

生産システム・インテグレータの能力形成

——機械商社に由来する三明機工——

榎 本 俊 一

目 次

1. はじめに
2. 三明機工の生産システム・インテグレーション事業
3. 三明機工の生産システム・インテグレータに係る経営資源獲得
4. 2010年代の三明機工の生産システム・インテグレーション事業
5. ま と め

1. はじめに

近年、生産設備を単体で製造・販売するのではなく、生産ラインを一括請負するライン・ビルダーが注目されている。平田機工（熊本市）は、国内ではトヨタ自動車、日立製作所、クボタ、キヤノン、海外では米GM、テスラ・モーターズ、英ダイソン、韓国サムスン電子等を顧客として、生産ラインを設計、所要の設備・装置を調達した上で、顧客工場で組立・設置を行いフル・ターンキー納入している¹⁾。平田機工のようにグローバル・メーカーのものづくりを支える存在として認められたライン・ビルダーだけでなく、近年、省人化と生産効率向上のため生産システムへのロボット導入が国内製造業の課題となっている中、ロボットを活用した生産システ

1) 日経BP社『日経ビジネス』（2017年3月6日号）、58-62頁。

ムをフル・ターンキー方式で受注するライン・ビルダーが重要な役割を果たすようになってきている。

生産ラインはメーカーの競争力を左右するものであり、基本的にメーカー自身により内製されてきたが、1990年代以降、日本メーカーが海外工場移転を本格化させてグローバル生産体制にシフトすると、日本メーカーは国内で生産ライン（特に量産ライン）を新增設する機会が激減し、生産ラインを設計・構築する力が失われたと指摘される。平田機工の企業活動が1980年代から一部で注目されていたように²⁾、ライン・ビルダーは生産ラインのファクトリー・オートメーション（FA）を請け負う事業者として古くから存在してきたが、顧客である自動車・総合電機産業、鉄鋼・化学産業等のグローバル・メーカーの事業活動の陰に隠れて目立たなかった。

しかしながら、2016年以降、生産システムへのロボット導入により人手不足解消と生産効率向上を目指す「ロボット革命」が国内だけでなく世界的に大きな動きとなると、ライン・ビルダーは改めて日本製造業の競争力を下支えする存在として認知されつつあり、2018年にはFA・ロボットシステムインテグレータ協会が産業団体として立ち上げられ、一つの産業として確立しようとする動きも見られる。ライン・ビルダーは、「情報システム」のインテグレータと似て、顧客の製造課題をコンサルティングして生産ラインを企画設計し、生産ライン構築に必要な工作機械・産業機械・搬送装置・周辺装置等を一括調達、自社工場にて生産ラインを仮組立して稼働・性能検査した上で、顧客工場で機械・装置を設置し生産ラインを構築、改めて稼働・性能検査を行った上でフル・ターンキー納入する、「生産システム」のインテグレータである。

従来、ライン・ビルダーは製造企業の本来機能を補完する付加的存在と

2) 日経BP社『日経ビジネス』（1982年12月13日号）、200-202頁。

して経営学の分析対象と観念されてこなかったが、榎本（2018）では、今後の研究の出発点として業態・事業特性・産業組織など産業実態を明らかにするとともに、生産システム・インテグレーションという「サービス」そのものを事業とするライン・ビルダーを「製造業のサービス化」の特殊形態として分析を行うことを提案、「製造業のサービス化」に伴い必要となるインテグレーション能力の獲得経路に応じてライン・ビルダーを類型化した。生産ラインのシステム・インテグレーションは、工作機械・産業機械・搬送装置・周辺装置等を組み合わせて生産ライン（物的部分）を構築する能力とともに、FAシステム、ロボット・システムで要求される生産ラインをコンピュータ制御するITシステム構築能力の双方が要求される。

物的ライン構築とITシステム構築の両能力の獲得経路に着眼すると、ライン・ビルダーには、(a)機械商社が顧客に工作機械・産業機械等を販売する過程で機械等の設置だけに止まらず、顧客ニーズに応じて工作機械等を組み込んだ生産ラインのシステム・インテグレーションも引き受けるようになり、その過程で製造能力も獲得してライン・ビルダー化した社、(b)顧客ニーズに応じて産業機械を「一品製作」して納品・設置していた専用機械メーカーが、顧客からの生産ライン構築の求めへの対応と販路拡大のために、自社製品に限らず生産ラインのシステム・インテグレーションに進出し本業化した社、(c)自動車部品製造などを本業とする傍ら、自社生産ラインのFA化・ロボット化に取り組む過程でシステム・インテグレーション技術を蓄積したメーカーが、副業として自家用インテグレーション関連装置・部品を外販し、さらには製造業他社のシステム・インテグレーションも引き受けるようになった社、(d)FAシステムのインテグレーション企業として創業し、その後、ロボット・システムに事業拡大した専門ライン・ビルダーが存在する。

ライン・ビルダー研究は緒についたばかりで、榎本（2018）の産業実態

に関する研究は初発論文として「概論」に止まっていることから、今後更なる産業実態の解明が必要であるが、本稿では、上記分類中(a)の機械商社に由来するライン・ビルダーに関して三明機工（静岡市清水区）に関するケース・スタディを行う。同社は「機械技術、電機技術、ロボット技術を駆使して製造ラインの自動化を推進する」インテグレーション能力を強みとして、アルミダイカスト製造ライン、鋳造プラント等のインテグレーションを行っているが、本来、生産システム・インテグレーションを業としていたわけではなく、機械商社として生産設備を販売する過程で、顧客の求めに応じて生産設備の据付け・試運転・不具合対応等を行うために機電両面のエンジニアリング力を習得、1980年代に安川電機の産業メカトロニクス製品を取り扱う過程で機電能力を高度化させ、生産システム・インテグレータに成長してきた企業である。三明機工は機械商社に淵源を有し、三明（旧称「三明商事」）、三明電子産業（制御機器、精密機器、半導体・電子部品）とともに三明グループを構成している。

我が国では、ライン・ビルダーと業態上近似するソリューション・プロバイダが、①プロジェクト契約後、顧客のシステム変更要求により追加費用が発生しても契約時の契約額は変更されない、②プロジェクト完了まで代金支払いがなされずプロバイダーが資金リスクを負担しなければならない等の日本固有の取引慣行により低収益に悩んでいる（企業成長を阻害されている）ように、ライン・ビルダーも同様の業界取引慣行により収益が圧迫され、企業成長に必要な資金繰りに悩まされている。グローバル製造業のパートナーとしての地位を獲得するのに成功した平田機工は別格として、ライン・ビルダーは従業員規模20～40名の中小・零細企業が太宗を占めるのが現状であり、生産システム・インテグレーションに必要な能力の獲得蓄積においてインテグレータの多くは苦闘を重ねてきた。三明グループ（3社で従業員380人）において生産システム・インテグレーション

事業を担当する三明機工は従業員120名のチームであり、中堅規模の上層に位置するインテグレータと評価できるが、以下、三明機工がどのようにインテグレータとしての能力を獲得し、生産システム・インテグレーション事業を成長させてきたかをケース・スタディによりお示しする。

2. 三明機工の生産システム・インテグレーション事業

(1) 企業概要

三明機工は「機械技術，電機技術，ロボット技術を駆使して製造ラインの自動化を推進する」インテグレーション能力を強みとしており，フラット・パネル・ディスプレイ（FDP）製造ライン，アルミダイカスト製造ライン，鋳造プラントをコア事業領域として生産ラインのインテグレーションを引き受けている。同社は「ニッチ分野におけるオンリーワン」を経営モットーに掲げ，FDP生産ラインの液晶ガラス基板のフィルム除去・非接触搬送・梱包工程，自動車向けアルミダイカスト製造ラインの離型剤塗布，後工程（湯口切断・堰折，穴明け，冷却，バリ取り）など自社の強みのある生産工程のシステム・インテグレーションに注力しているが，鋳造プラントに関しては熔解材料自動供給（自動材料集荷，インゴット投入），連続熔解（自動制御キュボラ），後工程（自動中子バリ取り）と生産ライン全体のインテグレーションを行っている。

三明機工は「3. 生産システム・インテグレータとしての経営資源獲得」で詳解するように機械商社に淵源を有する企業であり，三明（旧称「三明商事」），三明電子産業（制御機器，精密機器，半導体・電子部品）とともに三明グループを構成している。そもそも三明は生産システム・インテグレーションを事業としていたわけではなく，機械商社として生産設備を販売する場合，必ずしも生産ライン構築能力が十分ではない顧客の求めに応じて生産設備の据付け・試運転・不具合対応等を行わざるを得なかった。

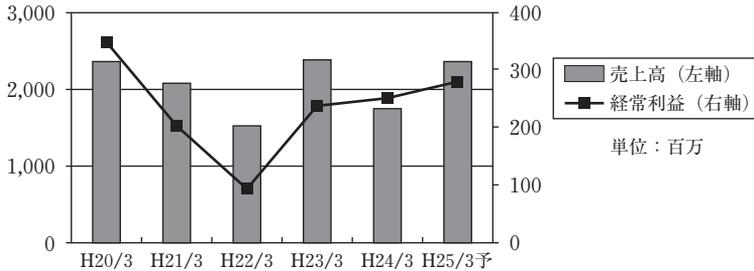
そのためには機電両面でのエンジニアリング力を習得、さらには安川電機等の産業メカトロニクス製品を取り扱う過程で機電能力を高度化させ、1970年代以降、三明はそのエンジニアリング力を基盤として製造事業に進出し、機電に関連した製造事業も営む機械商社となった。

同社が製造事業も営む機械商社から生産システム・インテグレータに成長する契機は1980年代にある。サーボ機構等製品を取り扱っていた安川電機が産業オートメーション・ロボットに事業転換するのを目撃した三明は工場FA化にビジネス・チャンスを見出したという。まず、自動車の内装材生産も行ってた三明は自動車の鋳物部品製造³⁾のFA化を事業対象に選択し、鋳物製造のFA化に欠かせない基幹機械・装置を自主開発・製造をしつつ、生産ラインのシステム・インテグレータ成りを果たす。その後、1990年代は自動車部品のアルミ化に対応してアルミダイカスト製造に生産システム・インテグレーションの対象を拡げ、2000年代には薄型テレビ等の液晶パネル製品産業の成長に対応して液晶パネル製造に関しても、三明機工は事業対象を拡大して現在に至っている。

企業の経営状態に関しては、三明、三明機工、三明電子産業は非公開会社であるため、売上高・営業利益・有利子負債額等のデータは開示されていない。ただし、中小企業基盤整備機構のオンライン記事において三明機工の2007～2012年度の売上高・経常利益が公表されており、売上高は20億円、経常利益は2.5億円を推移していることが分かる。売上高経常利益率が10～13%であることを踏まえると、同社は資本金1,000万円、従業員数120人ながら経営効率の高い優良企業であると評価できる。なお、平田機工も同様であるが、生産システム・インテグレーション事業において、売上高は機械・装置の販売代金が太宗を占めており、生産システムのインテ

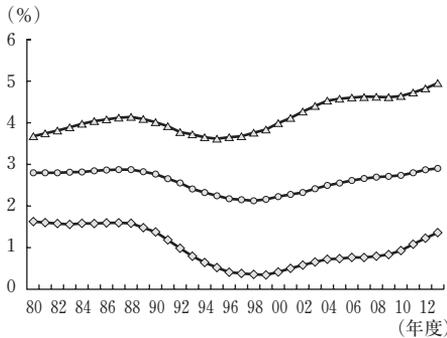
3) 自動車ではエンジンを中心として鋳物部品(約100点)が活用されており、車体重量の約10%を鋁鉄鋳物部品が占める。

図1 三明機工の売上高と経常利益の推移



(出所) 三明機工株式会社「製造ライン自動化技術を活かした新規事業開拓を実践」
 中小企業基盤整備機構「J-Net21」(http://j-net21.smrj.go.jp/know/handson/h24/pdf/h24_03.pdf)

図2 製造業の売上高経常利益率の推移



	小規模企業	中規模企業	大企業
1980年代	1.57	2.82	3.96
1990年代	0.70	2.35	3.75
2000年代	0.68	2.48	4.43
2010年以降	1.13	2.80	4.78

	小規模企業	中規模企業
1980年代	2.39	1.14
1990年代	3.05	1.41
2000年代	3.75	1.95
2010年以降	3.64	1.97

(出所) 中小企業庁「平成27年版中小企業白書」

グレーションというサービスに支払われる代金は1～2割程度となると推定される。

また、生産システム・インテグレータは顧客の設備投資動向に経営を左右されやすいため、リーマン危機を契機として国内メーカーが設備投資を2008、2009年に厳しく抑制すると、三明機工の企業業績も急激な落込みを

示している。その後の景気回復に伴い顧客の設備投資が回復すると、2010年以降三明機工の売上高も20億円水準、経常利益は2.5億円水準に回復している。このようにライン・ビルダーは景気変動に応じて浮沈の激しい業界であるため、三明機工を始め生産システム・インテグレータは一本足型の事業構造を回避し複数事業を柱とすべく日夜努力している⁴⁾。

(2) 生産システム・インテグレータとしての事業領域

日本でも、平田機工は自動車・半導体（液晶パネル）製造に関して工場全体又は重要ラインの建設を引き受ける能力を獲得しており、内外の自動車・半導体メーカー等の引合いの多さから、技術的に困難な高収益を期待できる生産ラインを選んで受注している。しかしながら、これは例外的なケースであり、三明機工を含めて生産システム・インテグレータの多くはロボット・メーカーの協力企業として系列化され、基本的に小規模企業が多い。

すなわち、ファナック、安川電機、不二越等のロボット・メーカーは、自動車・電機等の大手ユーザーに対しては自社対応し、最適ロボットを考案して生産システムを納品しているが、それ以外の一般ユーザーに関しては、協力企業のシステム・インテグレータがコンサルティングを行い、顧客ニーズに最適化したシステムを企画・設計、ロボット・自動化装置等の制御プログラムも設計した上で、ロボットと周辺機器を組み合わせる顧客工場でシステムをセットアップする分業体制を採っている。

ただし、インテグレータは必ずしも特定のロボット・メーカー専属のシ

4) ライン・ビルダー国内最大手の平田機工においても、自動車産業への依存は危険であるとの判断の下に、半導体・液晶パネル産業に生産システム・インテグレーションの対象を拡張してきたが、近年は更に有機ELパネル製造にも本格的な事業展開を図っている。

表1 近畿経済産業局編（2017）「ロボットシステムインテグレータ集」

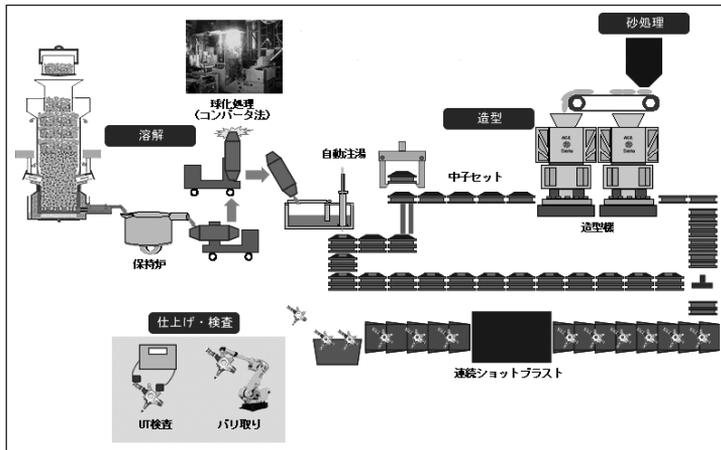
企業名	実績分野
IDEC 株式会社 IDEC ファクトリーソリューションズ	食品, 金属製品製造業, 精密機器
泉谷機械工業株式会社	生産, 搬送・移載, 検査・測定
株式会社 HCI	自動車部品, 電機, ケーブル・ワイヤー・チューブ
株式会社コスモ技研	医療・医薬, 重工業, 食品
三明機工株式会社	アルミダイカスト, 液晶ガラス基板, 自動車
松栄テクノサービス株式会社	溶接, 樹脂成形, 光学
高丸工業株式会社	金属製品製造業, 金属部品製造業, 非金属製品製造業
谷川電機産業株式会社	生産用機械器具, 医療用医薬品, 産業用装置
株式会社タマリ工業	自動車, 電機電子部品, 航空宇宙
知能技術株式会社	インフラ関連, 製造業, 医療
筑波エンジニアリング株式会社	プラスチック製品, 金属製品, 電子部品・デバイス
東洋理機工業株式会社	熱間鍛造・鋳造, 製造業, 分析
常盤電機株式会社	食品, 化粧品, 日用品
有限会社なんば電機エンジニアリング	金属部品加工, プラスチック成形加工
有限会社パーソナル・テクノロジー	製造業, 建設業, 商業施設
有限会社ヒサミツ	金属製品製造業, 搬送, 食品
株式会社プラスコーポレーション	金属加工, 物流
株式会社ラインワークス	一般機械器具製造業, 輸送用機械器具製造業
ロボシステムエンジニアリング株式会社	製造業全般
株式会社ロボプラス	金属板金加工業, 機械器具製造業, 食品製造業

(出所) 経済産業省資料に基づき筆者作成

システム・インテグレータとなるわけではなく、インテグレータの企業規模やインテグレーション能力により、あるいはインテグレータの経営戦略に応じて、特定ロボット・メーカー専属のインテグレータとなったり、複数のロボット・メーカーの系列システム・インテグレータとなったりしている。また、システム・インテグレータはロボット等を活用した生産システムをまとめる上で不可欠の存在であるものの、欧米と異なり全業種に精通した総合インテグレータは少なく、特定事業分野に特化して専門性を強みとするインテグレータが多くなっている（表1参照）。加えて、日本のシステム・インテグレータは欧米とは異なりインテグレータ専門者は少なく、産業機械・設備の専用機メーカーが製造事業の延長線上でシステム・インテグレータを兼業しているケースが多い点に特徴があるとされる。

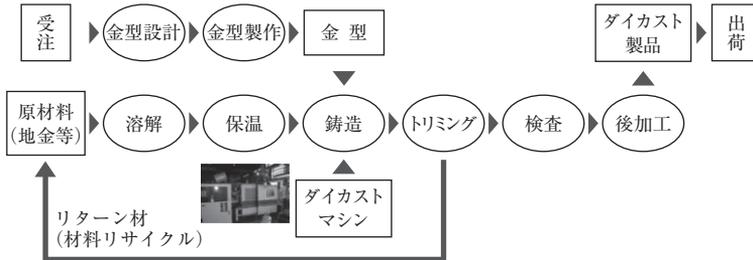
三井は機械商社として安川電機製品を多く取り扱ってきたが、生産システム・インテグレータとしては特定ロボット・メーカー専属となっている

図3 鋳物製造プロセス



(出所) 浅間技研工業資料に基づき作成

図4 アルミダイカスト製造プロセス



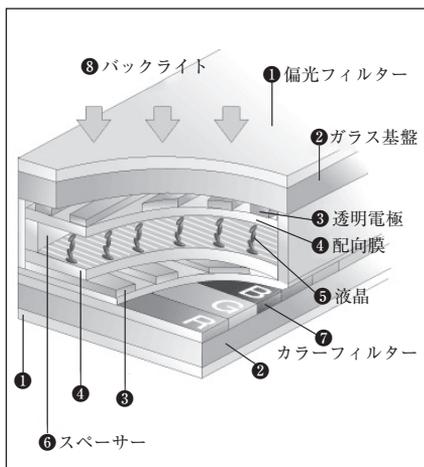
(出所) 日南製作所資料に基づき筆者作成

わけではなく、三菱電機・ファナック等の協力企業にも登録している。自動車の鋳物部品・アルミニウム部品にターゲティングして、鋳物製造に関しては熔解材料自動供給（自動材料集荷，インゴット投入），連続熔解（自動制御キューボラ），後工程（自動中子バリ取り）と生産ライン全体のインテグレーションを行い（図3参照），アルミダイカスト製造に関しては，ダイカストマシン周辺自動化（離型剤塗布，湯口切断・堰折，穴明け等），後工程（冷却，自動搬送，バリ取り等）など自社の強みのある生産工程のシステム・インテグレーションに注力している（図4参照）。

液晶パネル製造に関しては三明機工はガラス基板のフィルム除去・非接触搬送・梱包工程に限定して生産ラインのシステム・インテグレーション事業を展開している。図5のように液晶パネル製造プロセスはアレイ工程，液晶セル工程，液晶モジュール工程に分かれるが⁵⁾，三明機工は鋳物・

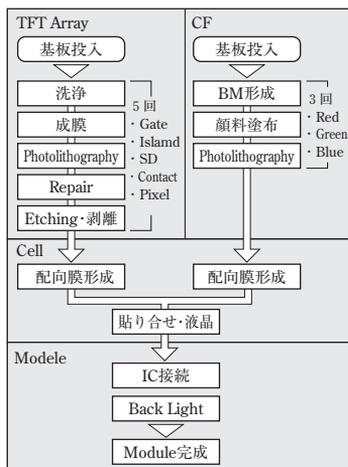
5) アレイ工程とは「Si ウエハー上に半導体回路を作り込むと同様に成膜・フォトリソグラフィ・エッチングを繰り返してガラス基板上にTFTアレイを作り込む工程」であり，セル工程とは「TFTアレイ工程によりTFTアレイが作り込まれたガラス基板と，カラー表示するためのカラーフィルタ基板を張り合わせ，その間に液晶材料を封入する工程」，モジュール工程とは「液晶セルの表示領域の外側に液晶駆動用のドライバICや光源としてのパ

図5-1 液晶パネル構造



(出所) Sharp ホームページ

図5-2 液晶パネル製造工程



(出所) 筆者作成

アルミダイカスト製造で培った搬送システム技術を転用し、アレイ工程の前工程であるガラス基板除去・非接触搬送・梱包工程のシステム・インテグレーションを3本目のコア事業としている。

(3) 生産システム・インテグレータのベンチャー企業性

生産システム・インテグレータは従業員規模20~40名の中小・零細企業が多く、日本の契約慣行では長期間にわたりプロジェクト資金の負担を強いられるため、なかなか高リスクのシステム案件の引受けは難しく、かつ、土日・盆休暇・年末年始等の工事が多いにもかかわらず給与等で好待遇しようにも制約があることからエンジニア求人も容易ではない。こうした厳しい条件にもかかわらず企業存続さらには企業成長を図るには強力な

「バックライト・ユニットを付ける工程」である。

リーダーシップが必要である。

また、生産システム・インテグレータの強みは、生産システムを構想・設計し、構想・設計に最適化されたロボット・機械・設備を自社製造又は調達して、システムとして「まとめる」力にある。「まとめる力」は、グローバル製造業では歴史的経緯を経て確立されてきた組織の力であるが、中小・零細企業においては経営者のリーダーシップと現場指揮を取るプロの個人的資質が大きく物を言う。実際、欧米・日本を問わず、インテグレータはエンジニアの創業したベンチャー会社が多いが、久保田・三明機工社長によれば「ベンチャーの創業しやすい環境としては米国>欧州>日本の序列ではないかと考えるが、ドイツのように製造基盤が根強く存続しているベンチャーの創業しやすい環境の方が日本と比べて生産システム・インテグレータは多い」という。

帝国データバンク等によれば久保田社長は、機械工学・生産機械工学・電気工学・建築学に強みのある工科系単科大学・武蔵工業大学（現東京都市大学）を1975年卒業後、国内造船メーカーに勤務し造船技師及び国際提携プロジェクトのマネジメント担当として勤務した後、1980年代初に静岡県清水市（現静岡市清水区）に帰郷、株式会社三明に入社した（三明は1984年に現在の三明、三明機工、三明電子産業の三社体制に移行し三明機工が成立）。生産システムのインテグレータはエンジニアが創業したベンチャー企業あるいはエンジニアが企業承継した後に「第二の創業」を行った事実上のベンチャー企業が多いが、三明機工が生産システムのインテグレーション事業を本格化したのは1980年代であり、久保田社長のケースも同様の状況が観察できる。

そこで、3.では、三明機工が機械商社「三明商事」からスタートして生産システム・インテグレーション事業を如何に成長させたか、同社の事業展開を経時的に追うこととする。久保田社長によるインテグレーション事

業の本格化に先立ち、三明グループは1984年の三社体制移行までに機電技術、生産ラインのインテグレーション技術を蓄積してきており、その蓄積の上で1980年代半以降の三明機工の生産システム・インテグレーション事業の発展は可能となった。久保田社長によるインテグレーション事業の展開を理解するには、三明グループの企業史の始まりまで遡る必要がある。

3. 三明機工の生産システム・インテグレータに係る 経営資源獲得

(1) 機械商社から機電メーカーへの道程

三明グループは1928年石炭販売により創業した山明商事（1938年三明商事に商号改名）に始まるが、現在の産業用機電設備メーカー及び生産システム・インテグレータへの道は、戦後、生産設備の代理店業務に進出し、機械商社として機械・設備のエンジニアリング能力を獲得したことから拓かれた。

三明は工作機械等を商う過程において、顧客への製品納入後の故障・不具合に対応するためエンジニアリングに取り組むが、これにより工作機械を制御するサーボ機構⁶⁾に関する技術力を蓄積し1972年に安川電機の衛星工場となる。安川電機は現在産業用ロボットを主力事業とするが、産業オートメーションの事業化は1970年以降、ロボット開発製造の事業化は1980年以降であり、当時はサーボモータとサーボ機構を主力製品としていた。サーボ機構はFA、ロボットに欠かせない技術であり、NC装置関連技術

6) サーボ機構とは、物体の位置・方位・姿勢等を制御量として、目標値に追従するように自動で作動する機構。コントローラ（司令部）がサーボアンプ（制御部）を通してサーボモータ（駆動・検出部）を制御、サーボモータは制御状態を確認し、制御部にフィードバックし自動制御する。サーボモータはサーボ機構の位置・速度等を制御する用途に使用するモータである。

とともに三明が1980年代以降にFA分野に事業展開する基礎となる。

三明はサーボ機構による自動制御に関する技術力を活かし、清水が漁業を基幹産業とすることから漁労機械の開発製造にも乗り出し、1974年に「イカ釣り機」を開発する。1970年代は工作機械がNC化により汎用機からNC機に主要事業分野をシフトさせる「パラダイム・チェンジ」の時代であり、いち早くNC化に取り組んだ日本の工作機械メーカーが世界工作機械市場を制覇したが、三明はこうした時代の流れの中でNC装置導入によるイカ釣り機の自動制御に取り組み、1976年4ビットCNC、1978年8ビットCNCの開発に成功するなどNC装置の開発製造能力を獲得する。

ただし、漁労機械の開発製造に進出したとはいえ、三明の製造事業への本格的進出は1970年代末に倒産した合板メーカーの救済合併後を待たなくてはならない。地場産業関係者の要請を受けて合板メーカーの救済合併に踏み切った三明は、実行可能な範囲での救済資金回収を検討する過程で、たまたま合併会社の機械設備に高速シャーリング（切断加工機）があったことから、自動車の国内生産の急増に着眼して自動車内装材の加工生産に乗り出す。現在、三明機工は静岡シートメタル工業会の会長企業を務めるが、自動車内装材の板金加工を契機として同社が本格的に製造業に進出したことに由来しており、三明は自動車の内装材を日産（静岡に工場が当時存在）・スズキ・ホンダ等に納入するようになる。

(2) 工場FA化分野への事業展開

内装材製造は工場FA化分野への事業展開につながる。

三明は内装材製造により自動車産業の一角に関与することにより、国内自動車産業の成長に伴い基幹モジュールであるエンジン等に使用される鋳物製品への需要が拡大する一方、鋳物メーカーが人件費高騰、コストダウン要求等に苦しんでおり、生産プロセスのFA化が喫緊の課題となってい

ることを認識する。三明は引き続き収益・経営の安定のため新規事業領域を模索していたが、安川電機がサーボ機構から産業オートメーション、ロボットへと事業展開しつつあるのを機械商社として目の当たりとしていた同社は鋳物製造のFA化に商機を見出す。

三明は自動車内装材の板金加工の一工程に関して1979年軟質材の自動積載装置を開発していたが、その延長上で鋳物の原材料積載・投入の自動化をターゲットとすることとし、1980年に鋳造装置の大手メーカーである新東工業と熱風キュポラ⁷⁾、1981年には西ドイツ(当時)VFG社と分割送風キュポラに関する技術提携を行い、1984年に鋳物原材料の集積場への自動運搬を行うスタッカー⁸⁾、1986年にキュポラ用原材料全自動投入供給装置、1987年に電気炉用合鉄自動供給装置を開発している。また、溶湯注入・鋳造・抜型後の取出し工程に関しても自動化装置の開発に取り組み、1984年に加工品を溶湯より切断し取り出すためのダクタイル鋳鉄用堰折機の開発に成功した^{9), 10)}。

7) キュポラ(cupola)溶銑は炉ともいい鋳鉄製造用の円筒形型炉。原料は銑鉄・屑鉄・燃料コークス及び溶剤であり、これらを炉頂の開口から所定の順序で装入し、炉腹下部の羽口(送風口)から送風してコークスを燃焼させて原料を溶解する。炉温は羽口付近で最高1,800℃、熔融銑温度は1,500℃。炉の寸法は内径0.6~1.5m、炉高3.5~7mであり、溶解速度は大型炉ほど大であり1時間当たり2~25tと差が生ずる。特殊鋳鉄の製造には原料に合金鉄を添加するが、これには炉頂から入れる場合と湯口(熔融金属流出口)で添加する場合とがある。

8) スタッカー(stacker)は石炭・鉱石等のばら物荷物の連続積付けに用いられる荷役機械。旋回・起伏可能なヤードの側部に敷設されたレール上を走行し、ブーム上のベルトコンベヤによって荷をヤードにばらまく。

9) ダクタイル鋳鉄(Ductile Cast Iron)は、組織中のグラファイト(黒鉛)の形を球状にして強度や延性を改良した鋳鉄を指す。鉄鋼は炭素含有率により鋳鉄等鉄(Iron)と鋼(Steel)に分類される。鋳鉄(Cast Iron)は炭素含有率が高いため、鋼より熔融温度が低く鋳造しやすいものの、鋳鉄が固まる

生産ラインのシステム・インテグレータは、顧客の生産ラインで必要となる全ての機械・装置を自社製造する必要はないが、自社のインテグレーション・サービスに特性・強みを持たせるには（顧客の生産技術・ラインの特性を理解するためにも）主要機械・装置の開発・製造能力は不可欠である。1980年代、三明は鋳物製造のFA化に必要な機械・装置の開発製造に取り組んだが、これは自動車関連鋳物部品メーカーに対して生産ラインの構築とターンキー納入を行う（生産財の機械商社のビジネスの延長）一環として行われたものであり、顧客ニーズにカスタマイズされた一品生産が基本だった。三明は主として鋳物製造のFA化に取り組む過程において、1985年にNC制御スリッター¹¹⁾、直交型ロボット¹²⁾を開発してFA化事業の対象を

時に炭素が結晶化してサツマイモ型のグラファイト（Graphite）となる結果、応力が集中しやすく脆い弱点がある。このため、白鋳鉄に焼鈍を行いグラファイト組織を塊状にすることで強靱化する「黒心可鍛鋳鉄」が開発されたが、鋳造後の焼鈍工程によりコスト高となり肉厚製品には適さなかった。1948年、溶湯にCe（セリウム）を加える接種法（鋳造直前に非鉄元素を添加）によりグラファイトを球状化する技術が開発され、グラファイトへの応力集中の度合いを最小化し銑鉄鋳物の脆弱性を克服するのに成功する（ダクタイル鋳鉄）。1949年には、Ceより安価なMg（マグネシウム）を接種する技術が発表されると、強靱性が求められる製品の多くが黒心可鍛鋳鉄からダクタイル鋳鉄に置換された。ダクタイル鋳鉄は鋳放しのままでも鋼に近い強靱性を得られるが、ねずみ鋳鉄（普通鋳鉄）のような減衰能（振動吸収力）を備えていないため、強度を必要とする自動車部品、水道管に使用される。

- 10) 鋳物製造において、溶湯注入・鋳造・抜型後に加工品を取り出す場合、加工品には堰（湯溜まりなど溶湯との接続部分）、バリ（型の繋ぎ目や亀裂部分に形成される素材のみ出し部分）等が生ずる。抜型後の工程に加工品を移すには、堰を叩き折ることで溶湯から切り離す必要があり、かつてはグラインダー切断・ガス切断等の作業を要したが、油圧式堰折機が開発されたことにより作業負担が軽減され、堰折治具を鋳物の堰部分の横の隙間に挿入して堰部分を押し潰して堰折る装置の開発は鋳物製造の自動化に貢献した。
- 11) スリッター（slitter）とは、工業用フィルムシート、各種ペーパー、アルミ等金属箔に必要なサイズ幅にカットし、ロール状に巻き取る加工又は加工

拡げる努力を重ねた。

なお、我が国において工場のFA化は、NC工作機械やマシニングセンター等の加工用機械とCADシステムを組み合わせたCAMシステムが1980年代前半に実用化された結果、急速に進んだ。三明はイカ釣り機の自動制御化においてNC装置の開発製造能力を獲得し、1980年代にはイカ釣り機のマイコン制御化に取り組んだが、鋳物製造のFA化に係るスタッカー、キュポラ用原材料全自動投入供給装置、電気炉用合鉄自動供給装置の開発においてNC装置の開発製造能力が貢献したと評価できる。

(3) 生産ラインのシステム・インテグレーション事業の本格的取組

三明は機械商社としてスタートした後、イカ釣り機・自動車内装材の製造事業に乗り出し機電技術を蓄積したが、元来の生産財を取り扱う機械商社の延長として、鋳物生産のFA化に取り組む過程で生産ラインのシステム・インテグレーション事業を本格化させる。1984年に三明は三明商事(機械商社)・三明機工(生産ラインのシステム・インテグレーション)・三明電子産業(イカ釣り機、NC装置・サーボ機構)にグループ再編を行い、3社が各事業部門を専任することで効率的な経営を追求しつつ、製造業のFA化

機械を指す。スリット加工は、基本的に原反から巻き出し、カット、巻き取る単純なものであり、原反の素材・サイズ、スリット・サイズにより専用機を用いるのがベストであるものの、現実的には、複雑化するニーズに対応して個別に加工機械を開発し導入することは困難であるため、機械調整やオペレーター技術で対応している(製薬会社は製膜メーカーより薬の包装材を購入する場合、工業用フィルムは数メートルの幅広サイズで量産され取り扱いにくいことから、スリット加工業者が中間加工メーカーとして間に入り、フィルムを製薬会社の必要サイズに加工し納入)。

- 12) 直交型ロボットとは2軸又は3軸の直交するスライド軸により構成されており、補助的な回転軸を持つこともある。小さな部品の組立や、半導体・医療・薬品の分野で使用される。かつては溶接を行う大型ロボットもあった。

ニーズに協同して対応して行く体制が採られた。

① 自動車部品のアルミニウム化への対応

1990年代、自動車の低燃費化・軽量化のために部品のアルミニウム化が本格化し、エンジンも鋳物部品からアルミニウム部品への転換が進められた。こうした中、三井は鋳物部品製造に加えてアルミニウム部品製造にもFA化の商機を見出し、自動車向け鋳物製造ラインのシステム・インテグレーション事業で培った技術・ノウハウを転用して、自動車向けアルミダイカスト製造ラインの離型剤塗布工程、後工程（湯口切断・堰折、穴明け、冷却、バリ取り）等を中心としたシステム・インテグレーションに取り組む。

生産システム・インテグレーションにおいてインテグレータは、顧客の生産ラインで必要となる機械・装置の全てを製造開発する必要はないが、自社のインテグレーション・サービスに特性・強みを持たせるには（顧客の生産技術・ラインの特性を理解するためにも）主要機械・装置の開発・製造能力が欠かせない。ダイカストマシンは1983年より東芝機械等が射出のコンピュータ制御に取り組み、型締め・射出を自動制御したダイカストマシンを普及させるのに成功していたが、1993年以降ダイカストマシン全体のコンピュータ制御が目指されるようになり、「機械全体の動作・各種射出条件・型締・自動化・品質管理・生産管理・良品管理・保守管理・故障診断・モニタリング等を（コンピュータ）制御できる」システムが完成する¹³⁾。

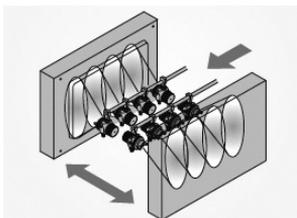
かかるアルミダイカストマシンの自動制御化の流れの中で、生産ラインのシステム・インテグレーション事業を担当することとなった三井機工は、1993年にダイカストマシン周辺全自動システム（湯口・湯道の自動切

13) 東芝機械資料 (<http://www.toshiba-machine.co.jp/jp/product/diecast/what/history.html>)。

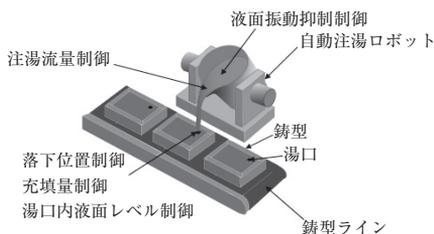
断・自動堰折設備、ロボットによる製品取出し設備等)、1994年にロボットによる溶接自動化ライン、1997年にはダイカストマシン用離型剤塗布ロボット・システム¹⁴⁾、1999年に溶湯に接種剤を注ぐ注湯流接種装置¹⁵⁾を開発し、先ずはアルミダイカストマシンの周辺自動化に関して、自社製品を提供しつつシステム・インテグレーションする力を獲得していく。

続いて、同社は自動鋳抜きピン折れ確認装置(鋳抜きピン)、製品自動冷却コンベア(鋳込み後の製品を冷却しながら搬送)、ロボット式バリ取り装置、ショットプラスト・ワーク搬入出自動化装置などを顧客ニーズへの対応の

- 14) ダイカストは、溶かした金属を金型に高圧で流し込んで固める鋳造法であり、熱された金属と金型との円滑な離型のために溶湯を金型に注入する前に離型剤を金型に塗布する必要がある。離型剤塗布は金型を下図のように塗布プロセスを通過させる形で実行される。



- 15) アルミダイカスト製造において、溶解したアルミニウムを鋳型に注湯した後、強度と張力を増すために接種剤を微量追加するが、注湯機の鋳込みデータに合わせて添加量を制御しつつ注湯流線に接種剤を注入する必要があり、注湯流接種装置は注湯機と連動して自動制御により接種剤を注入する。



(c)Mechanical Dynamics Lab., University of Yamanashi

過程で開発し、アルミダイカスト製造の後工程（二次加工）の自動化にシステム・インテグレーションの範囲を拡張。1996年にはロボットによるアルミ鋳造部品のタップネジ穴自動検査装置¹⁶⁾の開発により検査工程の自動化にも対応する態勢を整え、三明機工はアルミダイカスト製造工程の広範なプロセスに関してシステム・インテグレート事業を展開するに至った。

② 液晶パネル産業成長への対応

1990年代、三明機工は自動車関連で鋳物部品製造からアルミニウム部品製造に生産ラインのシステム・インテグレーションの事業領域を拡張した。しかしながら、国内自動車メーカーは1995年以降国内集約生産・輸出戦略を完全に放棄し、「地産地消」に立って米国等海外主要市場での現地生産を本格化し、国内生産は国内需要と高付加価値車輸出への対応に限定されることとなる。バブル崩壊後のデフレ停滞により国内自動車販売は成長性を喪失、三明機工としても国内の自動車部品メーカーを主要顧客としていては企業成長を期待できない状況に陥る。1990年代後半、液晶パネルを使用した薄型テレビ（FPDテレビ）がシャープにより製品化されるが、薄型テレビがブラウン管テレビに代替し始めるのは2000年代以降であり、2000年代半以降は国内販売されるテレビは薄型テレビとなる。三明機工は自動車部品と並ぶ事業の柱を模索する過程で、当時は半導体と比べて需要変動が激しくなかった液晶製造分野への進出を考えるようになる。

16) タップとはドリルで開けた穴にメスネジを加工するための工具であり、タップでネジ穴を加工すると部品に直接ネジ穴を加工できるため、ナットが不要になり加工物が取付け後も突起物のない平板のまま維持できる。ただし、タップによるネジ穴は目視検査に向かず、ネジ穴の加工忘れや巣穴の欠陥等はレーザー検査でも確認が困難であるが、タップ未加工品の流出は部品企業にとり顧客企業との間で致命的なトラブルになりかねない。そこで、タップネジ穴にネジを試しに押し込みネジ穴に適性に形成されているかを物理的に検査確認する装置が重要となる。

久保田社長によれば、当初「薄型テレビが壁掛け化されるようになった場合、壁掛け用の金具の製造が事業化できない」と思案していたというが、三明機工の液晶パネル製造分野での飛躍は、2000年に世界ガラス基板市場で圧倒的地位を誇る米国コーニング社¹⁷⁾の日本支社がガラス基板の次世代搬送システムの開発を委託してきたことに始まる。当時、台湾の奇美電子は液晶パネルの第4世代から第6世代の移行に合わせて液晶パネル工場の建設を進めていたが、コーニング社が奇美電子に納入する大型化したガラス基板に対応できる搬送システムがなかった。コーニング社は1989年にアジアで最初の液晶ディスプレイ用ガラス基板工場を静岡県で稼働させていたが、日本本社（静岡県掛川市）が三明機工の自動車部品生産の自動搬送システムに着眼して、同社に奇美電子のための開発を委託した。

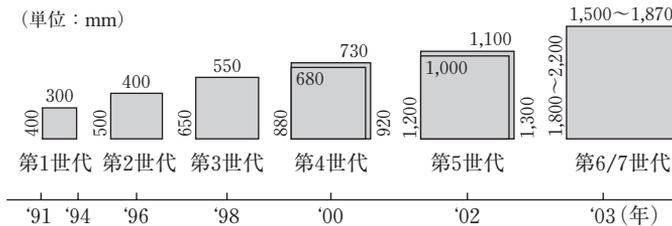
三明機工は自動車部品生産の自動搬送システムを応用しつつコーニング社と共同でガラス基板搬送システムの開発に取り組み、ロボット搬送システム（スカラ型ロボットにより検査・装置供給・取出し）、ガラス基板を傷つけないための樹脂ローラー・コンベア（1979年に軟質材の自動積載搬送装置を開発した経験が生かされた）、縦型搬送コンベア（大型パネルの安定搬送、製造ラインの省スペース化を実現）等から構成される基板搬送システムの開発に成功、1号機を奇美電子に納入する。奇美電子は2010年に鴻海科技集団の群創光電（イノラックス）に買収されるが、群創光電から2台目のシステムの引合いがあるなど台湾の液晶パネル・メーカー各社との取引が始まり、久保田社長は「三明機工のガラス基板搬送システムは台湾の業界標準になった」とする。

17) 2016年の世界液晶ガラス市場では、米コーニング（27%）、米コーニング・プレジジョン・マテリアルズ（25%）、旭硝子（24%）、日本電子硝子（17%）の4社が93%の高い寡占状態を形成しており、コーニング・グループで5割超のシェアを占める。

三明機工は、自動車の鋳物部品製造の生産ライン・システム・インテグレーションを事業化できたのは、内装材の板金加工により自動車産業の内情に通ずる機会を得た賜とするが、液晶ガラス基板の搬送システムの開発により液晶パネル産業の一角に食い込んだ同社は、それにより精通することができた液晶パネル製造に関する顧客ニーズに対応して主要設備・装置を自社開発し、それをコアとした生産ラインのシステム・インテグレーション事業を立ち上げていく。まず、液晶パネル製造では、リードタイム短縮のために液晶ガラス保護フィルムの剥離の自動化が必要とされていたが、三明機構は基板搬送システムを評価したコーニング社から保護フィルムの自動剥離機の開発を委託される。三明機工は2004年に自動フィルム剥離機開発に成功、コーニング社の顧客である液晶パネル・メーカーに対して自動搬送システムに加えてコーティング・フィルムの剥離システムも納品するようになる。

次いで、三明機工は、ガラス基板の大型化に伴い（図6参照）液晶パネルの開梱包システムに革新が求められていることを認識し、2005年に第7.5世代向けガラス基板のクレート式・平置式梱包装置、2007年及び2008年に第8世代向けガラス基板クレート式開梱包装装置・平置式開梱包装装置を開発するとともに、液晶パネル搬送装置の非接触化に対応して浮遊式コン

図6 液晶パネル向けガラス基板の巨大化



(出所) 旭硝子 (2003年) 「FPD ガラス事業概要」

ベア（エア噴出により基板を浮かし搬送）、外周チャッキング（基板の外周を挟み搬送）、フロートチャックハンド（基板表面に触れず、表面周辺の真空化により基板をハンドに吸着して製造ライン間を移動）等を開梱包装装置のツールとして生み出す。

三明機工はコーニング社に続き日本電気硝子、日本板硝子、日東電工（シャープの堺工場に協力企業として生産ラインを展開）から引合いを獲得し、顧客メーカーに対するガラス基板保護フィルム剥離システム、開梱包システム、非接触技術による自動搬送システムのシステム・インテグレーションを請け負って事業拡大に努めた。現在、同社の「デンスパック開梱・梱包システム」は台湾国内においてトップシェアを占め、日本国内では約20%のシェアを獲得することに成功している。引き続き同社は液晶パネルの第10世代移行に対応して大型基板の対応したガラス基板保護フィルム剥離装置、開梱包装装置、非接触技術による自動搬送装置をカスタマイズ開発し、生産システム・インテグレーションを展開しようとしている。

（参考） 三明機工の沿革

（自動車鋳物部品の時代）

- 1979年 軟質材の自動積載装置開発
- 1980年 新東工業（株）と熱風キュボラに関する技術提携
- 1981年 西独 VFG 社と分割送風キュボラに関する技術提携、イカ釣り機の製造開発
- 1984年 多目的スタッカー開発、ダクタイル鋳鉄用堰折機開発
- 1985年 NC スリッター開発
- 1986年 キュボラ用原材料全自動供給装置開発、旋盤用 NC ローダー開発
- 1987年 電気炉用合鉄自動供給装置開発、NC ポジショナー開発、直交型ロボット開発、オートシャー・オートカッター開発
- 1989年 設計用 CAD システム導入、アルミ建材用 NC ボーリングマシン開発

（自動車アルミニウム部品の時代）

- 1990年 新工場完成・別棟改装により生産体制拡充
 - 1992年 ロボットインテグレータ事業の強化
 - 1993年 ダイカストマシン周辺全自動システム開発
 - 1994年 ロボットによる溶接自動化ライン開発
 - 1995年 通産省 PL三次元応力負荷装置を開発納入
まぐろ延縄漁におけるドラッグ機能付巻揚機「パワーローラー」開発
 - 1996年 ロボットによるアルミ鋳造部品のタップネジ穴自動検査装置を開発。
 - 1997年 ダイカストマシン用離型剤塗布ロボット・システム開発
ファウンドリー部門強化
 - 1999年 注湯流接種装置開発
- (液晶パネルの時代)
- 2000年 液晶ガラス基板搬送システムの開発
 - 2001年 遠心鋳造設備を開発。
 - 2004年 液晶ガラス基板用フィルムリムーバー開発
省エネルギー真空補器i-ジョイント開発
 - 2005年 清地新工場完成
G7.5ガラス基板のクレート式梱包・平置式梱包装置の開発
 - 2006年 液晶モジュール点灯検査装置開発
液晶ガラス基板エア浮上搬送システム開発, ロボットアカデミー開設
 - 2007年 液晶セル基板開梱・梱包装置開発
G8ガラス基板クレート式開梱装置開発
 - 2008年 ロボットバリ取り分野を強化
G8ガラス基板平置式開梱装置開発

(出所) ヒアリング等に基づき筆者作成

4. 2010年代の三明機工の生産システム・インテグレーション事業

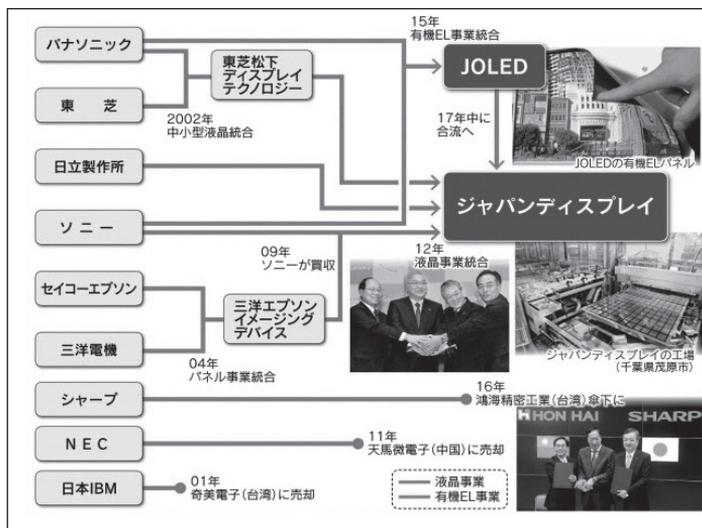
(1) 液晶製造関連生産システム・インテグレーション

2008年以降の10年間は日本の総合電機産業の大没落の歴史である。液晶

パネルのテレビ等に応用により FPD 製品を開拓してきたのは日本メーカーだったが、2000年代、総合電機メーカーの液晶パネル事業撤退が相次ぎ、残存部門がジャパンディスプレイに集約されたが、もはや液晶基板の大規模化に追随する余力はなく中小液晶パネルに特化することで存続している状況であり、最後まで液晶パネル・液晶テレビ部門で韓国メーカーとグローバル競争していたシャープも2008年リーマン危機後の超円高により競争力を喪失し、事実上の経営破綻により鴻海精密工業に2016年に買収された(図7参照)。2008年以降、国内では液晶パネル製造に関して生産システム・インテグレーション事業は成長を期待できない状況となり、国内・台湾に注力してきた三明機工も液晶パネル分野に関して新規構想が必要となった。

三明機工の液晶パネル関連事業で深い関係を有したコーニングは2006年

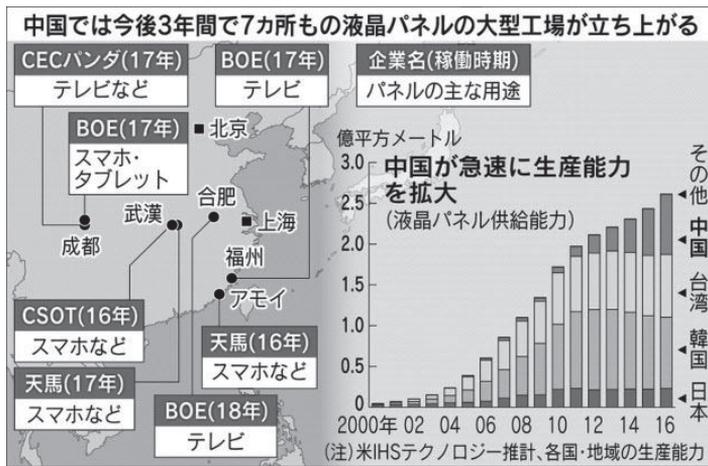
図7 日系ディスプレイ・メーカーの集約化



(出所) 経済産業省資料

に北京に液晶パネル向けガラス基板工場の建設を発表し2013年より操業開始しているが、中国政府の液晶パネル産業育成策により中国で大型液晶パネル工場が陸続と建設され、2017年には韓国を抜いて液晶パネル生産世界首位となることが予想される情勢下、第8.5世代向けガラス基板工場の重慶での建設を2015年に決定している。コーニングと同様の理由により、2015年以降、中国国内ではガラス基板の工場建設ラッシュが生じており、旭硝子が広東省惠州、日本電気硝子が江蘇省南京、中国 Irico（彩虹）が安

図8 中国液晶パネル生産の急成長



10世代以上の超大型パネル工場

	場 所	稼 働	月産能力
SDP	大阪府堺	09年Q3	10.8万枚
BOE	中国合肥	18年Q1	12.0万枚
CSOT	中国深圳	19年Q1	7.0万枚
LGD	韓国坡洲	19年Q1	4.5万枚
SDP	中国広州	19年Q3	3.0万枚
SDC	韓国牙山	19年	未 定

(出所) 経済産業省資料

安徽省合肥でガラス基板プロジェクトをスタートしたが、三明機工にとりコーニング、日本電気硝子等のガラス基板工場プロジェクトに参画できるかが、今後の液晶パネル製造に関連する生産システム・インテグレーション事業の鍵となると考えられる。

(2) 自動車製造関連生産システム・インテグレーション

液晶パネルの国内メーカーの衰退により、三明機工は2010年代以降液晶パネル製造に関して海外展開を構想せざるを得なくなったが、国内自動車メーカーの中国生産等の本格化と国内生産台数引下げも、三明機工をして中国・東南アジアでの事業展開の本格化を必然化した。

① タイでの事業展開

三明機工は1990年代に自動車部品のアルミニウム化に対応してダイカストマシン周辺全自動システム、溶接自動化ライン、離型剤塗布ロボット・システム、注湯流接種装置を開発しシステム・インテグレーションするとともに、製品自動冷却コンベア、ロボット式バリ取り装置、ショットプラスチック・ワーク搬入出自動化装置等を開発し後工程にも事業範囲を拡張していたが、1995年以降本格化した国内自動車メーカーの海外生産に対応して海外工場でアルミニウム部品製造のシステム・インテグレーションを引き受けるようになる。

当然ながら生産ラインの据付け・試運転で業務は完了するわけではなく、生産ライン納入後も故障・不具合対応やライン改善などのアフターサービスが求められる。このため三明機工は2012年6月にタイに現地法人サンメイ・メカニカル・タイランド (SANMEI MECHANICAL THAILAND) を設立 (2011年に現地離型剤メーカーのエクスタアジア社と合弁設立したエクスタ・サンメイ・メカニカル社を基盤)、タイ向け生産システムは日本で設計した上で、タイの協力工場に部品加工を依頼、三明機工のタイ工場を組み立てて

検査をした上で納品し、アフターサービスにも当たる体制を構築する。

タイでは、2012年4月に最低賃金が40%引き上げられるなど近年人件費が高騰しており、日系・非日系を問わず工場の自動化への機運が高まっているが、三明機工は日系自動車メーカー及び自動車部品メーカーが集積するタイのFA化にビジネス・チャンスを見出しており、2012年の現地法人・工場建設を機としてホンダから二輪車工場のエンジン・プラントや大型ダイカストマシン周辺の全自動ラインを受注するのに成功した（2011年にホンダのインド二輪工場のダイカストマシンの周辺自動化を引き受け）。FA化には自動制御システムのプログラミングができる人材が必要であるが、三明機工はタイ工業省と連携して、アマタナコン工業団地の職業訓練校にロボットアカデミーを2013年開校し人材育成に当たっている。

② 中国での事業展開

三明機工は奇美電子等台湾メーカーとのビジネスにおいて契約履行上トラブルを経験したことから中国ビジネスには慎重であり、日系メーカーとの取引をメインとした海外展開を構想しているが、中国自動車産業の成長は同社にとってもビジネス・チャンスであることは否定できない。

2009年に株式会社三明が三明電子産業及び安川電機製品を日系メーカー及び地場メーカーに販売するため上海に山銘機電貿易有限公司（Siam Sanmei Co.Ltd）を設立していたが、三明機工は同社を拠点として2011～13年にかけて自動車部品製造の生産システム・インテグレーション事業の可能性について現地調査を行い、2015年6月に中国の上海亜徳林有色金属¹⁸⁾

18) 日刊工業新聞2015年6月10日付記事では「上海亜得有色金属」とあるが社名誤記か。上海亜徳林有色金属は1994年に合金アルミ錠、アルミダイカスト部品メーカーとして設立、主に電子・電気機器のアルミニウム部品を製造してきたが、2000年代後半以降成長著しい自動車生産に着眼して自動車部品製造への事業進出を図り、2012年に9,000万ドルを投じ自動車部品メーカーの亜徳林（蘇州）を江蘇省鳳凰新技術産業開発区に設立。現在の主力製品は自動

からアルミニウムダイカスト部品製造向け自動化設備を2ライン受注するのに成功する(受注額約2億円)。これは三明機工にとり中国企業からの最初の直接受注であり、上海亜徳林有色金属が蘇州に建設する新工場に月内完成に合わせて生産ラインを納入した。

三明機工では、上海亜徳林有色金属からのダイカストマシン周辺自動化設備の受注を契機として2015年10月を目途に中国現地法人(資本金約3,000万円)を上海に設立し3年後には中国国内での年間5億円の売上を目指していたが、上海亜徳林有色金属との間で契約変更など想定しない事態が発生しプロジェクトが赤字に陥る。また、中国自動車部品メーカーには鋳物・アルミニウムを問わず先進国メーカーの容認する水準のシリンダーブロックを製造できる社が存在せず、中国自動車メーカーも自動車部品を日系部品メーカーに依存している状況を目の当たりにしたため、三明機工は改めて中国ビジネスを再考することとし、一時的に上海現地法人設立は延期されている。

三明機工に限らず、中国における生産システム・インテグレーション・ビジネスは容易なものでなく、三菱商事テクノス、三井物産マシンテック等からも適正対価の設定の困難さ(地場メーカーの購買力見合い)、契約内容の事後変更の可能性が指摘されているが、三明機工としては中国市場の可能性については引き続き期待しつつも、当座の事業展開としては日系メーカーを中心とした手堅いものに路線変更したと考えられる(日系自動車メ

車のサスペンション(懸架装置)部品でありMercedes-Benz, BMW, Volkswagen, GM等に納品しているが、今後5年以内に上海交通大学との共同研究によりエンジンのシリンダー、ギアボックス筐体、構造部品の本格的製造を計画する。既にスイス・ビューラー社製のダイカストマシン、DMG森精機の5軸マシニングマシン、三明機工の産業ロボットを導入しているが、今後2~3年で量産体制構築、製品の品質安定化及びコスト競争力強化のため1,500万ドルを投じて工場自動化とAI化を行う予定。

ーカーは2015年以降中国生産を強化しており、三明機工の日系メーカーを中心とした顧客開拓路線は取り敢えず「追い風」が吹いている。

(3) 新規事業分野の開拓

現在の収益の柱である液晶パネル製造、自動車部品製造に加えて、将来的に成長を期待できる製造部門または生産分野で生産システム・インテグレーションの余地はないか、新たな収益の柱を見出すことが三明機工の最大の課題の一つである。

① バラ積みピッキング

バラ積みピッキングは、乱雑に積まれたワークをコンテナからコンベヤに移す単純作業であるが、多様なワークを一つのシステムで対応することが難しく、人手に頼らざるを得ず自動化が進んでいない。ファナック等は2010年代以降バラ積みピッキング用ロボットの開発に取り組んできたが、従来のカメラによる画像処理では、平面的に整列された部品の位置と向きを取得は可能であるが、バラ積みされた部品の三次元位置姿勢の認識は困難であり、センサが外乱光に弱いなどの問題を克服できずにいた。

2011年にIHIがレーザーセンサを用いたバラ積みピッキング用ロボットを開発し、①外乱光や部品の色の影響を受けない計測を可能化、②エッジがはっきりしない部品や重なりのある部品でも三次元位置姿勢の認識を可能化、③把持可能な部品を選択しピッキング可能化、④衝突しても再計測して動作を継続可能化し、バラ積みピッキング・システムを市場化する。ファナックも独自にレーザーセンサを用いたバラ積み部品の三次元認識手法を独自に開発し、2013年にバラ積みピッキングに対応可能なロボットを開発する。

ファナックのバラ積みピッキング・システムは、複数指のハンドにより把持力約6kg、幅90mmの範囲でワークをつかめるだけでなく（従来の吸

着ハンドやチャックに比べて多様なワークの把持可能)、ワーク形状の事前教示が不要であるため作業効率が良く、ロボット活用ノウハウが乏しい現場でも導入しやすいものだった¹⁹⁾。生産工程のうちピッキングは最も自動化が遅れた分野だったが、こうしたバラ積みピッキング・システムの開発動向を踏まえて、三明機工は自動化工程の前工程であるピッキングの自動化を新たなビジネス分野としようとしている。

三明機工は、ファナックの開発したワークの事前個別教示(プログラミング)不要なシステムを独自に開発するべく、東京大学発ベンチャー企業のMUJINに対して、事前プログラミング不要のバラ積みピッキング用コントローラ(Pick Worker)²⁰⁾の開発を委託。2016年9月、三明機工は、MUJINの開発したコントローラと産業用ロボットとコントローラを組み合わせ、ランダムに積まれたワークを3次元(3Dカメラ)で認識し、その情報を元にロボットが取り出し整列させる「バラ積みピッキング・ロボット・システム」を製品化(図9参照)、自動車・食品産業をターゲットとしてシステム・インテグレーション事業を立ち上げた²¹⁾。

② アルミダイカスト製造の二次加工工程におけるバリ取りの省力化

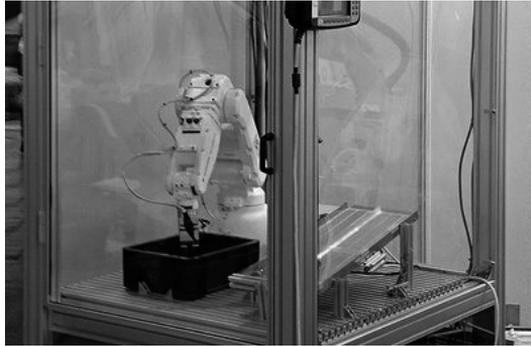
現在、電気自動車化は自動車部品・素材を一変させてしまい、レシプロ・エンジンを駆動力とするガソリン自動車に最適化された自動車関連企業のエコ・システムが崩壊するのではないかが懸念されている。この点、

19) 現在、ファナックはPreferred Networksと提携して、深層学習技術の応用により乱雑に積まれた物から選択して物を取り出すシステムの開発を進めている。

20) ユーザーはPick Workerを使用することで、ペンダント上でロボットの動作環境を作成でき、ワークの把持可能箇所、搬送位置、姿勢を登録するだけで済むため、3週間程度でバラ積みピッキング・システムの立上げが可能となる見込み。

21) 日刊工業新聞「三明機工、MUJINと提携—教示不要のピッキングロボ投入」(2016年10月2日付)。

図9 バラ積みピッキング・ロボット・システム



（出所） 三明機工資料

三明機工は自動車部品として鋳物・アルミニウム部品の需要が激減するとは考えておらず、仮に電気自動車化が想定よりも早く進行したとしても、アルミニウム部品は却って軽量化の観点から需要が高まると見ており、自社の自動車関連生産システム・インテグレーションのニーズは堅調であると予想する。

これまで三明機工は、アルミダイカストマシンの周辺全自動化からアルミダイカスト製品の後工程（二次工程）の自動化にシステム・インテグレーションの対象を拡大してきた。アルミダイカスト製品のバリ取りはショットブラスト、サンドブラスト、バレル研磨等の方式・専用装置が開発されてきたが²²⁾、製品形状等により変形・バリ残りが避けられず、作業員が

22) バリ取りに関しては、ショットブラスト（モータ等に付けた羽でショットビーズ（金属等の粒）を飛ばし、製品に衝突させてバリを削り取る方式で、製品形状により変形・バリ残りに注意が必要）、サンドブラスト（圧縮空気に研磨材（アルミ・亜鉛の粒）を混ぜて製品に衝突させてバリを削り取る方式で、製品形状により変形やバリ残りに注意が必要）、バレル研磨（砥粒と製品を同一容器に入れて容器を回転・振動させて、砥粒と製品を衝突させバリを削り取る方式で、回転バレル・遠心バレル・振動バレル等があるが、製

ヤスリ、リユータ、ワイヤーブラシ、ベルダー等によりバリを削り取る作業をゼロとすることができないでいる。アルミダイカスト製造は鋳物と同様に労働環境が劣悪であり給与水準も高くないことから、人手不足がますます深刻化することが想定されており、作業負担の軽減が求められている。

三明機工はデンソー、アピュアン（愛知県豊田市の従業員3名の大型微反動エアハンマー製造会社）と提携して、2016年に騒音・振動が少なく作業者負担を軽減したバリ取りロボットを開発、「マルチトリミングロボットシステム」として鋳造・ダイカスト業界向け販売をスタートした。同システムは、デンソーのアームロボットにアピュアンの微反動エア工具を搭載し、三明機工が加工物をクランプする治具を顧客ニーズに応じて作成するものであり、三明機工では、顧客の生産現場に最適に調整した上で後工程ラインに組み付けることとしている。現在、作業員が重いハンマーを使い、手作業でバリ取りを行っていることが多いが、微反動エア工具では振動・騒音が抑えられ、重量7kgのため小型ロボットに取り付け可能であり、作業員負担は大幅に軽減されるにもかかわらず、打撃力が300kgあるため鋳造部品のバリ取りも高精度で行える装置である。

なお、生産システム・インテグレータは顧客メーカーの生産システムをアフターサービスとしてメンテナンスしなければならないため、内外に工場・営業所を設立できる大規模企業でない限り、地元密着型のビジネスを行わざるを得ない。システム・インテグレータが事業拡大するには、かかる限界を打破しなければならないが、現在のIoTは生産ラインの遠隔監視を可能とするものであり、故障・不具合に対して迅速な対応が可能となる

品形状により変形・打痕・バリ残りに注意が必要)等の装置が開発されてきた。なお、プレスカット装置は製品外周のバリをせん断するが、0.1mm以下のバリでは倒れ込んでしまい、せん断が困難である。

（機械・設備の状況をチェックすることで予防保全できれば、インテグレータと顧客はますます幸い）。PLC メーカーの三菱電機，オムロン，ロックウェル等から通信規格の詳細を開示してもらい，三明機工のインテグレートする生産ラインについては全機械・装置を中央制御できるようにしており，将来は遠隔監視も可能と見ている。

5. ま と め

三明機工は「機械技術，電機技術，ロボット技術を駆使して製造ラインの自動化を推進する」インテグレーション能力を強みとして，アルミダイカスト製造ライン，鋳造プラント等のインテグレーションを行っているが，本来，システム・インテグレーションを業としていたわけではなく，機械商社として生産設備を販売する過程で，顧客の求めに応じて生産設備の据付け・試運転・不具合対応等を行うために機電両面のエンジニアリング力を習得し，安川電機の産業メカトロニクス製品を取り扱う過程で機電能力を高度化させる形で生産システム・インテグレーション能力の蓄積形成を開始した。

生産システム・インテグレータは，顧客の製造課題をコンサルテーションして生産ラインを企画設計し，生産ライン構築に必要な工作機械・産業機械・搬送装置・周辺装置等を一括調達，自社工場にて生産ラインを仮組立して稼働・性能検査した上で，顧客工場で機械・装置を設置し生産ラインを構築，改めて稼働・性能検査を行った上でフル・ターンキー納入する事業者である。生産ラインはメーカーの競争力を左右し，基本的にメーカー自身により内製されるものであることから，生産システム・インテグレータは製造事業者に由来するか否かを問わず製造事業に関する知識・ノウハウが要求される。

三明機工も，ロボット等の据付け・試運転・不具合対応等もこなす機械

商社から本格的な生産システム・インテグレータに脱皮するには、製造事業に関する知識・ノウハウの獲得が必要だった。ここでブレークスルーとなったのは、同社が地場産業界の要請を受けて救済合併した合板メーカーの工場を遊ばせないため1970年代に自動車の内装材製造事業に進出したことだった。板金加工した内装材を日産・スズキ・ホンダ等に納入する自動車部品ビジネスに取り組みつつ、国内製造ニーズが少品種大量生産から多品種少量生産にシフトして行く中で製造事業者に要求される製造課題とそれに応えるための生産ラインの在り方を「製造企業」として自ら学習することで、三明機工は本格的な生産システム・インテグレータの能力を形成していく。

そして、製造部門にも進出した三明機工が製造事業も営む機械商社から生産システム・インテグレータに転じたのは1980年代であり、同時期、安川電機が物体の位置・方位・姿勢等を制御するサーボ機構等から産業ロボットの製造に事業シフトし、総合電機・自動車メーカーに主導されたFA化の波に乗って飛躍するのを目撃した三明は、工場FA化にビジネス・チャンスを見出す。同社は自動車の内装材生産をしていたことから、自動車の鋳物部品製造のFA化を事業対象に選択し、まずは鋳物製造のFA化に欠かせない基幹機械・装置の自主開発・製造に取り組み、顧客の鋳物部品生産ラインの一部を構成する（に過ぎない）自社製機械・装置を中核とした生産システムのインテグレーションからスタートして、次いで、顧客の生産ラインにおいて自社がインテグレーション・サービスを提供し得る範囲を拡大して行き、段階的に生産ライン全体に係るシステム・インテグレーション能力を蓄積し、本格的なライン・ビルダー成りを果たした。

その後、同社は1990年代に自動車部品のアルミ化に対応してアルミダイカスト製造に生産システム・インテグレーションの対象を拡げ（鋳物製造のシステム・インテグレーション能力とノウハウを転用）、2000年代には鋳物・

アルミダイカスト製造で培った搬送システム構築能力を活かして液晶パネル製造にも事業対象を拡大した。三明機工の液晶パネル製造分野での飛躍は、世界ガラス基板市場で圧倒的シェアを誇る米国コーニング社が当時アジア最大の液晶ディスプレイ用ガラス基板工場を静岡県に建設・稼動中であり、静岡県掛川市に存在した日本本社が三明機工の自動車部品生産の自動搬送システムに注目していた幸運によるものであり、三明機工は、コーニング社が台湾・奇美電子向け大型ガラス基板生産のために必要とする次世代ガラス基板搬送システムの開発を請け負い、見事成功させることで、液晶パネル分野でのシステム・インテグレータの地位を確立している。

現在、人手不足と生産性向上のために「ロボット革命」が世界的にも叫ばれ、生産ラインへのロボット・システム導入の動きが生産システム・インテグレータにとり「追い風」となっている。従来、FAシステム、ロボット・システム導入に慎重だった中堅・中小メーカーが自動化投資に取り組むようになり、自動化の遅れた食品・医薬品・化粧品（所謂「三品産業」）メーカーにおいても、自動化不可能とされてきた工程・作業のオートメーション化がAI活用等により可能となりつつあることから、インテグレーション分野の拡大によっても生産システム・インテグレータ業界は活況化しつつある。しかしながら、国内の液晶パネルの衰退により、生産システム・インテグレータは2010年代以降液晶パネル製造に関して海外展開を構想せざるを得なくなっており、日系自動車メーカーの中国生産等の本格化と国内生産台数引下げも中国・東南アジアでの事業展開の本格化を必然化するなど、産業構造転換による国内インテグレーション需要の縮小は深刻である。一時的に「ロボット革命」ブームで市況が活性化しても、中堅・中小メーカーや三品産業でのシステム導入が一巡してしまえば、改めて国内需要問題を直視せざるを得なくなろう。

このため三明機工が2010年代以降取り組んでいるように、中国・東南ア

アジア展開による海外インテグレーション市場参入、液晶パネル製造・自動車部品製造に並ぶ新規インテグレーション産業分野の創出、バラ積みピッキングなど技術開発による自動化の新たな可能性の開拓が課題となっている。ただし、平田機工のようにグローバル・ライン・ビルダーとしても名声を確立し、自動車・半導体（液晶パネル）製造に関して工場全体又は重要ラインの建設を引き受ける能力を獲得している企業は限られ、生産システム・インテグレータの多くはロボット・メーカーの協力企業として系列化された小規模企業であることから、グローバル展開、新規インテグレーション産業分野の開拓、技術開発による自動化領域の拡張は決して容易な業ではない。三明機工も三明機工単独では課題すべてに対応することは困難であるが、三明商事・三明機工・三明電子産業の三明グループが一体で協働することにより経営資源を補完し合い、問題に当たろうとしている。

すなわち、三明は機械商社としてスタートした後、イカ釣り機・自動車内装材の製造事業に乗り出し機電技術を蓄積したが、元来の生産財を取り扱う機械商社の延長として、鋳物生産のFA化に取り組む過程で生産ラインのシステム・インテグレーション事業を本格化させ、それを受けて1984年に三明は三明商事（機械商社）・三明機工（生産ラインのシステム・インテグレーション）・三明電子産業（イカ釣り機、NC装置・サーボ機構）にグループ再編を行い、3社が各事業部門を専任することで効率的な経営を追求しつつ、製造業のFA化ニーズに協同して対応して行く体制が採られた。この三社体制がインテグレーションを巡る環境変化への対応にも活かされている。

第一に、中国・東南アジア等の海外展開に関しては、顧客開拓がインテグレータにとりネックであり、地場顧客メーカーとの契約締結、インテグレーション過程でのコミュニケーション、アフターサービスなど、国内インテグレーション案件では商社がプロジェクトのゼネコンとして対処して

くれる機能をインテグレータが果たさなくてはならないことも難題である。この点、三明グループでは、機械商社の三明商事が商社機能を発揮してインテグレータの三明機工を補完することが可能であり、榎本（2019）において、商社をゼネコンとするプロジェクトの下請インテグレータの地位を脱却して独立インテグレータ化を目指す高丸工業が商社のプロジェクト・マネジメント機能の補完に苦しみ独立インテグレータ化を達成できていない状況を分析したが、三明機工は小規模企業ながら三明商事の商社機能の活用が可能となっている。

第二に、バラ積みピッキングなど技術開発による自動化の新たな可能性の開拓についても、三明機工は三明電子産業と協働することにより限られた技術開発関連の経営資源を集中し、グループに蓄積された機電技術で問題解決を図ろうとしている。もっとも三明機工は中小メーカー他社と同様に新規大学卒業の技術者の採用を難しく感じており、IHI、ファナック等によるバラ積みピッキング・ロボット開発動向を見極めつつ、バラ積みピッキング・システムのインテグレーションに必要な設備・機器の開発に「選択と集中」を行い、経営資源の有効活用を図ろうとしている。また、バラ積みピッキング・システムでは東京大学発のベンチャー企業であるMUJINへのコントローラ開発委託、アルミダイカスト製造の第二次加工工程におけるバリ取り省力化ではDENSO等との提携など外部資源による経営資源補完にも取り組んでいる。

久保田社長は「ベンチャーの創業しやすい環境としては米国、欧州、日本の序列ではないかと考えられるが、ドイツのように製造基盤が根強く存続していてベンチャーの創業しやすい環境の方が日本と比べて生産システム・インテグレータは多い」とした上で、「生産システム・インテグレータの強みは、生産システムを構想・設計し、構想・設計に最適化されたロボット・機械・設備を自社製造又は調達して、システムとして『まとめる

力』にあり、欧米・日本を問わず、インテグレータはエンジニアの創業したベンチャー会社が多い」とするが、ベンチャー・インテグレータが本格的なインテグレータとして成長し、自ら新規事業分野、新規自動化ニーズを開拓していくには、如何に経営資源を獲得補完するかが鍵となる。インテグレータには、商社、専用機械メーカー、自動車部品等一般メーカーに由来するもの、創業時からライン・ビルドを本業とするものに類別できるとしたが、いずれにしてもインテグレータが現在直面する国内インテグレーション需要縮小に伴うグローバル展開や新規分野開拓に取り組む上で経営資源補完獲得が問題となっており、三明機工の場合はグループ企業間の協働をベースとして外部企業との提携による補完が目指されている。

参考文献

- 今枝昌宏（2006）「製造業のサービス化とサービスマネジメントへの2つのアプローチ」『一橋ビジネスレビュー』54巻2号、36-50頁
- 榎本俊一（2018）「生産システム・インテグレーションとライン・ビルダー—第4次産業革命の一翼を担う存在たり得るか—」『中央大学商学論纂』第60巻1・2号
- 榎本俊一（2019）「独立システム・インテグレータを目指して—ある小企業の挑戦 高丸工業—」『中央大学商学論纂』第60巻5・6号
- 太田雅晴（2009）『生産情報システム（第2版）』日科技連出版社
- 企業活力研究所（2016）『IoTがもたらす我が国製造業の変容と今後の対応に関する調査研究報告書』企業活力研究所
- 北原洋明（2004）『新液晶産業論：大型化から多様化への転換』工業調査会
- 近畿経済産業局編（2017）『ロボットシステムインテグレータ集』
- 久保田和雄（2015）「ロボット革命実現に向けて国内 Sier の現状」（日本学術会議 機械工学委員会ロボット学分会主催公開シンポジウム「ロボット革命実現に向けて」）
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2014）『NEDO ロボット白書2014』
- 瀬川友史（2015）「ロボットエンジニアリングの海外動向」日本ロボット学会『日本ロボット学友誌』Vol. 33 No. 5, 306-309頁
- 中村実、正田耕一編（2000）『MES 入門：ERP、SCM の世界と生産現場を結ぶ情

- 報システム：製造業の情報化と経営改善のキーテクノロジー』工業調査会
日刊工業新聞2015年6月10日付
日刊工業新聞2016年10月2日付
日経BP社『日経ビジネス（1982年12月13日号）』
日経BP社『日経ビジネス（2017年3月6日号）』
日本機械学会編（2005）『生産システム工学』丸善
日本機械学会編（2008）『メカトロニクス・ロボティクス』丸善
日本鑄造工学会編（2002）『鑄造工学便覧』丸善
日本能率協会編（1983）『FA生産システム設計法』日本能率協会
日本半導体装置製造協会編（2007）『液晶ディスプレイ製造装置用語辞典』日刊工業新聞社
ロボット革命イニシアティブ協議会（2016）「スマートマニュファクチュアリング
の実践 ケース：工作機械を核とする加工プロセスの生産性向上
〔 三明機工の他、平田機工、日本設計工業、旭興産、近藤製作所、高丸工業、泉
谷機械工業、ヒロテック、バイナス、IDECファクトリーソリューションズ、
ジェイテクト、MUJIN、ダイドー等ライン・ビルダー各社のホームページ掲
載の事業資料・技術資料等を参照した。 〕