備や製品そのものを設計したCADのデータなどのデジタルデータの世界が、まるで双子（ツイン）のようになるというのである（図7）。そして、現実に「モノ」が動く前に、デジタルの世界でそれがどのようになるのか再現できるというのである。

たとえば、自転車のCADデータがあり、これを元に製造された自転車に乗って旅行すると、自転车上のIoTが情報を送り、どのくらい走ったらどの部品が壊れるのか教えてくれるというようなことが現実になるのである。

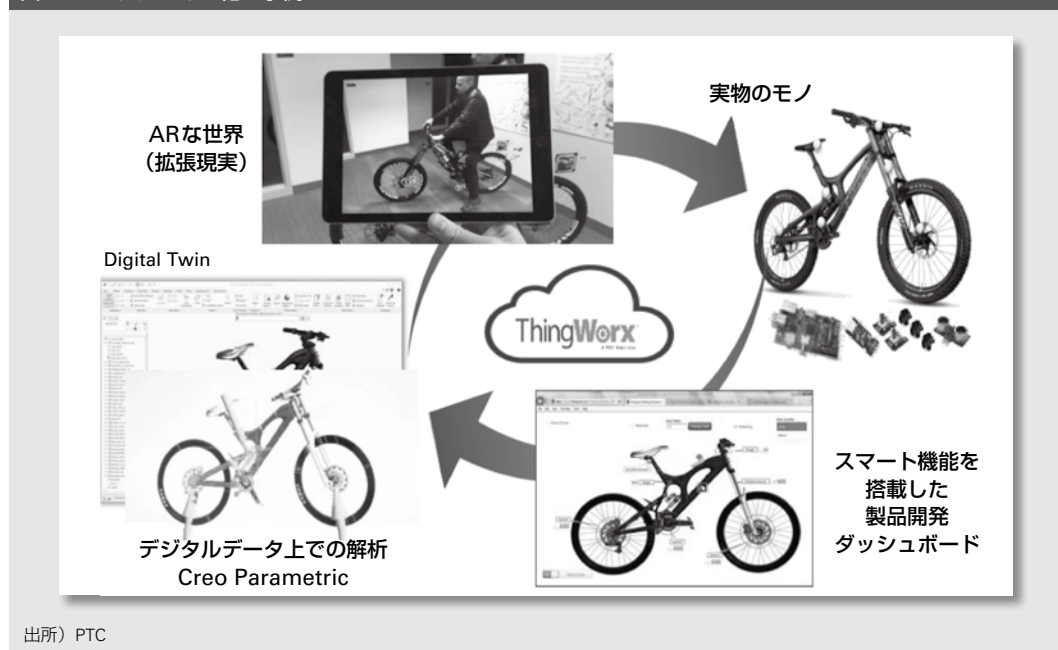
有名な例ではあるが、IoTを埋め込んだ、盗難防止用の自転車ペダル（コネクテッドペダル）も売り出されている。さらにインダストリー4.0では、これを工場ネットワーク全体に拡大して同様のことを実現することを狙っており、インダストリーインターネットで

も、GEジェットエンジンの事例のように、製品を販売するのではなく、製品の機能をサービスとして販売するとともに、遠隔で保守や運用最適化、性能改善などを進めるといったことが可能となっている。

また、オーディオのように、完全にオーダーメイドされた新車を購入するにあたって、「デジタル世界」ですべての設計情報、生産・在庫情報、リードタイムなどの情報をコーディネートして、発注するといったことも可能となる。製品のデジタルツイン化はグローバル製造業が個別の顧客の要望に応じて製品をカスタマイズし、さらには顧客がその製品を使う現場にまで入り込んでサービスを行うという、製造業のサービス化において必須のものとなっていくに違いない。

さらにいえば、企業そのものをデジタルツイン化していくことによって、P&Gが目指した「企業の隅から隅までデジタル化」することも可能になり、現実の企業本体の業務だけではなく、取引先、製品、従業員やお客ま

図7 デジタルツイン化の事例





ですべてデジタル化される世界が実現されていくことになろう。このような形で、企業もしくは企業活動のデジタルツイン化が実現できれば、今度はこれを活用して、企業が環境変化に対応して事業戦略をどのように変化させていけばよいのか、何らかの施策を打ったときにどのような結果が得られるのか、といったシミュレーションによって、より良い戦略や手段、よりリスクの低い戦略や手段を選択できるようになることすら考えられる。

## 2 デジタルエンタープライズのイメージ

実際に、グローバル製造業における、工場投資や物流投資などのさまざまな経営意思決定ではシミュレーションが用いられている。ただ、これまでは、その意思決定をするために、事前に準備しモデルを構築し、財務データだけではなく工場の能力や製品も物量などのデータをそろえて、シミュレーションするというやり方になっていて、事前の準備や意思決定に相当の時間を要するものとなっている。これまで述べてきたように、ERPに内在してきた限界が、タイムリーに経営意思決定を行うための十分な情報やシミュレーションの提供を困難なものとしているのである。

この限界を超えるために技術革新が進み、データベースの高速化がなされたことによって、今後のERPは大きく変わることになる。データ粒度は、財務会計中心から、「モノ」の動きを詳細に捉えられるレベルになり、事業の運営状況を把握する分解能も大きく向上する。これには生産設備や物流、製品に搭載されたIoTから得られる大量のデータも大きく寄与することになるであろう。

データベースの速度制約の解消が実現すれば、あらかじめ作成された中間集計データに頼ることなく、企業の活動を示す粒度の細かいデータを、速度の制約なく、いつでも自由に取り出せ、企業活動を細部まで可視化できることになる。さらに、実績を司る業務を実際に動かしているシステムやデータを、直接、分析や計画に用いることにより、データ・ウェアハウスから過去のデータを取り出すのではなく、今現在の業務を行っている実績データをもとに今後の計画をたて、打ち手によって変わる将来の状況をシミュレーションする、といったことが可能となるのである。

また現場で起こっている事象を直接実績データで捉え対処することも可能となる。たとえば、既に現実に実行され始めているのが不正監視である。グローバル製造業では、日々何万件も発生している購買や販売業務で、すべての倉庫の入出庫データと発注、請求、支払い、入金などのすべてのイベントに関するデータについて、発生した時点ですべてを捉え、不正の動きがないかを監視している。実際、不正のタイプによって各々のイベントの組み合わせに特徴的なパターンが見られることが知られており、監視しているデータからリアルタイムに不正検知を行えるのである。

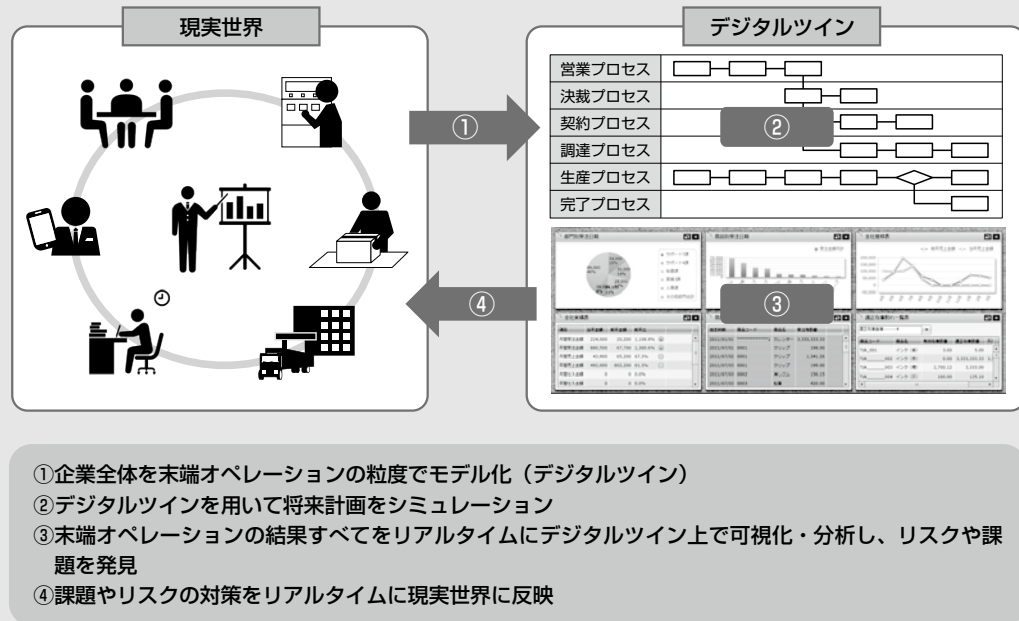
## 3 デジタルエンタープライズへの道

このようにデジタルエンタープライズとは、現実世界の企業をデジタル化して、末端のオペレーションの粒度でモデル化をし、このデータとモデルに基づいて将来計画をシミュレーションし、実際に発生した結果をデジタルツイン上で分析し、課題を現実世界にフィードバックして対策を講ずる、といったこ



図8 デジタルエンタープライズのイメージ

モノ・カネの流れ、および、ヒトの動きすべてをリアルタイムに記録・可視化し、企業活動のありとあらゆるレイヤーで計画・実行・分析・改善に活用している企業



出所) 各種資料より作成

とを可能にする企業のイメージである(図8)。

これらの要素は既にさまざまな局面で活用され始めている。しかし、これらをグローバル製造業における企業全体で統合し、運用するという一朝一夕でできることではない。システム面から見ても、ERPの活用という意味では、その制約条件の一つは外れてきている。しかし、インダストリー4.0でも語られるように、今すぐにすべての業務をデジタルツインにしていくことはできない、またそうする必要もない。しかし、企業競争力の観点から見た場合、企業全体が見えていて、現在・将来がより明確に見えている企業と、これを怠った企業ではどちらに競争力があるかは自明であろう。

本稿は主に、グローバル製造業の経営課題

とITとの関係を語ったが、デジタルエンタープライズへの道はITのみで実現できるわけではない。前に示した通り、IoT化、デジタルビジネス化の大きな流れのなかで、これまでの企業経営手法そのものが変化を始めているといってもよいであろう。

そもそも、デジタルエンタープライズ化していく局面では、業務プロセスや組織、業務ルールの標準化を進めていかなければ、いかにデータが収集されてもそれが何を意味するか可視化できないし、モデル化やシミュレーションなどもできない。当然のことながら、デジタル化されただけでは価値は生まれない。経営の意思決定に貢献するために、デジタル化された情報に対して、これが何を意味

し、どのように手を打てばよいのか、人間が介在して経営の意思決定に活用できる経営インテリジェンスを高めていく必要がある。さらに、ボブ・マクドナルド氏（P&G前CEO）が就任当初に標榜したデジタル化においても、その後、10年間をかけて、経営の意思決定現場で自在に活用できるように、千名単位での分析のスペシャリストを育成し、分析専門チームを組成し、そのトップアナリストが経営会議において重要な役割を果たすまでに至っている。今後の日本企業の経営企画機能をみたときに、日本的な社内の調整機能ばかりではなくデジタル化された情報に基づく分析・提言機能といった経営インテリジェンスの強化も図っていく必要があるのではないだろうか。

ERPの革新により、財務データに力点が置かれるばかりではなく、より細かい非財務データにも目を配ることは、今活用している組織KPIを大きく見直すことであり、これまで見えなかった情報を見えるようにすることによって、組織に力を与えることでもある。さらに、組織構造の考え方も、組織の評価指標自体も変わっていくことになる。

このように企業がデジタルエンタープライズに向かうためには、革新が進むITの技術を取り入れながらも、これがもたらす価値を活かすことができる経営手法を作り上げていくことが必要なのである。この2つを同時に進めなければ、結局は企業競争力の向上には

繋がらない。何よりも、ここまで述べたようなIT革新は、グローバル製造業の現場にも大きな価値をもたらすが、最大の価値を手にするのは経営であることを認識すべきだろう。以前から「システムの活用目的が欧米とわが国では本質的に異なる」といわれてきた。すなわち欧米の経営者はシステム導入を、「経営者自らの経営のために」というのに対して、わが国の経営者は「現場の効率を向上させるために」というように活用目的そのものが異なるという議論である。しかし、大きく変化する経営環境の中でグローバル製造業がさらなる成長を求め、競合企業との熾烈な争いに勝ち抜いていかなければならないことを考えると、もはや現場の効率向上のためのシステムでは十分ではない。むしろ経営のためのIT、経営のためのデジタルエンタープライズ化があって、その上での現場の効率向上が求められるのではないだろうか。

#### 著者

辻直志（つじただし）

産業ITイノベーション事業本部主席コンサルタント  
専門は企業経営戦略、サプライチェーンマネジメント、企業情報システム

根岸正州（ねぎしまさくに）

産業ビジネスデザイン部上級コンサルタント  
専門は経営戦略、経営インテリジェンス、グローバルマネジメント、企業情報システム