

半導体産業におけるサプライチェーンの再編成

Reorganizing the Global Supply Chain in the Semiconductor Industry

(2022年3月31日受理)

宋 娘 沃

Nang ok Song

Key words : サプライチェーン, スーパーサイクル, 車載半導体, 輸出規制, 国内誘致, 製造装置

要 旨

現在, 世界的に起こっているグローバルサプライチェーンの混乱の中, 半導体の供給不足状態が続いている。半導体はあらゆる産業分野において用途が増えており, その中でもICT産業のスマートフォン, ゲーム機, パソコンの需要が増加している。また, 電気自動車, 自動運転などの車載半導体の需要が逼迫し, 世界の主要自動車企業は減産に踏み切るところまできている。半導体不足の最も大きな要因は, 膨大に膨らむ半導体の需要に対して半導体製造企業の供給が追い付いていけない状態が続いていることにある。もう1つは, 米中のハイテク摩擦による主導権争いでアメリカが中国に半導体関連制裁を加えていることであり, これが半導体産業の構図を一変させている。

こうした半導体産業の構造的な変化に加えて, 各国の政府や半導体企業は新しい試みや対策で半導体の供給不足を解決しようとしている。もっとも大きな試みは海外の半導体企業の製造工程を自国の中に誘致するか, あるいは既存の半導体工場の増設に乗り出すかである。莫大な設備投資を投じ, 半導体工場建設や研究開発に拍車をかけている点である。そのために, 各国政府は半導体支援法を制定し, 巨額の補助金を出して対策に乗り出している。半導体産業のグローバルサプライチェーンの混乱下でアメリカ, 台湾, 韓国, 日本の半導体企業は競争優位を獲得するため, 新たな戦略と構造転換を図っている。各国にとって未来の技術競争力を左右するのはまさに半導体であり, それを安定的に供給する新たなサプライチェーン体制を再構築することが必要不可欠になっている。

はじめに

世界の半導体産業では熾烈な国際競争が繰り広げられている。現在, 半導体産業では米中ハイテク摩擦による争い, 世界的な半導体のサプライチェーンの混乱, コロナ禍による不確実性が続いており, 新たな動きが現れている。その1つは, 2010年半ば以降の第4次産業革命におけるAI (Artificial Intelligence: 人工知能), IoT (Internet of Things: モノのインターネット), ビッグデータ, 3D, ロボット, ドローンなどが半導体の需要を急拡大している点である。その中で, データセンターの

増設によるメモリーの需要, 自動車産業における電気自動車, 自動運転の車載半導体の新たな需要が急拡大している。

2つ目は, 半導体産業を取り巻く企業の開発と製造に関するビジネスモデルの動きである。これまではアメリカの半導体産業は設計に強みを持っているファブレス (工場を持たない設計企業) に特化し, MPUで世界首位のインテルが20年以上半導体の競争優位を維持してきた。台湾の場合, 半導体製造であるファウンドリー (受託生産) 部門に特化し, 全世界半導体製造の55%を担う世界首位のTSMC (台湾積体電路) の存在が著しくなっ

いる。韓国の半導体産業はDRAM, NAND型フラッシュメモリー半導体に特化し、垂直統合で世界首位になっている。こうした棲み分け的な各国の半導体産業では開発と製造をそれぞれの企業が担っていた水平分業モデルを変えようとする動きが鮮明になってきている。

本稿の課題は、半導体産業のサプライチェーン体制の性格がどのように変化してきているのかを明らかにすることである。まず、現在の半導体産業のビジネスモデルを把握し、半導体の供給不足を招いた要因を検討する。さらに、半導体のサプライチェーンに関する各国の対応策と再編成を明らかにすることである。

1. 半導体産業のビジネスモデル

半導体産業の国際競争は1980年代から1990年代初頭にかけては主に米・日の寡占構造であったが、90年代半ば以降韓国と台湾半導体産業が、新たな国際競争に加わって今日に至っている。今はアメリカに次いで韓国、台湾の半導体企業の競争力は際立っている。

まず、世界半導体産業の売上高の推移を表1で見ると、上位10位の中にアメリカ企業が6～7社、韓国企業が2社、日本企業、台湾企業はそれぞれ1社がランクインしており、アメリカ企業の競争力が圧倒している。ところがアメリカはランクを下げるか現状維持で競争力を低下

させている。これに対して韓国企業は上位を維持し、台湾企業も浮上していることが読み取れる。これまで首位であったインテルを抜いて三星電子が2017年に1位になって以来、2021年再び首位となっている。三星電子は2020年比31.6%の増収は半導体メモリーの出荷量の増加によるものである。3位の韓国のSKハイニックスも2013年からDRAMとNAND型フラッシュメモリーで世界5位の中に位置し、競争力を維持している。韓国の2社がメモリー半導体の世界シェアにおいて寡占構造を形成している。

日本の半導体企業は1988年には世界シェアの50%以上を占めていたが、90年代末から低迷が続き、現在の世界シェアの約15%まで衰退している。しかしながら、日本の半導体産業は製造装置分野と材料分野では5割以上のシェアを持っており、競争優位を保っている¹。日本の場合、東芝から分社化したキオクシアホールディングスがメモリー半導体の世界競争に参加し、マイコンとSoCに特化しているルネサスエレクトロニクスは車載半導体分野で競争力を維持している。

韓国半導体産業は2013年以降輸出比重の10%を超え、2016年12.6%、2018年20.9%、2020年19.3%を占め、製造業総生産額の約10%、2019年基準GDP比重の約8%を担当し、韓国経済の成長を担うリーディング産業になっている²。

韓国半導体産業の担い手は財閥であり、半導体事業を

表1 世界半導体企業のランキング推移

順位	2020年	売上高 (億ドル)	2021年	売上高 (億ドル)	増収率 (%)	2020年比
1	インテル (米)	727	三星電子	759	31.6	↑
2	三星電子 (韓)	577	インテル	731	0.5	↓
3	SKハイニックス (韓)	258	SKハイニックス	363	40.5	→
4	マイクロン・テクノロジー (米)	220	マイクロン・テクノロジー	284	29.1	→
5	クアルコム (米)	176	クアルコム	268	52.3	→
6	ブロードコム (米)	157	ブロードコム	187	19.0	→
7	テキサス・インスツルメンツ (米)	136	メディアテック	174	58.8	↑
8	メディアテック (台)	110	テキサス・インスツルメンツ	169	24.1	↓
9	キオクシアホールディングス(日)	na	エヌビディア	162	52.7	↑
10	エヌビディア (米)	106	AMD	158	64.4	↑

注：2020年の売上高は2021年の増収率から計算。

出所：『日本経済新聞』2021年2月6日、2022年1月20日より作成。

担当している三星電子、SKハイニックスは垂直統合企業であると同時に財閥グループ内の家電部門、通信部門で大量生産の利点を活かした典型的な一貫生産体制を行っている巨大企業である³。

さて、ここで現在半導体産業における半導体のビジネスモデルと半導体技術の微細化への対応を見てみよう。

まず1つは、半導体の生産構造に関することである。半導体産業で競争力を持つアメリカを含む半導体企業の半導体生産に関するグローバルな国際分業の動きである。半導体の生産は1990年代以降これまでの垂直統合モデル（IDM）と、開発と生産の分離を進めていく水平分業モデルが両立して行なわれている。垂直統合モデルとは、半導体の設計から検査までの全工程を1社ですべて賄うことである。水平分業モデルとは、半導体の工程を部門ごとに特化した企業が担うことである。半導体の設計はアメリカや台湾のファブレス企業が担当し、設計した半導体は製造だけを担うファウンドリー企業が担当し、後工程はパッケージ・テストだけを担う企業が担当するビジネスモデルのことである⁴。こうした半導体生産は垂直統合モデルと水平分業モデルが並存し、それぞれに強みを持っている分野で半導体企業が競争している。しかし、こうした水平分業モデルでは、今日の世界的な半導体不足を解消できないことが鮮明になってきたのである。

2つ目は、半導体生産における微細化の限界が次世代半導体あるいは先端半導体の技術開発や新素材の開発に

拍車をかけている点である。既存の半導体は性能向上に限界が来ているという微細化の物理的限界がみえてきたのである。半導体の製造において半導体の性能は18か月から2年で2倍なるという「ムーアの法則」がこれまでに約50年間貫徹し、機器の小型化、低電力化、高密度化で性能向上を維持してきたのである⁵。

表2は、主要半導体企業の先端半導体の開発競争を表したものである。半導体大手メーカーである三星電子やTSMCは回路線幅の5ナノ（ナノは10億分の1）品の先端半導体を量産しているが、インテルは三星電子やTSMCに遅れて回路線幅の7ナノの先端半導体の開発段階であり、現在回路線幅10ナノをパソコン向けCPUに使用している。インテルはこれまで世界半導体産業のフロントランナーとして、設計と生産の両軸で成長を続けてきたが、ここにきて技術的遅れがみえ始めている。インテルは先端半導体の回路線幅の7ナノは量産に遅れて2022年末に量産体制に入る状況である。

現在の三星電子とTSMCが先端半導体の5ナノ品は量産に入り、スマートフォンやデータセンターの高性能を支えている。両社は2ナノ品を2024年に計画している。2ナノ以下の量産にはオランダのASMLホールディングス（以下ASML）の次世代EUV（極端紫外線）が欠かせないので、各国の半導体企業はASMLと共同開発の推進や企業間関係を構築している⁶。半導体の飛躍的な性能向上にはこうしたナノメートル級先端半導体の支えがあり、主要半導体企業は先端半導体の開発に力を注いでいる。

表2 主要半導体企業の先端半導体の開発競争

	台湾 TSMC	韓国 三星電子	米国 インテル	中国 SMIC
回路線幅				19年量産
14ナノメートル				
10ナノ			2019年量産	18年から米国の制裁
7ナノ	2018年量産	2019年量産	生産遅延 2022年末 量産予定	
5ナノ	2020春量産	2020年秋以降量産		
3ナノ	2021年試作品生産	2022年量産開始		
2ナノ	2024年量産開始	2024年量産開始		

出所：『日本経済新聞』2021年1月28日、『毎日経済新聞』2022年7月2日より作成。

2. 半導体不足の要因と影響

半導体不足が起こった背景には、いくつかの要因がある。要因の1つは、米中のハイテク分野での通商上の対立である。アメリカの先端技術を取り込んで国産化を進める中国への警戒感は強く、2019年5月、アメリカのトランプ前政権下の商務省は中国のファーウェイを含む半導体企業に対して輸出規制を実施したことである。規制の内容は、「米国製部品を25%以上使用した場合」は輸出を禁じるというものである。その後これは「製品開発などでアメリカのソフトウェアが使われた場合」に変わり、アメリカの中国への規制が厳しさを増していることを意味している。半導体の回路設計に使うソフトウェアの大半をアメリカが独占している⁷。

半導体の供給不足が本格化したのは2020年半ば以降で、米国政府はファーウェイの5G製品を国家安全保障に対する脅威として位置づけており、ファーウェイへの制裁を一段と加速化させたことである。こうして2020年には、米国は米国製の製造装置で作られた半導体をファーウェイが供給することを制限したのである。この制限によってファーウェイのスマートフォン事業の売上高は大幅に減少し、中国国内の競合のスマートフォン企業の半導体需要が一気に増加することになっている。

2つ目は、2010年半ば以降、第4次産業革命のうねりがあらゆる産業分野において半導体需要を増加させ、中でもICT産業、電気自動車（EV）、自動運転に搭載する半導体の需要を一層拡大させている点である。また、近年一般的な消費者のモバイル機器の需要も増加しており、デジタルトランスフォーメーションによる企業の半導体需要が急速に増加したことも要因になっている。サーバー、スマートフォン、パソコン、テレビを含む家電製品、自動車、産業機械向けなどに半導体部品の需給のアンバランスが続いており、産業界全体に半導体供給不足が及んでいる。

「スーパーサイクル」(Super cycle)の動きが半導体の需要の爆発的増大に拍車をかけている。半導体産業は需給における半導体固有の「シリコンサイクル」という流れがある。シリコンサイクルとは、半導体産業特有の3～5年周期で訪れる好不況の波のことで、市場が改善と悪化を周期的に繰り返すのである。特に汎用品のメモ

リーの場合、供給不足になると半導体メーカーは一斉に設備投資を進めるため供給増加になり、設備投資が頂点になる時は半導体供給過剰になり、価格変動が大きくなって、値崩れしてしまうのである⁸。近年はAI、IoT、ビッグデータといった新しい分野に半導体の用途が広がることによって、安定的に市場が拡大し、市況のサイクルを飛び越えて恒常的に需給が逼迫することになっている。これを「スーパーサイクル」といい、半導体景気の好況が続くことで長期的には半導体のコスト上昇を意味している。これまでスーパーサイクルは半導体の性能向上や技術発展によって、半導体の需要が爆発的に増加する時期に起こっている。2017年はICT企業のデータセンターの増設によるDRAMの需要が急増し、半導体のスーパーサイクルの時期が来ている。2017年の需要増加で三星電子がインテルに代わって半導体シェアで世界首位になっている。さらに2021年から再び半導体のスーパーサイクルが到来している。

3つ目には、急増している半導体の需要に対応するためのサプライチェーンが混乱に陥っている点である。サプライチェーン(Supply chain)とは、企業が製品やサービスを顧客に供給するために必要なさまざまな活動、すなわち製品開発の原材料の調達、生産、貯蔵や在庫、輸送、受発注業務など原材料の源泉から最終消費者にいたるプロセスで、物やサービスの変換に関わるすべての活動がつながっている状態を指す⁹。半導体産業でのサプライチェーンとは、①製造装置、②原材料、③設計(ファブレス、IP)、④製造(ファウンドリー)、⑤ATP(組立・検査)の①から⑤に至る一連の供給網である。これまで日本とアメリカの半導体産業はファウンドリー(製造工程)を海外に委託してまかなってきた。ところがコロナ禍により、半導体のサプライチェーンが寸断されてしまった。ファウンドリー企業が半導体の注文に対応できていないこと、ファウンドリーと後工程を担うATP工程のリードタイムの物理的な制約、製造装置と材料の確保ができていないこと、物流の遅延、人材の移動制限といったリスクが生じているからである。

アメリカ商務省の報告によれば、半導体関連企業164社を対象にした半導体在庫は2019年の40日水準から2021年9月には5日未満へと急速に低下しているという。半導体の製造企業の工場稼働率は2021年第1四半期から第

4 四半期まで95%にもかかわらず、半導体不足はしばらく続くといわれている¹⁰。

ここで、半導体企業の国際的な企業間関係をみておこう。半導体の製造に関しては水平分業モデルが定着している中で、主に半導体のファウンドリーを担っているのが台湾のTSMC、UMCと韓国の三星電子である。TSMCと三星電子の半導体の供給先を見てみると、TSMCの場合は、アップルが約25%以上で最も多く、AMDが約10%、台湾のメディアテックが約10%、ブロードコム、クアルコム、インテル、エヌビディアなどがある。三星電子の主な供給先は、自社内の系列システムLSI事業部、エヌビディア、クアルコム、IBMなどである。

また半導体を製造するためには、半導体製造装置の確保も重要である。例えば、先端半導体の製造装置の場合、寡占構造になっているオランダのASML社のEUV(Extra Ultra Violet)極紫外線はウェハの半導体回路の露光装置で使用される光源で、半導体工程で最も注目される技術である。EUVは10ナノ以下の微細化に対応できるので、その製造装置の確保に半導体の企業の関心が高まっているが、工程時間と製造装置のコストも高い。ASMLのEUV露光工程は半導体全体生産時間中、約60%の時間がかかり費用面では約35%を占める重要な工程であり、1台当たり約1億2000万ドルから1億5000万ドル(約150億から180億円)の費用がかかる¹¹。しかもEUV製造装置は年間30台から40台程度しか生産できないので、主要半導体3社は2012年からASMLと企業間関係を結んでおり、次世代EUV製造装置の納入競争も熾烈になっている。

半導体のグローバルな供給不足で打撃を受けているのが自動車産業である。一般的な自動車産業のサプライチェーンは数万点の部品を組み合わせる製造工程に入るので、その製造に関連する企業数も膨大で、グローバル化による生産の国際分業が進展している。こうした国際分業の中で、効率的なサプライチェーンの構築は自動車企業の競争優位を左右する重要な要因になっている¹²。コロナ禍による在宅勤務のパソコンや周辺機器の需要増加、2010年半ば以降のEV(電気自動車)や自動運転の需要増加に伴って車載半導体は供給不足に陥っている。現在世界の自動車企業は需要と供給のミスマッチが起こっており、車載用半導体を必要な時に供給できず、2020年から完成車自動車企業は減量生産が相次いでおり、海外

の自動車メーカーも自動車の減産に踏み切るなど対応に追われている。

自動運転には、車の走行及び搭乗者の安全情報のためにセンサーを利用し感知することが必要である。車載半導体は、多数のセンサー入力情報を一連のアルゴリズムを通じて分析し、車両内の各種機能を判断して電子制御を通じて駆動する半導体のことである。車載半導体は自動車が自ら運転し、電気で動けるように各種システムを制御する部品のことを指す。

車載半導体は車両の内・外部の温度、圧力、速度など各種情報を測定するセンサー、ECU(Electronic Control Unit:電子制御装置)、ECUから処理された信号の駆動装置(Actuator)など各種電子装置あるいは部品に使用する半導体であり、制御、映像処理などを総称するものである¹³。現在開発が盛んになっている自動運転の場合、車体の制御や運転を制御するアプリケーションプロセッサ(AP)、道路の情報を収集するセンサーが必要である。車載半導体は情報を貯蔵するメモリーとは異なって、情報を処理するための演算、推論などの目的に製造されるシステム半導体である。現在ガソリンエンジン車には平均2万~3万個の部品が必要とされ、半導体の搭載量は電気自動車には1,000個、自律走行車には2,000個以上の半導体が必要になっている¹⁴。半導体の搭載量が増えることは、半導体のリードタイムや供給網の整備や再編成が必要になるということである。

車載半導体の部品別比重をみると、Bodyが27%、Powertrainが23%、Infotainmentが21%、ADAS(先進運転支援システム)が17%、Chassis Safetyが12%になっている。主要な車載半導体には、①自動車全体の走る、曲がる、止まるといった動きを制御するマイコン、②電力や電圧を制御するパワー半導体、③自動運転などを制御する高電力出力のためのドライバーIC、④運転者の安全走行、自動運転の「判断」を担うためのアプリケーションプロセッサ(AP)、⑤車の物理的電気信号を変換させるためのセンサーなどがある。自動車には各ドメイン別性能の要求事項、機能安全性、物理的信頼性を考慮してECU種類別に多様な半導体が使用されている。

さらに半導体機能別の比重では、MCU(マイクロコントローラユニット)が30%で最も多く、アナログが29%、光学・センサーが17%、短機能が7%、ロジック

10%から構成されている¹⁵。半導体の製造工程は複雑であり、MCUのように複雑なチップの場合リードタイムが12週から16週間、車両安全システムに使用するセンサーの場合、最大26週間がかかる。自動車産業は供給量と在庫水準の均衡を維持しながら適期の注文に合わせる事が重要であり、今回のコロナ禍の時には市場の需要状況の把握が難しく、それが表面化したのである。

自動車の垂直統合企業の電気自動車や自律走行車の生産には製造工程の微細化が進むほど劣悪な状況に陥っている。すべてのECUに全般的に使用されるMCUは製造集中度がより大きな影響を及ぼしている。MCUは自動車の電装システムの全般を制御する半導体であり、ECUの拡散によって使用量が高く、自動車1台当たり平均20個以上が必要である。現在MCUは自動車業界ではボトルネック現象が発生している¹⁶。これは車載半導体の製造力量がいくつかの企業に寡占構造になっていることを意味する。

トヨタ自動車の場合、最小限の在庫を持つ「かんばん方式」で効率性を高めてきたが、今回は半導体を中心とする代替が難しい品目は一定程度の在庫の確保を求めることにして、供給網全体で1か月分の在庫を4か月分に引き上げることにしている。また、トヨタ自動車の1次下請け企業であるデンソーも「在庫回転日数」を37日から53日に伸ばしている。トヨタ自動車は在庫を正確に把握するために富士通とサプライチェーンの「レスキュー」を開発し、現在10次の取引先にまで膨大な量の部品データを管理している¹⁷。完成車企業はこうして自動車部品企業に発注し、部品企業がさらに車載半導体企業に発注をする流れになっている。今回の半導体不足は国内完成車企業だけではなく、海外の自動車企業のフォルクスワーゲンも中国、北米、欧州で生産調整を行い減産体制

に入っているのである。

3. 半導体産業のサプライチェーンの再編成への対応策

ここで半導体主要国の半導体産業の2010年半ば以降の変化と位置づけを検討し、対応策についてみることにする。まずアメリカの半導体産業は半導体製造に関する構造変化、戦略転換へシフトしたことが大きな出来事である。

図1は、アメリカの半導体産業の供給網に関する評価を示したものである。アメリカの半導体産業はこれまで強い国際競争力を維持してきたが、半導体生産の全工程からみれば、それぞれの工程に差異がみられる。設計と製造装置分野には強い競争力を維持しているが、後工程、材料部門は弱みとなっている。後工程は海外の企業に委託することが多く、材料部門も海外の企業から調達している状況である。もっとも脆弱になっている半導体製造部門はこれまで製造だけを担う海外のファウンドリーに委託して確保してきた。アメリカの半導体産業はファウンドリー製造部門の先端部門（leading edge）及び汎用（mature node）部門が全般的に弱く、韓国、台湾より劣っているのである。

アメリカの半導体産業は最先端の半導体を台湾と韓国から調達しており、低技術の半導体は中国に依存している状況である。それでも、半導体産業全般の主導権確保のためには、半導体の製造部門の劣勢を是正することが不可欠であった。こうした製造部門の劣勢を克服するため最先端の製造部門をアメリカ国内に誘致する必要性があるとアメリカ政府は認識するに至ったのである。

図1 アメリカの半導体産業の供給網に関する評価



出所：「アメリカの半導体・バッテリー供給網調査報告書の主要内容と示唆点」『KIET産業経済 이슈』産業研究院，2021年7月，第115号，3ページ。

表3 世界半導体企業の事業構造

アメリカ	韓国	台湾
<ul style="list-style-type: none"> ・インテル（総合半導体） ・クアルコム, エヌビディア, AMD（ファブレス） ・グローバル・ファウンドリーズ（ファウンドリー） ・マイクロン・テクノロジー（DRAM） ・AMAT, ラムリサーチ（製造装置） ・Synopsys, Cadence（設計IP） 	<ul style="list-style-type: none"> ・三星電子（総合半導体） ・SKハイニックス（DRAM, NAND型フラッシュメモリー） 	<ul style="list-style-type: none"> ・TSMC, UMC（ファウンドリー） ・メディアテック（ファブレス） ・南亜科技（DRAM）
日本	中国	ヨーロッパ
<ul style="list-style-type: none"> ・キオクシアホールディングス（NAND型フラッシュメモリー） ・東京エレクトロン, アドバンテクト, スクリン・ホールディングス（製造装置） 	<ul style="list-style-type: none"> ・SMIC（ファウンドリー） ・YMIC（NAND型フラッシュメモリー） ・ハイシリコン（ファブレス） ・AMEC（製造装置） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ASML（製造装置） ・ARM（設計IP） ・NXP（車載半導体） ・インフィニオン（車載半導体）

出所:『朝鮮日報』2022年3月16日, 宋娘沃「半導体産業におけるIP(設計資産)ビジネスの一考察」『立命館経営学』第56巻第6号, 2018年3月, 235ページを参照して作成。

表3は、世界半導体企業の事業構造を表したものである。半導体企業のインテルと三星電子の2社が総合半導体メーカーとして、いわゆる垂直統合企業の競争優位を獲得している。とくに、アメリカは半導体のファブレスと製造装置、設計IPに強みを持っている。アメリカはファブレスを含む設計IPは世界シェアの約6割を占めており、製造装置の世界シェアは約50%を超えている。またアメリカはDRAM、ファウンドリーにも事業領域を持っており、半導体産業の全部門で競争力を維持していることが読み取れる。韓国はメモリー半導体に特化しており、台湾はファウンドリーに強みを持ちファブレス、DRAM事業も行っている。台湾の場合、ファウンドリーが強みを持つ一理由は、国内のファブレスとのネットワーク化が緊密に行われ、優先的に国内のファブレスの要望に応じている点にある。台湾のファブレスの躍進が2010年以降著しくなっており、2021年の世界ファブレスのランキング10位の中に、台湾のメディアテック以外にノバテック、リアルテック、ハイマックスなどの4社がランクインしている²¹。また、台湾の半導体産業はこれまではアメリカのファブレス企業や製造装置企業とのネットワーク関係の相互作用の中で成長を続けてきている。このよ

うに台湾の半導体産業の躍進は、こうしたファウンドリーを中心にファブレスとの連携、後工程企業が近距離内に集積し、工程間が緊密にネットワーク化されている点にある。

以下では半導体不足に対する各国の対応策について見ることにする。

まずアメリカの対応策を見てみよう。国内のハイテク企業には規制を強化しているが、半導体企業には積極的な支援策を構っている。2021年に半導体生産支援金として540億ドルを策定し、上院では25%の税金減免するという法案を制定している。具体的には、アメリカ商務部は自国内の半導体製造基盤を確保するために大規模の支援金と投資インセンティブとして7つの政策課題を提案している。その中でも優先的に「CHIP for America Act」=（半導体支援法）に明示された500億ドル支援金は、編成・執行を通じた国内半導体製造施設の新規建設及び増設のためである。半導体支援法の一環としては、国家半導体技術センター設立など次世代半導体技術確保のための研究開発支援を拡大すること、輸出統制やFDIスクリーング、IP（半導体知的財産権）保護など供給網安定性確保の資金支援のためのファンド助成で技術競争力の優位

を獲得することがあった。補助金と税金減免策として、半導体の設備投資には40%の税金控除する支援策を行っている¹⁸。こうしたアメリカの半導体製造に関する新たな支援策は、製造業全般に中国への依存度が高く、ICT産業分野において中国の競争力がこれまで以上に高まっているという危機感の表れであった。

2021年2月にバイデン政権は半導体の製造部門の弱さがATP（組立、テスト、パッケージ）及び素材などの供給網の脆弱性を招いたと認識していた。アメリカが半導体の主導権を確保するためには、最先端の製造設備と工場を自国内で稼働させなければならないという観点から政策を提案している。アメリカは商務部が制定した「半導体支援法」を迅速に施行している。その支援法は、具体的には半導体製造のための工場建設などのインフラストラクチャー、ビザ改革を通じた海外優秀人材の誘致、半導体同盟国との提携や協力を通じた技術保護、半導体供給網確保などである¹⁹。

インテルの半導体に対する対応策は、これまでとは異なる様子を表している。必要とする半導体をファウンドリーに海外委託することで半導体調達に不均衡状態に陥っていること、半導体の生産インフラストラクチャーがアジアに80%程度集中していることから、インテルにはそれを分散する必要があるという判断があった。そのために、アメリカは国内への海外ファウンドリーの誘致と欧州へ積極的な投資に踏み切り、半導体の供給網の多様化を図っている。

具体的には、インテルは2021年3月にファウンドリー事業を再開することを宣言し、同年9月にアリゾナ州に2つの半導体新工場を建設するため、200億ドルを投じて着工したことである。また、インテルは2022年にはオハイオ工場に200億ドルを投入し車載用半導体の専門組織を設立するという。また、ヨーロッパの投資を拡大するためにドイツに工場を建設し、車載用市場を攻略しようとしている。すでにインテルのファウンドリー事業部内には車載用半導体組織が運営されている。自動車の独自開発の半導体チップを狙うBMWやアウディなどの完成車メーカーは今後インテルと協業しながら車載半導体の開発を遂行できるのである²⁰。このようにアメリカは今半導体不足を克服するために国レベルで半導体製造を自国内に誘致しようとする動き、あるいは本国で工場の

増設を本格化させている。

次に、台湾半導体産業の対応策を検討してみる。現在最も注目されているのは、台湾の半導体の製造部門であるファウンドリー企業の強い競争力である。半導体産業の工程は設計、ウェハー加工の前工程と組立、テスト（検査）という後工程で構成されている。台湾半導体産業の競争優位は、第1に、ウェハー加工の受託生産のみを行うファウンドリー専門メーカーがあり、第2に工場を持たず設計だけを担うファブレスも多数ある。第3に組立工程はすべて専門の受託メーカーが担い、テスト工程の専門化も進んでいる産業構造が定着している²²。つまり、台湾の半導体産業の強みは、各工程を独立した企業が担う水平分業体制が構築され、各工程を担う企業間のネットワーク関係が構築されている点にある。

TSMCは現在世界のファウンドリーの6割の生産を担っている。TSMCはこれまでファウンドリーの工場を中国に工場が2か所、アメリカのワシントン州キャマス工場以外は台湾国内ですべて稼働してきた。今回20年ぶりに2020年5月にアメリカ政府の要請に応じて、アリゾナ州に工場を新設することを決定している。その決定は、半導体需要の逼迫と最先端の半導体の7ナノ（ナノは10億分の1）から5ナノ、5ナノから3ナノへと移行するにつれて高度な技術の製造コストの高さ、製造工程の複雑さが増していたからである。アメリカのアリゾナ州にはインテルの工場もあり、NXPセミコンダクターズ、クアルコム、ブロードコム、マイクロチップなど主要半導体企業の集積地になっている。アリゾナ州には何よりも半導体で不可欠な水と電力の供給が可能なインフラストラクチャーが整備されており、製造装置の更新や補修を行う企業、化学製品などの扱う素材企業の相互補完関係が形成され、集積地としての条件を満たしている²³。こうした点も相まって、アメリカ政府は中国への部品依存を減らそうとする強い意向を示し、現在のサプライチェーンの再編成のためにもアメリカ国内にファウンドリー専門のTSMCの誘致に積極的になっているのである。今回台湾の半導体企業がアメリカに製造工場の設置に乗り出したもう一つの理由は、半導体の製造工程に必要な水不足に陥っていること、電力不足、半導体の増産に伴う人手不足が一気に浮上しているという台湾の実情があったからである。

韓国の半導体産業の対応策としては、韓国政府は2019年AI半導体の技術開発に1,000億円の投資を投じてAI半導体の開発に拍車をかけている。また2019年の日本からの経済制裁があった半導体材料・部品の品目ではその部門をより強化する対応策を講じている。韓国政府は2020年7月に、「半導体を含む素材・部品・製造装置産業の技術開発」のために2022年までに5,000億円を投資することにしている。2021年5月には「K-半導体戦略」を発表し、「2030年半導体強国」を掲げた特別区のクラスター形成、有力サプライヤーの誘致、人材育成などを推進している。三星電子はアメリカのテキサス州のオースティン市に1997年にメモリー工場を稼働していたが、さらに隣接地を産業用地として使用するため、2020年11月にオースティン市に申請している。主には半導体ファウンドリー工場を拡張することである。アメリカで企業の受注活動を並行しながら、国内工場の増設にも乗り出している。韓国の平澤（ピョンテック）に12億円を投資して第3工場、第4工場の増産に着工している²⁴。

日本の半導体産業は周辺国の変化を認識したうえで対応策が図られている。日本の場合、国内産業基盤の強化を目標にしている。2021年の経済産業省の報告によれば、日本全体の需要面では「デジタルニューディールの推進」として5Gインフラ、クラウドなどの投資促進、DX推進では自動走行、ロボティクス、FA・IoT、スマートシティ、医療などの基盤づくりを掲げている。その需要面での対策を強化するためには、半導体の設計や技術開発が欠かせないと判断している。供給面では半導体産業のそれぞれを工程別に3つの強化策を推進している。①半導体の設計では、ロジック半導体のアーキテクチャ強

化のためにAIチップ、次世代コンピューティング技術開発を東京大学や産業技術総合研究所、NEDOで推進している。②製造のファウンドリーの基盤確保のためには、ファウンドリーの国内立地を創設し、先端ロジック半導体の開発に取り組むことを策定している。③素材・製造装置ではチョークポイント技術の磨き上げを掲げ、先端製造プロセス（前工程の2ナノメートルの微細化ビヨンド、後工程の実装3Dパッケージ）とパイロットラインの建設、製造部門との連携を図ることである。日本は国内半導体産業のポートフォリオ・サプライチェーンの強化を図ることに力点を置いている²⁵。

具体的には、2021年10月に製造部門のファウンドリーを強化策として熊本に台湾のTSMCとソニーグループが8,000億円の投資額の規模で合弁工場の設立を検討している。工場建設には日本政府が投資額の半分を補助金で支援する方針を固めている。それに自動車部品大手のデンソーも自動車部品向け半導体を安定的に調達するため専用設備を設けるなど参画することを検討している。日本政府は先端半導体を生産できる国内拠点が必要不可欠であると判断し、巨額の補助金を投じることで日本国内に優先的に供給体制を構築しようとしている²⁶。日本の半導体製造企業はナノメートル級の最先端半導体の製造に遅れているので、今回の国内の半導体製造工場の設置は、半導体産業への国際競争力の復帰を狙ったものといえよう。

表4は主要国の半導体産業の競争力を比較したものである。アメリカは製造装置とシステムLSIには強みを持っているが、素材・材料部門と後工程部門が弱い。日本は半導体の製造装置と素材・材料部門では強い競争力を

表4 主要国の半導体産業の競争力比較

区分	アメリカ	日本	台湾	韓国
生産	●	▲	●	●
製造装置	●	●	▲	▲
素材・材料	▲	●	▲	▲
後工程	▲	▲	●	▲
システムLSI	●	●	●	●
メモリー	●	●	▲	●

注：強み：●，標準（平均）：●，弱み：▲

出所：『アジア経済』2022年3月4日。

保っているが、後工程と生産部門で劣勢の状態になっている。台湾は競争力で優位になっているのが、生産、後工程、システムLSI部門の3部門であるが、他の製造装置、素材・材料、メモリー部門においては標準的な地位に至っていない。韓国はメモリーと生産部門で優位を保っているが、製造装置、素材・材料、後工程では弱い状態である。アメリカの場合、生産部門は標準であるが、素材・材料の後工程は劣勢である。生産部門が弱い日本と製造装置や素材・材料分野が弱い台湾の場合、お互いの弱点を補完するため政府の支援や協力が始まっている。その1つが、日本政府はTSMCの茨城県に半導体研究開発センターを建設することを決め190億円の補助金を支援する政策である。TSMCは茨城県のR&D拠点で日本の素材、部品、製造装置の企業と協業し、後工程の研究に注力することに承認している²⁷。

おわりに

本稿では、半導体産業のサプライチェーン体制の性格がどのように変化してきているのかを課題にし、現在半導体を生産している各国の政府と半導体企業の再編成について考察したのである。そこから次のようなことが明らかとなった。

第1は、世界的な半導体不足をもたらした要因として、①米中のハイテク分野での通商上の対立、アメリカの中国半導体企業に対する輸出規制、②第4次産業革命による半導体需要の増加、ICT産業、電気自動車、車載半導体への需要の増加、③半導体のグローバルサプライチェーンの寸断があった。この半導体の世界的不足は、たんなる半導体の世界的需給のアンバランスではなく、これまでの半導体産業のグローバルなサプライチェーン体制がうまく機能しなくなったということである。

第2は、半導体産業のサプライチェーンの再編成の動きが鮮明になってきている点である。半導体生産国はこれまでに自国の強みであるファブレス、ファウンドリー、総合半導体メーカー、後工程メーカーを担って成長していたが、その強みを維持しつつ、さらに半導体の製造部門に力量を強化している点である。半導体のグローバルサプライチェーンの混乱は安定的な供給網を確保する動きを強めているという点である。自国内に半導体製造工

場を新設あるいは増設するため、とくに、アメリカや日本の場合、政府次元で半導体の供給網の強化を図っている。つまり、半導体産業のサプライチェーン体制の性格が海外の生産委託から国内への生産誘致、あるいは台湾や韓国での工場増設や技術開発の強化へとシフトしている点である。しかしながら、人材確保や半導体材料や製造装置確保、先端半導体技術の研究開発などがどこまで強化できるかは不透明の側面もある。こうしたアメリカの海外企業の自国への工場誘致政策は半導体の一貫工程を完結させ、世界の技術覇権を狙うことを意味している。

参 考 文 献

- ¹ 『日本経済新聞』2020年3月6日。
- ² 『産業通商資源部』<http://motie.go.kr> (2022年1月12日閲覧)
- ³ 宋娘沃『技術発展と半導体産業－韓国半導体産業の発展プロセス』文理閣、2005年、66～67ページ。
- ⁴ 宋娘沃「半導体産業におけるシステムLSIの現段階」『経営学論集』龍谷大学経営学会、第57巻第1号、2017年10月、22ページ。
- ⁵ 同上。
- ⁶ 『日本経済新聞』2021年12月3日。
- ⁷ 『日本経済新聞』2020年9月6日。
- ⁸ 『ICガイドブック』電子情報技術産業協会、2006年、266ページ。
- ⁹ 森田道也『サプライチェーンの原理と経営』新世社、2004年、10ページ。
- ¹⁰ 『未来戦略産業Brief』産業研究院、2022年2月号、第23号、30ページ。
- ¹¹ チョンマンテ「グローバル半導体製造装置産業の最近動向と示唆点」『KIET産業経済』産業研究院、2020年6月、27ページ。
- ¹² 『日本経済新聞』2021年8月6日。今回のサプライチェーンの混乱は需要地の近くで生産することになりつつあり、サプライチェーンの再編を促している。供給網の安定的な確保は企業の国際競争力を左右する重要な要因になっている。
- ¹³ ソンカンジュン他編「次世代新産業創出のための車両用半導体産業育成戦略」『KEIT PD Issue Report』

韓国産業技術評価管理院，2016年2月，26ページ。

- ¹⁴ 「車半導体大乱—全世界工場止まった半導体品不足安心する会社は皆無—」『朝鮮ビジネス』2021年2月28日。
- ¹⁵ 同上。
- ¹⁶ 『Silicon Times』韓国半導体産業協会，Vol 595，2021年3月8日。
- ¹⁷ 『日本経済新聞』2021年4月18日。
- ¹⁸ 「アメリカの半導体・バッテリー供給網調査報告書の主要内容と示唆点」『KIET産業経済』第115号，2021年7月5日，4ページ。
- ¹⁹ 同上，3ページ。
- ²⁰ 『アジア経済』2022年3月4日。
- ²¹ 『日本経済新聞』2022年4月28日。
- ²² 佐藤幸人『台湾ハイテク産業の生成と発展』岩波書店，2007年，135～136ページ。
- ²³ 『日本経済新聞』2021年6月13日。
- ²⁴ 産業通商資源部『総合半導体強国実現のためのK-半導体戦略』2021年5月13日，5～11ページ。
- ²⁵ 『半導体戦略』経済産業省，2021年6月，10～15ページ。
- ²⁶ 『日本経済新聞』2021年10月9日。
- ²⁷ 『日本経済新聞』2022年6月25日。

