

基調論文 | 部品と工場の進化を支えるモノづくり革新技術*

“MONOZUKURI” Innovation Technologies Supporting Parts and Factory Evolution

黒田 吉孝
Yoshitaka KURODA

In this paper, we mention that the goal and the way of thinking of “MONOZUKURI (manufacturing)” of the automobile parts on the Denso way, under volatile business environment such as rapid spread of globalization or fluctuation of exchange and labor cost. We think that important things to maintain “MONOZUKURI” competitiveness are the development of process technologies and human resources, therefore we kept developing them. First, the development of advanced and vanguard technologies which revolute DENSO products is described. Second, the way of thinking and the development of “1/N technologies” which help to realize synchronized manufacturing lines that are largely reduced wastes from the lines. Finally, the development of human resources which can realize the technologies for renovated factories is mentioned.

Key words : Part processing technologies, 1/N technologies, Products innovation technologies, Factory innovation technologies

1. 諸言

経済のグローバル化進展に伴い、為替変動や低労務費を味方にした新興国における製造技術の追い上げを背景に、日本のモノづくり力は相対的に低下している。自動車産業は、世界の自動車販売予測において、2005年の6700万台から2020年には1億台に達すると予測され、グローバル全体で見ると今後も年率約4%で成長する産業である。そのマーケットは世界に分散、拡大し、主に新興国を中心に今後も成長していくと考えられる。よって、グローバル各地域で分散生産し、地産地消していくことが求められる。一方、日本でのモノづくりの環境は、近年、為替・株価変動、労務費高騰の影響を大きく受けており、日本で勝ち残るためには、これらに影響されない強いモノづくりを確立していく必要がある。すなわち、グローバルで地産地消、日本でも勝ち残るといふ二律背反する事象を成立させていくことが必要であり、当社では自動車部品（製品）の競争力強化につながる差別化加工技術の開発にこだわってきた。①製品を変革する技術開発、②工場を変革する技術開発の両方にこだわり、同時並行で開発し続けることにより競争力を向上してきた。

「モノづくり」で重要なのは「技術」と「人（技術者・技能者）」であり、技術と技能でたゆまぬ改善・経験を積んできた日本は、為替、労務費の変動に左右されない世界初のダントツ技術開発の役割を担う。課題はダントツ技術を日本で生み続け、グローバル競争力を維持することである。

このような当社の置かれた環境を認識した上で、本論文では急変する事業環境に対応したデンソー流の部品加工のモノづくりの目指すべき姿、考え方について、グローバル競争力強化の取り組みの中でどのように実践してきたかを述べる。

2. 製品を変革する先行・先端技術の開発

2.1 製品変革の考え方

これまででは、製品設計からのニーズに応えるために、我々生産技術者は、製品を変革するキー部品を成立させるべく、数多くのアイデアから産み出した先端加工技術を開発してきた。例えばディーゼル・ガソリンINJの微細噴孔や熱交換器の薄肉フィン・チューブなどに対応する加工技術である。

しかし、この分野で競合他社との競争を勝ち抜いた

めには、10年先を見据え、製品性能を飛躍的に高め、製品競争力で他社を凌駕する必要があると考えた。

従来は製品設計者と生産技術者が作りやすさを加味しながら生産方法を決めるコンカレントエンジニアリング活動が当社の特長であった。しかしこれからは、生産技術者が製品要求機能やそのレベルから、あるべき部品形状を予測し、従来の延長線上にない先行技術開発に取り組むこととした。

2.2 先行技術開発の取り組み

Fig. 1にデンソーの製品開発とそれに対応した加工技術開発の取り組みを示す。近年の環境に対する意識の高まり、規制の強化等により、自動車を取り巻く環境は大きく変化し、特に省燃費製品はこれまでの延長線上にない高度なレベルの機能が要求される。機能要求に伴い、構成部品は従来の高硬化化、微細化、高精度化に加え、複雑形状化が予測される。これら変化を先取りし、高難度加工かつ形状をフレキシブルに対応できる加工技術の開発に着手することとした。

この加工技術には、複雑な形状の中に存在する複数の形状要素毎に分解し、複数の工法で担う「複合加工」と、これまで困難であった加工を、他の工法の持つエネルギーをアシストすることで実現する「重畳加工」がある。以下に事例を示す。

まず複合加工の事例を示す。ガソリン直噴における燃料噴射INJでは、燃料の最終流路である噴孔で燃料流量、噴霧粒径、噴霧形状などの機能を飛躍的に高めなければならない。そのため噴孔は微細、高精度だけでなく、テーパ、段付き等複雑な形状が同時に必要となってくる。しかし、これまでの工法単体の限界追求だけでは、工法の原理面での短所が阻害要因となり、加工の実現は困難である。そこで、形状要素を機能毎

に分割し、機能発現に適したプレス、切削、研削、放電、レーザ等の工法を組み合わせ、各工法の長所を活かすことで難加工を実現することを考えた。例えばFig. 2に示す異形状の噴孔は、レーザと放電を組み合わせることで、精度と能率の両立を実現させている。

次に重畳加工の事例を示す。コモンレールなど高圧燃料部品では、高圧に耐えるため材料は高硬化化、また燃料を必要箇所だけに流すため流路孔は深孔化が進んでいる。しかし、プレスや切削などの機械加工では加工抵抗の増加による工具折損が発生し加工することができない。そのため、材料の熱特性を活用し、加工部分のみ加熱することで材料を軟化し加工することを考えた。

例えばレーザなどの局所加熱工法を用い、加工する箇所のみを加熱し軟化させる。

その状態でプレス、切削などの機械加工を用い、軟化した箇所を除去する。

このように加工で用いるエネルギーを重畳することで難加工を実現する工法開発にも取り組んでいる。

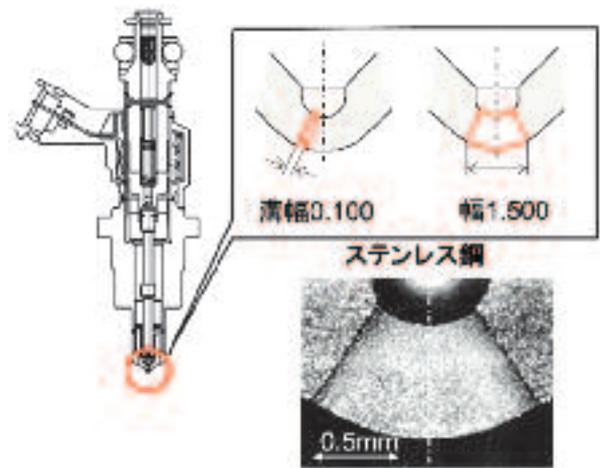


Fig. 2 Variant hole of gasoline direct injector

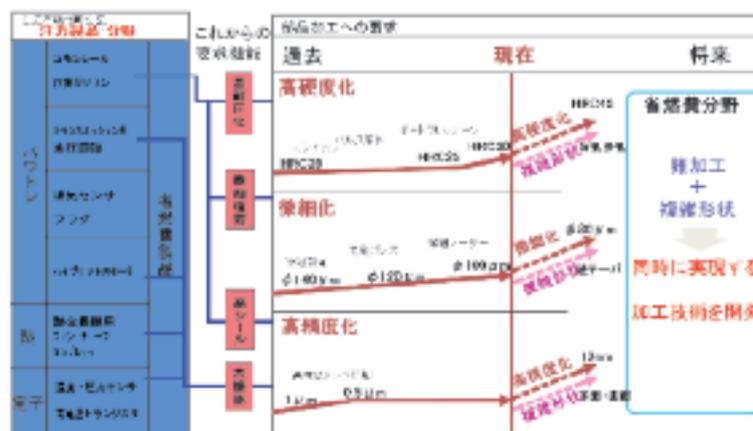


Fig. 1 Product and process technology roadmap

3. 工場を変革する部品のデンソー流モノづくり

3.1 工場変革の考え方

自動車部品（製品）の組付け工程は、昔からトヨタ生産方式（Toyota Production System, 略してTPS）で必要な時に必要な数量だけ効率的に生産している。一方、製品に組付けられる部品は、マシン効率を優先し大ロットを高速加工する大量生産により競争力を維持してきた。しかし、製品が多様化して一種類当たりの生産数量が減り、機能や形状（精度）が高度化したことから単独の加工分野で部品が完成することは稀となり、素形材加工の後に切削、熱処理など多くの加工分野を経て部品が完成するようになった。この環境変化に伴い、複数にまたがる工程において、労務費に償却費を加えた加工費低減を推進するため、あらゆるムダを取り除いた同期一貫ラインが必要と考え、以下の2点を競争力向上のポイントとした。①各加工機の能力差により工程間で発生する中間在庫、人工のムダ排除、②各加工分野別の最適化ではなく、工程全体を一連を通して見た最適化である。①については、人の関わりを1/5~1/10に下げ、労働価値を高めることが競

争力強化のポイントであり、TPSの考え方に基づいて材料・副資材のムダ、大きさのムダ、搬送・動作のムダ、在庫のムダを取り除く、新たな工法／設備が必要になる。我々は、その実現に向けてCS³というコンセプトを掲げ加工機の進化を推進している（CS³とはCompact（小型）、Simple（簡単）、Slim（ムダ取り）、Speed（適速）、の頭文字を取りシーエスキュービックと呼んでいる）。②については、各加工分野の得意、不得意分野を補完しあいながら工程全体で最適工程設計することが必要となる。この同期一貫の考え方をFig. 3に示す。また、工程間の在庫、搬送、検査等は、部品に付加価値を与えないが、費用は発生するためムダが上積みされることを表した付加価値と費用の関係のグラフをFig. 4に示す。

これまで同期一貫が実現できなかった要因には、従来技術では大型設備、高荷重のため高耐久（ピット）、高棟でホイストを要する専用工場が必要であること、各加工工程で段取りタイミングが違うことにより加工ライン全体の稼働率が低下する（特に素形材加工では材料、型段取りの時間大）ことである。よって、同期一貫の課題は以下の3点が挙げられる。

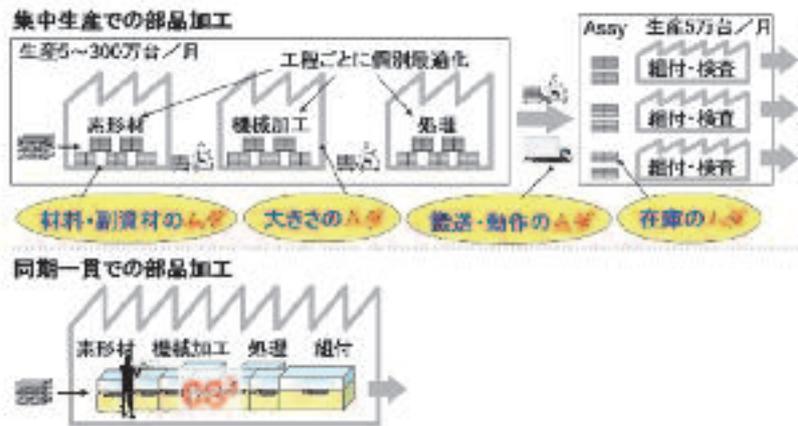


Fig. 3 A concept of synchronization consistency

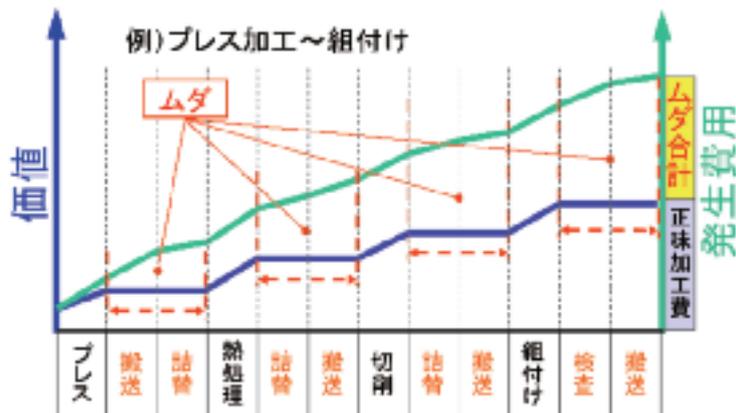


Fig. 4 Improvement of added values and costs in processes

- (1) 組付けラインと生産ロットを合わせるための加工設備の経済単位縮小
- (2) 組付けラインと同じ工場生産・供給するための加工設備の小型化
- (3) 組付けラインを止めないためのシングル段取り化（型段取り時間：10分未満）

部品加工が組付けラインとの同期一貫を実現するには、従来の発想を大きく変える必要があるために、1/N加工機（Nは整数）と命名し、従来比何%ではなく、1/2、1/5、1/10というような高い目標を掲げ、世界で戦える設備づくりを行った。前述の3課題（経済単位縮小、小型化、シングル段取り）を実現するために、今回、世界に先駆けて独自の加工機づくりに挑戦した。

3.2 1/N加工機の開発

1/N加工機の開発は、プレス、鍛造、ダイカスト、樹脂成形といった素形材加工から、切削、研削といった機械加工、そして、めっき、熱処理といった処理まで、工程全体に対して取り組んでいる。今回はその中で、3つの事例について紹介する。

3.2.1 1/N小型ダイカストシステムの事例

ダイカストとは素形材加工のひとつであり、“高い圧力”で“溶けた金属”を金型に射出・成形する加工法である。工業的には短時間で複雑形状を成形できるメリットがある一方、溶解炉は“溶けた金属”の温度を一定に保持するために炉内に溶湯を大量に保持する必要があり、設備が大きい。また、ダイカストマシンは、製品内部に発生する欠陥（鑄巣）をつぶすために“高い圧力”を必要とし、高出力、高剛性で大型設備となっている。熱処理炉においては、バッチ方式が用いられることが多く、中間在庫の発生や設備の大型化といったデメリットがある。

そこで今回、同期一貫を実現するため、このダイカストシステムの各設備に対して、グローバル展開を踏まえ、投資しやすい経済単位（生産能力）で、小型で扱いやすく、休まず稼動するシステムへと作り上げることを狙いとした。

中でも重要なポイントは、システムを中心となるダイカストの加工プロセスに切り込み、従来の“力まかせ”なダイカストを脱し、“低圧”でダイカスト品質を成立させる技術を開発したことにある。さらに、炉内の溶湯保持量を少量としても温度を一定に保つ技術開発や、インライン方式の熱処理炉を開発することにより、これらをシステム化し同期一貫を実現した。

今回開発した1/N小型ダイカストシステム（Fig. 5）を、油圧バルブ部品に適応した同期一貫ラインの事例を紹介する。ライン全体の構成は、材料投入（アルミニウム合金塊）からダイカスト、熱処理、切削、洗浄、アルマイト処理、検査からなり、従来は各工程が別々の建屋に分断されていた。また、各設備の生産能力が大きく異なることにより、工程間に大量の在庫を抱え、運搬作業や投入排出作業のムダが発生していた。これに対し、1/N小型ダイカストシステムをはじめ、各工程の設備を小型化するとともに生産能力を縮小してそろえ、段取り時間も短縮することによって同期一貫ラインを実現した。従来に比べて設置面積1/5、エネルギー消費1/2、生産コスト33%減を達成した（Fig. 6）。

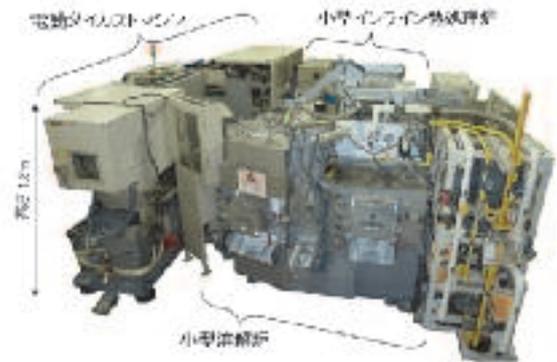


Fig. 5 1/N compact die casting system

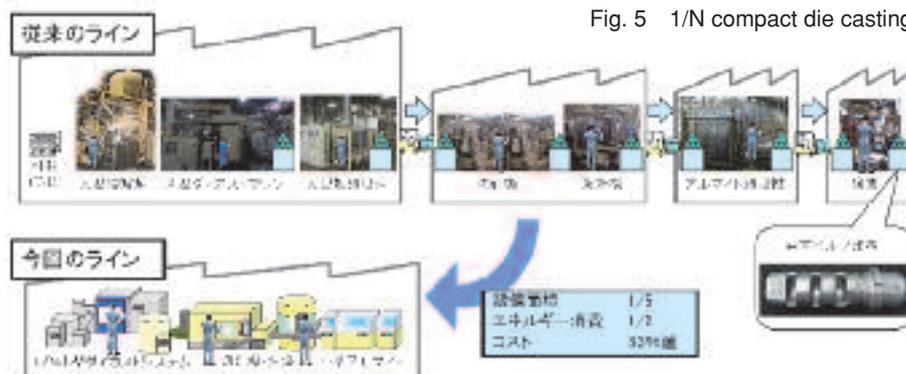


Fig. 6 Synchronization consistency line with the 1/N die casting system

3.2.2 1/N小型鍛造システムの事例

鍛造とは素形材加工のひとつであり、“高い圧力”で“金属の塊”を金型で圧縮・成形する加工法である。そのシステムは主に、金属を加工しやすい状態にする焼鈍炉、加工を行うプレス、金型に材料を投入する搬送装置で構成されている。従来は鍛造工程での生産性を追求してきたが、部品の機能や形状（精度）が高度化したことから鍛造の加工荷重はその加工終期において材料を密閉状態するために顕著に上昇するようになり、大型の設備が必要となっている。そこで型による材料の拘束部位を減らすことで加工荷重低減を図る。ギアなどの複雑形状は鍛造で成形し、簡易形状は切削加工で仕上げることにより、設備の小型化を実現した（Fig. 7）。

従来の大型プレスに付帯している搬送装置は設備サイズに合わせた長尺構造のため、金型交換時は段取り作業が多く時間が掛かり、同期一貫生産の実現が難しくなる要因の一つとなっている。

搬送機構の役割は、成形前に材料を供給し、成形後に排出された材料を次工程へ供給することである。搬送系の一連の動きは、スライドの位置に合わせて決めるため、金型の位置とも連動している。したがって、搬送系を金型の一部として構造化できれば別の駆動源を必要とせず、内段取り時の調整作業レスを実現できる。

また、搬送系の組付けを金型と同様に外段取り化することで内段取り作業を廃止し、段取り時間1分以内を達成、前後工程との同期一貫生産を可能にした。

工程全体での1/Nの生産システムを構築するにあたっては、各工程の加工原理を変えることで1/Nに進化して一個流しを実現する。また、各工程で段取りタイミングが異なり加工ライン全体の稼働率低下が懸念（特に塑性加工では材料、型段取りの時間大）されることに対し、内段取り作業を外段取り化するとともに、段取り時間も極限まで低減することで、同期一貫ライ

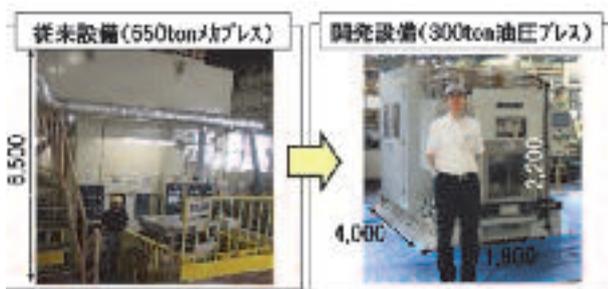


Fig. 7 1/N compact forging press

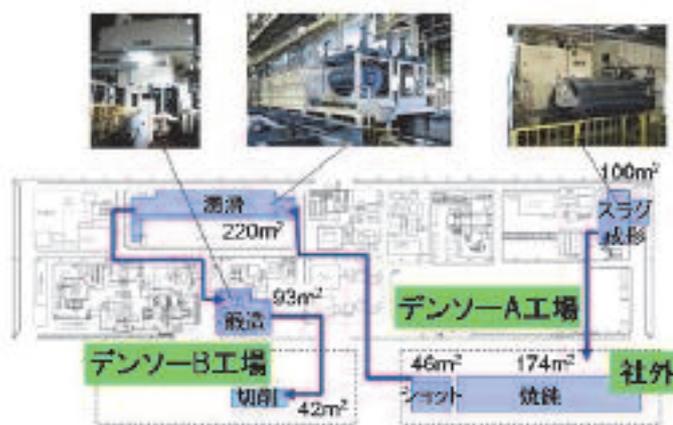


Fig. 8 Layout of a conventional parts process line



Fig. 9 Synchronization consistency line with the 1/N compact forging system

ンを構築することに挑戦した。

複雑部品の代表としてスタータ部品を対象に1/N加工ラインを開発し量産化した。経済単位を1/3に縮小することができ、ライン全体の面積を1/9にできた (Fig. 8, Fig. 9)。また、金型段取りにおいては、搬送装置の外段取り化を実現し、段取り時間1/30 (30分→1分) を実現した。以上よりコスト35%減を達成した。

3.2.3 1/N小型インサート成形システムの事例

インサート成形とは樹脂成形加工のひとつであり、ターミナルやICパッケージをセットした金型へ、“高速かつ高圧”で“溶けた樹脂”を射出・成形する加工法である。金型の中で一度に複数の部品を一体化することができるというメリットがある一方、インサート成形はサイクルタイムが長いため、前後工程となる組付けや検査といった工程と同期化できない。現状は多数個取りで対応してきたが、大きな金型の段取り時間が長く、工程内在庫が発生し、品質面でもキャビティ間のばらつきが発生するといったデメリットがある。

そこで今回、組付けや検査工程と成形工程との同期直結化、中間在庫レス、型の小型化による型段取り時間短縮、品質が安定する1個取りハイサイクル成形を実現するインサート成形システムを開発した。

従来のインサート成形は工程を2つに分け、①射出保圧冷却、②取出しインサートセット、の2つのステーション (以下ST) で構成するのが基本である。今回これをさらに工程分割することでハイサイクル化を目指し、このような工程分割できる型搬送式成形機を開発した (Fig. 10)。インサートセット、射出保圧、冷却、取出し、型開閉といった各成形工程を成形機の各STに振り分けて配置する。各STに搭載された金型は4秒強で各工程を終え、1秒弱で次のSTへ搬送される。これにより、1サイクル5秒の成形が可能となる。

ここで、金型を高速で搬送するという点に対し、2つの課題が存在する。1つ目は冷却中の高圧型締め廃止である。冷却工程も分割するため、冷却ST、および、搬送中も型締りを保持しなくてはならない。この保持力は樹脂と金型の接触さえ保てていれば品質を確保できるということを見出し、必要最低限の保持力を発生するクサビ式の自己クランプを考案した。2つ目の課題は、金型の温調方法である。スリップリングやロータリジョイントといった有線式では高速搬送に適さないため、今回、無線式の温調方法を開発した。金型内に設けたヒートパイプ及びその端部に設置した伝熱板と設備側に設けた温調された温調板を各ST滞在時に接触させて熱を授受する方法を考案した。以上2つの方式を採用し圧倒的な速さで金型を搬送させるためには、金型を小型軽量化することが重要である。そこで、金型の構造解析、熱伝導解析等を用いて自己クランプと無線式温調を最適化し、徹底的なムダ取りをした小型軽量の金型を実現した。

以上の開発技術を織り込んだインサート成形システムを車輪速センサの生産ラインに適用した (Fig. 11)。インサート品の組付け工程とセンサ胴体を成形する1次成形、ステーを成形する2次成形、そして検査工程からなる同期直結された合理化ラインである。これによりサイクルタイム1/5 (25秒→5秒)、従来コストに対し40%減を達成した。

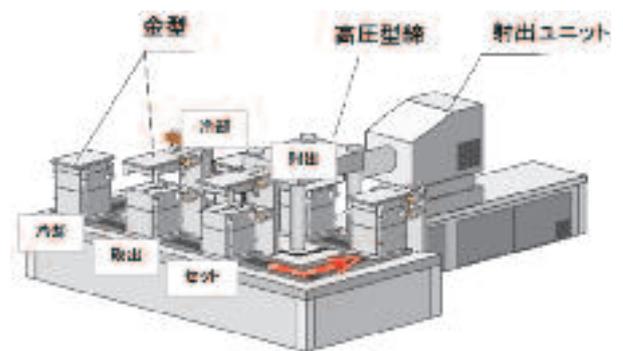


Fig. 10 Outline of a molding machine with transfer system in a die



Fig. 11 1/N compact insert molding system

4. 革新技術を実現できる人づくりの考え方

従来の技術開発は、工程毎の個別最適化での開発であり、従来技術の延長線上の開発であった。しかし、今回の1/N加工技術の開発は、従来の常識や経験では到底到達することができないレベルの開発が求められた。これを実現するには、「1/Nを実現したい」という情熱、変革するマインド、創造性が不可欠である。これらの想いをを持った上で、①アイデアを創出する能力、②出されたアイデアを具現化する行動力、が重要と考え、今回、新たな2つの改革を行った (Fig. 12)。

1/Nといった今までにない常識外の難問に対して独創的なアイデアを発想するには、一人で考えるには限界がある (スキルの壁)。これに対し、1つ目の取組みが「アイデア1000本ノック」である。課題に対して、みんなとどにかく数多くのアイデアをひねり出す。出されたアイデアを集約、融合することにより、更にアイデアを膨らませる。これを粘り強く、繰り返し行うことにより、1000件くらいのアイデアから数件の種を生

み出すことができる。若手もベテランも一緒にアイデア出しを行うことにより、若手はベテランの豊富な経験からのアイデアを知ることができ、人材育成に繋がりが、ベテランは若手の新鮮で飛んだアイデアを聞くことができ、固定観念を払拭することができる。これを繰り返し、みんなでワイガヤ的に取り組むことにより、アイデア出しが面白く癖となり、これが職場の風土として定着して行く (Fig. 13)。

次に、この生まれた種を具現化するには、どうしても心配が先行し、大掛かりな実験を行い、治具、型等の検討、製作に多くの時間を要してしまう。この結果、折角出されたアイデアの全てを確認することができず、埋もれてしまう (行動の壁)。そこで、2つ目の取組みとして、「手作り味見実験」を行った。大掛かりな実験をするのではなく、課題を小分けにして、工場、実験室のあり物を使い、技能者の匠の技を借りて、簡易な実験装置をすぐに作り、確認する。その結果からまたアイデアを膨らまし、すぐに確認する。このPDCAを小さく早く回すことで、短期間で具現化に到

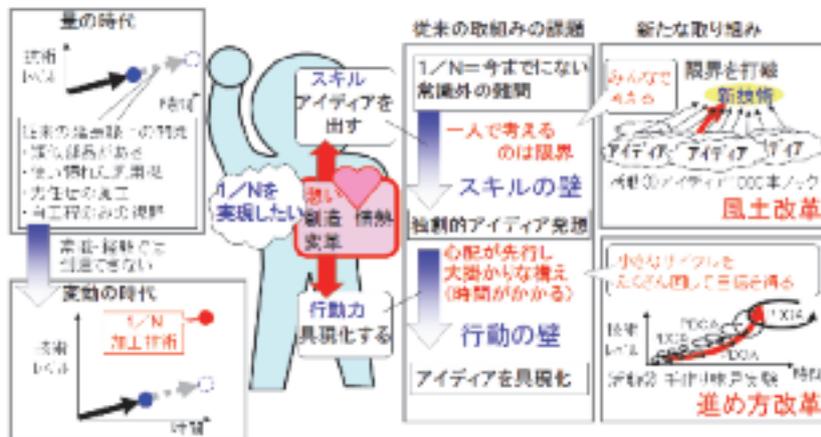


Fig. 12 A concept of human resource development for the realization of 1/N technology

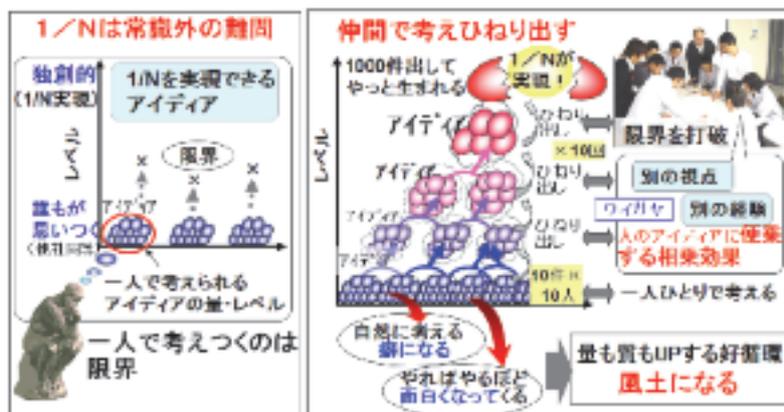


Fig. 13 Idea 1000-fungoes ; hard brainstorming session

達することができ、業務の進め方改革となる。この活動により、各人が多くの成功、失敗体験を積むことができ、これが自信と経験に繋がり、人材育成されていく (Fig. 14)。

以上のような、1/N発想プロセスにより技術も進化し、人も成長する (Fig. 15)。

5. 結言

以上、自動車部品産業における部品加工の目指す姿、考え方を事例と共に展望を述べた。当社の部品加工技術の分野別の具体的な研究計画はデンソー中期計画2018の中で各テーマに落とし込み各部署で研究開発活動が推進されている。

当社では、同期一貫を図りにくい従来の個別工程での最適である多数個取り、バッチ処理の大型設備による加工から脱却し、個々の部品加工に最適な加工技術開発とそれを実現する小型設備開発、金型開発を推進

し、経済単位を縮小できる加工技術開発を行ってきた。これにより部品加工分野の全域をカバーできる1/N加工機を開発してきた。これまでの部品工場で生産することから脱却し、組付けラインのすぐ横で同期一貫生産を実現し、工程一連の中にひそむムダを大幅に低減し、発生費用と価値を極限まで近づけ、大幅なコストダウンを実現した。1/N技術のメリットは、労務費の高い日本では同期一貫加工により労務費生産性を向上させることができ、グローバルでは経済単位の小さい海外でも経済性を実現できる。よって、冒頭で述べた二律背反する事象を成立させていくことの解は、1/N技術を開発し、これをグローバルに展開し、日本では、新たな技術を開発し続けることであると考える。

これまで受け継がれてきた技術・技能の伝承をたえまなく実施していくことにより、新たな価値を創造し、世の中の進化に貢献できるように今後もモノづくりに励んでいきたい。

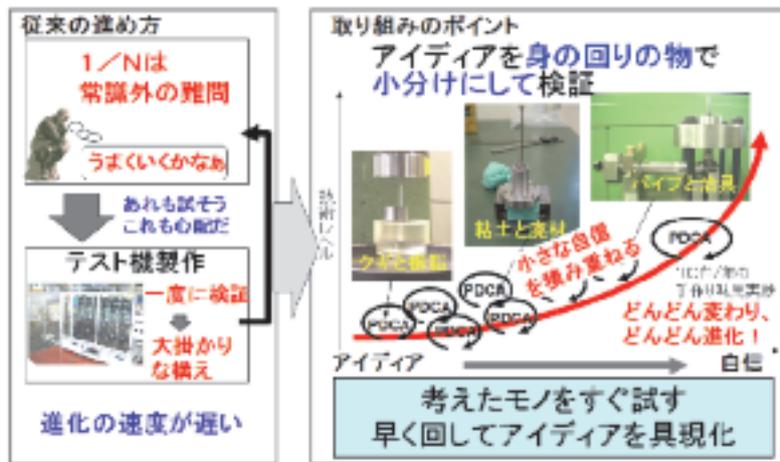


Fig. 14 Small experiments for verification of ideas

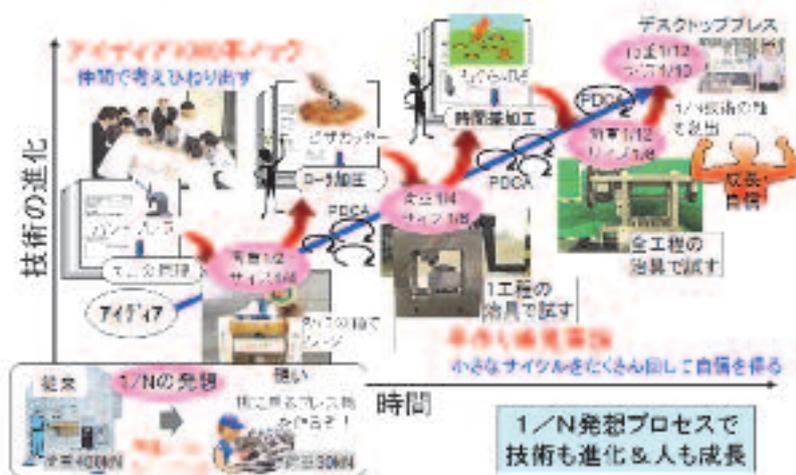


Fig. 15 Idea generation for 1/N technology

<著 者>



黒田 吉孝
(くろだ よしたか)
生産技術研究部
部品加工技術開発に従事