

先端半導体をめぐる覇権のゆくえ —「21世紀の石油」を掌握するのは誰か—



三井物産戦略研究所
技術・イノベーション情報部コンシューマーイノベーション室
辻 理絵子

Summary

- AIやデジタルを支える戦略物資である先端半導体をめぐり、米中での対立が進む。米国は補助金で国内製造を強化し、規制により中国をけん制する。一方中国は巨額投資で国産化を推進する。
- 中国企業が7nmプロセス¹の半導体製造に成功し世界を驚かせたが、量産化には課題がある。先端半導体の製造には高度な技術力が必要であり、数年で中国の技術が米国に追いつくことは考えにくい。
- 半導体の生産においては、今後も台湾・韓国勢の優位が続くと見られる一方、米国や日本も力を入れており、シェアは徐々に分散する見込み。中国はレガシー領域²で存在感を見せており、完全デカップリングは困難で、相互依存下での競争が長期化する。

1. 先端半導体とその位置づけ

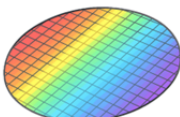
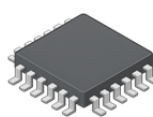
1-1. 半導体のサプライチェーン

半導体は、スマートフォンやパソコンなどの民生品から戦闘機などの防衛装備品にまで広く使われる戦略物資である。特に先端半導体は、一般に16nm以下の最先端プロセスで微細加工された半導体のことで、スマートフォン用チップやPC用CPU、AI処理用のGPUなどに用いられデジタル社会の基盤を支える極めて重要な役割を担っている。各国は先端半導体の開発や生産をめぐりしのぎを削っており、経済と安全保障の両面で主導権を握るべく産業政策や輸出規制を打ち出している。それら先端半導体含む半導体のサプライチェーンは、これまで国際的な分業体制で成り立ってきた。

¹ プロセスとは、シリコンウェハーを基板としてトランジスタや配線などの電子回路を形成し最終的にチップを製造する一連の工程で、回路をどれだけ微細に配置するかを指す指標として使われる。「〇nmプロセス」などのように呼ぶことが多い。〇nmの数字部分は、古くは、電子回路線の幅（回路線幅）と一致していたが、近年は、微細化のために3次元構造が導入されるなどしたため、実際の回路線幅を表すとは限らない。

² レガシー領域とは、比較的古い技術で製造される半導体の領域で、回路線幅が28nm以上のプロセスで製造された半導体を指す場合が多い。

図表1：半導体製造工程とサプライチェーン

工程の領域	設計	前工程	後工程
領域を担当する企業の総称と実施工程	ファブレスによる論理設計 →	ファウンドリによる製造 →	OSATによる組立・パッケージング・テスト
工程の内容	求める機能から回路配置を設計し、シミュレーションを繰り返して最適な回路パターンを検討。透明なガラス板の表面に回路パターンを描き、マスタを作成する	シリコンの単結晶であるシリコンインゴットを薄く切り出したシリコンウェハー表面に、トランジスタなどの電子回路を形成する	ウェハーを切断し一つ一つを分離、フレームの所定の位置に固定する。他の部品と電子的に接続し封入する。その後、性能や外観等の検査を行う
イメージ図			
強みのある国や地域と企業	米国(Intel, Qualcomm, AMD, NVIDIA)	台湾(TSMC)、韓国(サムスン)	アジア(台湾・中国・東南アジアに主要OSATの拠点あり)

○ 半導体設計用のEDAツールベンダー：米国が強くEDAツールのトップ3社が米国企業
○ 半導体IPベンダー：米国が強い

○ 半導体製造装置メーカー：日本・米国・オランダが強い
○ 半導体材料メーカー：日本が強く高いシェアを占める

出所：三井物産戦略研究所作成

半導体の製造は、主に、設計、前工程、後工程の3つに分かれる（図表1）。設計では米国のファブレス³が突出した地位を占め、前工程では台湾と韓国の企業が大手ファウンドリ⁴として存在感を見せる。後工程では人件費や量産体制の優位性から、台湾や中国、東南アジア諸国に多くの主要^{オーサット}OSAT⁵の拠点が置かれている。また、それぞれの工程に必要な技術や装置、材料供給ではさらに多様な国が関わる。設計に必要なEDA⁶ベンダーやIP⁷ベンダーは米国が強く、前工程で必要な製造装置では日本、米国、オランダが競争力を持つ。また材料分野では日本が世界をリードしてきた。このように各国の強みを生かした高度な分業によって、半導体産業は効率的な発展を遂げてきた。

しかし近年、地政学リスクや供給網の脆弱性^{ぜいじやく}が顕在化し、各国はサプライチェーンの再構築に乗り出している。米中対立を背景に、同分野でのデカップリングの動きが強まりつつある。

³ ファブレスとは、自社で半導体の製造工場を持たず、製品の企画・設計・開発・販売等に特化するビジネスモデルやその企業を指す。

⁴ ファウンドリとは、半導体メーカーやファブレス企業から委託を受けて、半導体の製造を専門に行う企業を指す。

⁵ OSATとは、Outsourced Semiconductor Assembly and Testの略で、組立・パッケージング等の後工程を専門で請け負う企業を指す。

⁶ EDAとは、Electronic Design Automationツールの略で、集積回路や半導体デバイスの設計を効率化するためのソフトウェアやハードウェアの総称。

⁷ IPとは、Intellectual Propertyの略称。半導体業界では、チップの一部として機能する設計資産を開発・ライセンス販売する企業をIPベンダーと呼ぶ。

2. 米国と中国の戦略

2-1. 米国の戦略

米国は、自国の半導体製造基盤強化と中国の先端技術獲得阻止という二つの軸で積極的な政策を展開している。まず国内産業育成策として、2022年8月に「CHIPS and Science Act（通称CHIPS法）」を成立させ、今後5年間で先端半導体の製造施設建設・拡張に390億ドル、R&Dに110億ドルの補助金を投じる枠組みを整えた。さらに民間投資を促す25%の税額控除も導入し、インテル、マイクロンといった米国企業のみならず、TSMC（台湾）、サムスン（韓国）といった海外企業にも米国内への大規模工場建設を決断させている。ただし補助金受給企業には、中国など「懸念国」において、10年間は先端半導体の増産を行わないことを義務付けており、サムスンなど中国拠点を持つ企業の戦略にも影響を及ぼしている。米政府は巨額の財政支援と規制条件を組み合わせることで、先端半導体製造の国内回帰と対中優位確保を目指す。

例えば、TSMCには、CHIPS法に基づき最大66億ドルの補助金が提示されており、アリゾナ州で既に稼働を開始した4nmプロセスの第1工場に加えて、3nmプロセスの第2工場、2nmプロセスもしくはそれ以下の第3工場の建設が計画⁸されている。さらに2025年3月には、追加で3つの先進製造工場と2つのパッケージング施設、1つの研究開発センターの建設を発表した。これによりTSMCによるアリゾナ州での投資額は1650億ドルとなり、米国史上最大の外国直接投資となった。補助金をてこに、米国内に先端半導体クラスターを形成し、最先端プロセスの量産を復活することで、AI・HPC（高性能計算）分野に、将来産業の鍵となる2nmチップを安定供給する狙いがある。

同時に、輸出管理による対中先端技術移転の封じ込めにも注力している。2022年10月、バイデン政権は対中輸出規制を大幅に強化し、先端半導体およびそれを製造する装置や設計ソフトについて、中国への供給を包括的に制限する措置を発動した。これにより米国製もしくは米技術を含む先端半導体と装置は原則として対中輸出が禁止され、中国の先端半導体製造は大きな打撃を受けた。さらに米国は、オランダおよび日本との連携によって対中包囲網を構築している。オランダ政府は、2019年当時のトランプ政権の圧力を受け、ASML社の最先端半導体製造装置である極端紫外線（EUV）露光装置の中国への輸出を制限していたが、その後、深紫外線（DUV）露光装置や検査装置等を含む、製造工程における一連の技術にまで輸出規制の対象を広げた。日本政府も、2023年3月に先端半導体製造装置23品目を輸出規制リストに加える方針を表明し、従来規制対象でなかった洗浄、成膜、アニーリングといった装置を許可制の対象とした（図表2）。これら日米蘭の協調によって、中国が先端半導体を国内製造するために必要不可欠な最先端装置の入手経路は封じられつつある。

⁸ 第2工場の稼働は2028年、第3工場の稼働は2030年頃になるといわれている。

図表2：日本政府の輸出規制に該当する半導体製造装置

規制されている装置	内容
洗浄装置	ウェハー表面の異物除去等に用いる装置
成膜装置	ウェハーの基板上に薄膜を形成する装置
アニーリング装置	基板を加熱し薄膜の結晶構造を変化させる等で膜質を改善する装置
露光装置	基板上に微細な回路パターンを焼き付ける装置
エッチング装置	基板上的薄膜を化学的に腐食させて不要な部分を除去し、精密なパターンを形成するための装置
検査装置	パターンの欠陥やウェハー上の異物の有無等を検査する、良品率確保に必要な装置

出所：三井物産戦略研究所作成

2-2. 中国の戦略

中国は長期的な国家戦略として半導体の国産化と自給率向上を掲げ、巨額の投資を継続している。その基幹政策が2015年に発表された「中国製造2025」であり、半導体分野で2020年に自給率40%、2025年に70%を達成する目標を設定した。具体的な施策としては、中国の先端技術産業の振興を目的に政府主導で設立された国家集成电路産業投資基金が、2014年に1期目1,400億元（約2.8兆円）、2019年に2期目2,000億元（約4兆円）を半導体企業群に投入している。このような手厚い支援の下、中国国内ではメモリやロジック⁹、装置・材料などサプライチェーン各所で国産企業の育成が図られてきた。

特に注目すべきは、中国最大のファウンドリ企業SMICと通信機器大手Huaweiによる先端ロジック分野での動向である。Huaweiは、自社設計子会社ハイシリコンとSMICの連携で国内生産を模索し、その成果が2023年8月に発表されたHuaweiの新型スマートフォンMate 60 Proに搭載された、7nmプロセスの「Kirin 9000sチップ」である。これは米国の半導体包囲網をかいくぐった中国製ハイエンドチップの登場として世界に衝撃を与え、CNNによれば、米商務省がただちに詳細情報の収集に乗り出すほどであった。SMICはEUV露光装置を入手できないため、DUV露光装置の多重露光（マルチパターニング）によって7nmプロセス相当の回路パターンを実現しているとされる。露光工程数が通常より増えるため、生産効率や歩留まりが大きく低下し、TSMCの同プロセスの製造と比較してコストは40～50%高く、歩留まりも3分の1程度劣後するといわれる。TSMCが7nmを2019年に量産化していることに鑑みれば、SMICは依然5年以上遅れていると考えられる。

では今後、中国はどのようにこの技術ギャップを埋めていくのか。その鍵となるのが5nmへの挑戦である。SMICは自社の5nmプロセス開発を進めており、2025年頃までに5nmチップの開発完了を目指していると報じられている。しかし、多重露光で5nmまで微細化するには工程のさらなる複雑化は避けられない。根本的な

⁹ メモリやロジックは半導体の種類のことで、メモリはデータを記憶するもの、ロジックはCPUやGPUのように高度な演算や制御をおこなうものを指す。他に、エアコン、自動車等に不可欠で大きな電圧・電力を扱うパワー半導体などがある。

課題はやはりEUV露光装置の不在である。中国当局もその点は認識しており、EUV露光装置の国産化を急いでいる。報道によれば、Huawei系列の研究機関や光学機械メーカーが試作機開発を進めており、2025年第3四半期¹⁰にも中国初のEUV露光装置が試験稼働する可能性があるという。

3. 今後の展望

3-1. 米中デカップリングとサプライチェーンの分断

サプライチェーン分断の影響は企業戦略にも及んでいる。半導体メーカー各社は米中双方の規制とインセンティブを注視しつつ、生産拠点や販売先のポートフォリオ見直しを迫られている。例えば、サムスン
は中国に巨大工場を抱えており、米政府との交渉で輸出規制の例外措置を得る一方で、中長期的には中国への依存を下げる計画を練っているとされる。また、TSMCは米国や日本への分散投資を進める。

各国政府が経済安全保障の観点から、自国の半導体産業の強化に巨額の予算を投入した結果、世界各地で半導体の新工場ラッシュが起き、従来台湾・韓国・中国に偏っていた生産拠点がある程度分散されつつある。一方で各国による過剰投資競争には将来的な供給過剰のリスクも指摘される。

3-2. 今後の見通し

図表3：先端半導体の世界の生産能力シェア

国・地域	2023年シェア	2027年シェア(予測)
台湾	68%	60%
韓国	12%	13%
米国	12%	17%
日本	0%	4%
中国本土	8%	6%

出所：Voronoiのデータから三井物産戦略研究所作成

図表3は先端半導体の世界の生産能力シェアの現状と予測である。現状、中国本土は約8%にすぎず、中長期的にも規制の影響で先端分野での躍進は限定的と予想されている。一方で米国はCHIPS法の後押しによりシェアを徐々に高め、2027年には世界の先端半導体の約17%を生産する見込みである。日本もラピダスの量産化によって4%程度のシェアを獲得すると予測されるが、依然としてTSMCとサムスンが先端プロセスの主要サプライヤーであり続けるシナリオが有力視される。この間、中国は先端ではなく、成熟技術を使うレガシー領域への注力を余儀なくされる可能性が高く、中国政府が同領域でのシェア拡大に戦略をシフトしているとも伝えられる。西側の規制が先端を封じる一方で、中国がレガシー領域でさらに存在感を増せば、同領域での中国依存が高まるリスクも指摘される。

総じて、半導体産業をめぐる米中両陣営の綱引きは長期化が避けられない。各国は巨額の投資と制度設

¹⁰ 中国の決算期基準のため、7月から9月にあたる。

計により自国に有利な体制を整えつつあるが、完全なデカップリングは非現実的であり、むしろ複雑に相互依存関係を残しながら競争とけん制が続く「新冷戦」構造が定着しつつある。その中で日本にとっては、ラピダスを軸とした先端技術基盤の確立と、装置・材料領域での強み維持が重要となる。半導体が21世紀の石油と称されるゆえんは、その経済的価値のみならず国家の命運を左右する戦略物資だからに他ならない。米中を中心とする先端半導体をめぐる覇権競争は今後も続き、各国・企業はその荒波を乗り切るための知恵と協調関係を試されている。

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できるとされる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一的な見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。