

2022年3月28日

「米中摩擦時代の半導体産業～ASMLをめぐる事例考察～」

中曽根平和研究所
主任 研究員
前田 篤穂

本報告要旨

米国・中国の通商摩擦が強まる中、双方にとって戦略的に重要性を帯びる半導体産業をめぐる駆け引きが活発化している。本稿では半導体製造のコア技術とされる「露光工程」に着目。世界最大手の露光装置メーカーであるオランダ企業・ASMLの事例を切り口に地政学的緊張が続く中で欧州産業界の立場、産業振興をめぐる動きについて考察する。

同社が世界市場をリードする次世代露光技術は、中国にとっては「喉から手が出るほど欲しい技術」であるが、米国の視点では「何としても渡してはならない技術」ということになり、欧州企業がその“板挟み”状態になっている点が注目される。

また、本稿では、米国政府が半導体分野における“対中包囲網”構築のカギと位置付ける同社の経営状況、その優位性の背景、ビジネス戦略なども概観し、米国や欧州連合（EU）の政策動向について整理。我が国にとっての政策的示唆についても私見をまとめる。

1. 米国による規制強化の中、対中輸出拡大を続ける ASML

欧州を代表する半導体製造装置メーカーである ASML（本社：オランダ・フェルトホーフエン）の「2021年度・年次報告書¹」によると、世界的に旺盛な半導体需要を反映し、同社の2021年度の売上高（186億1,100万ユーロ）、最終利益（58億8,320万ユーロ）は共に“過去最高”を記録した。

同社は、半導体製造の中でも中核的²工程のひとつに位置付けられる、露光工程で利用される半導体露光装置（リソグラフィ）の専門メーカーであり、現在、その世界最大手企業である。2021年度の同社売上高を露光光源別に見ると（図1.参照）、10ナノメートル（nm）³以下の加工線幅も視野に入れる次世代半導体の微細化技術のカギを握るとされる「極端紫外線（EUV）⁴」による露光

¹ASMLは2021年度・年次報告書を2022年2月に公開している。同社決算期間は暦年（1～12月）ベース。

²半導体回路の原版となるフォトリソマスクに刻まれた設計パターンをウエハ（基板）に焼き付ける重要な工程。この焼き付け（転写）作業ではレーザー光などの露光光源（各種波長あり）を利用する技術が現在の主流となっている。

³1ナノメートル（nm）＝10億分の1メートル。ヒトの毛髪の10万分の1程度の極微細な幅。

⁴極端紫外線（Extreme Ultra-Violet: EUV）と呼ばれる、従来の光源波長と比較して極めて短い波長（13.5nm）の紫外光を光源に用いる縮小投影型露光技術。従来の露光装置では困難とされる10nm以下の加工線幅への対応を可能にする技術として期待されている。

装置売上高が 2020 年度に続いて過去最大となっている。世界の半導体生産において EUV 露光装置が主要な役割を担いつつあることが、世界最大手メーカーである同社の業績データで明らかとなった恰好だ。

図1. ASML・業績推移
— 主軸商品は「EUV」に移行, 高水準の利益率 —



同社は、この EUV 露光装置の開発・商品化で世界をリードし、同社の主要顧客である半導体受託生産サービス（ファウンドリ）最大手・台湾積体電路製造（TSMC）や韓国のサムスン電子なども EUV 露光装置の量産活用を急速に進めているところだ。現時点では、EUV 露光装置の供給企業は ASML 以外にはおらず、同社は最先端の高付加価値市場を独占できる状況にある。

この EUV 露光装置の（対中）輸出をめぐるのは、トランプ政権末期の 2020 年 12 月に米国商務省・産業安全保障局（BIS）が米国「輸出管理規則（EAR）」に基づく輸出管理対象となる事業体を特定する「エンティティ・リスト（EL）」に中国ファウンドリ最大手の中芯国際集成电路製造（SMIC）を追加⁵したことで、米中摩擦の“最前線”として注目を集めたこともあった。

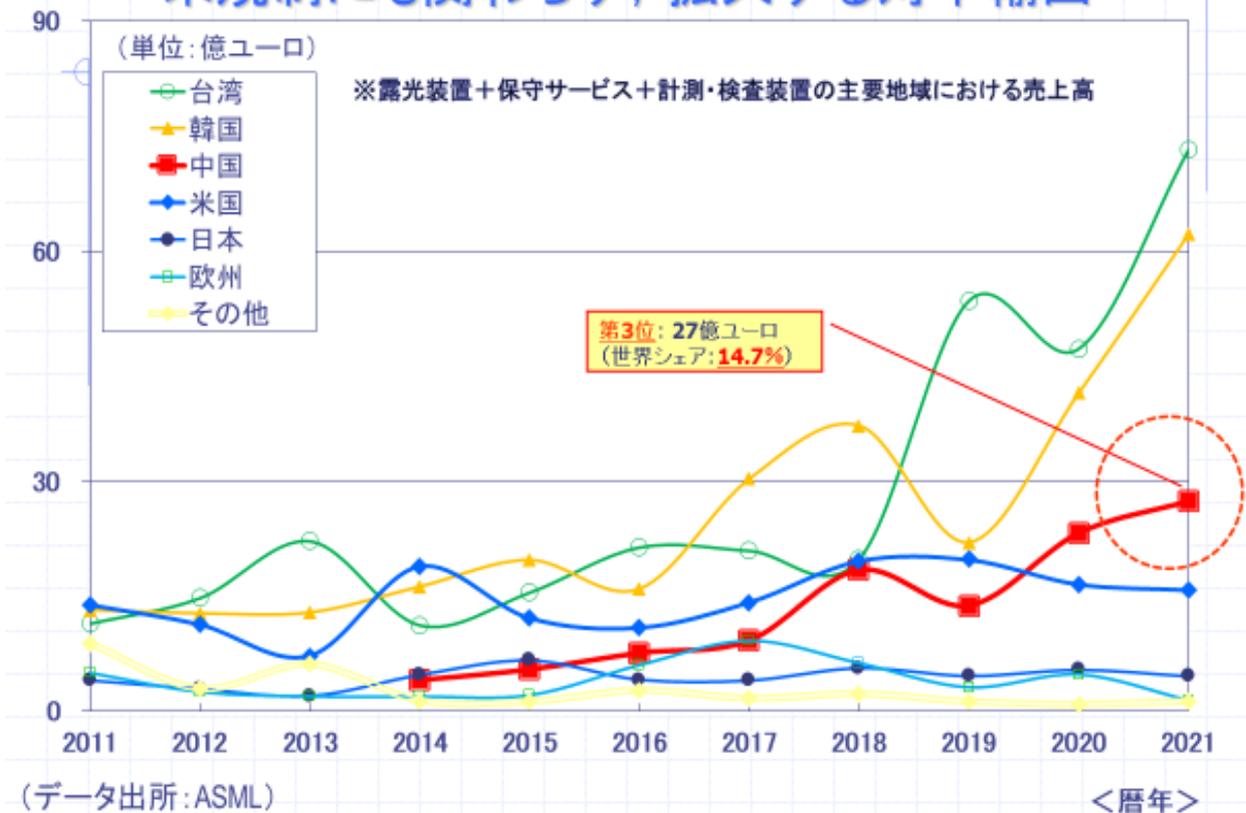
具体的には、EL に記載された事業体へ米国製品（米国原産の物品の他、ソフトウェア・技術含む）を輸出・再輸出する場合、通常は輸出許可が必要ない品目でも、この措置に基づき米国政府による事前許可が必要となる。しかも、米国国外にある全ての米国原産品目、及び米国原産品目

⁵2020 年 12 月 23 日付・ジェトロ「[ビジネス短信](#)」記事参照。

を組み込んだ非米国産品の再輸出についても規制対象となる。また、EAR の法的効果は強力で、米国の管轄権の及ばない第三国による取引にも域外適用されるため、商品が米国から直接輸出される場合だけでなく、第三国からの輸出取引についても適用される厳しいものだ。米国政府は、SMIC の EL 追加告示の中で具体的に「10nm 以下」を基準として、当該クラスの半導体生産に必要となる先端技術について SMIC への輸出は「原則不許可 (Presumption of denial)」扱いとすることを明記している。このため、オランダの ASML の生産拠点から EUV 露光装置 (同社の EUV 露光光源は同社が 2013 年 5 月に買収した米国企業・サイマーが主に供給) を中国市場に輸出することは事実上、不可能と考えられる。

他方、ASML の 2021 年度・業績発表によると、同社の地域別売上高 (図 2. 参照) で最大の台湾 (シェア : 39.4%)、韓国 (同 33.4%) に続いて、中国 (同 14.7%) が計上されている。このことから、ASML の露光装置が全面禁輸となっている訳ではなく、EUV 露光装置以外の EAR に抵触しない機種については、2021 年度も引き続き中国市場に輸出されていたと考えられる。

図 2. ASML・地域別売上高の推移
 — 米規制にも関わらず、拡大する対中輸出 —



ASML が SMIC から露光装置の供給事業者として初めて認定されたのは 2002 年 1 月に遡るが、

当時は i 線⁶と深紫外線 (DUV) ⁷露光装置の供給を前提とする取引関係だった。両社のビジネスはその後にも拡大、SMIC は ASML との大口調達契約 (約 4 億 5,000 万ユーロ相当) の調印を 2014 年 10 月に発表している。当時、SMIC は加工線幅「32nm」クラスの半導体量産のための露光装置の導入を進めるとしていた。この時、ASML のペーター・ウェニク最高経営責任者 (CEO) は「中国は我々にとって重要な市場で、今回の契約を通じて我々は存在感を高め、中国顧客に対してより強固な脚掛かりを確保できると期待している」と語り、SMIC 以外の中国半導体メーカーに対するビジネス拡大にも意欲を示す発言を行っている。また、両社は 2018 年 1 月にも、新たな DUV 露光装置の大口調達契約を発効 (当初の契約期限は 2020 年 12 月末までの 3 年間) させた。

その後、ASML のロヘル・ダッセン最高財務責任者 (CFO) は 2020 年度・第 3 四半期の業績報告に伴う記者会見 (2020 年 10 月) で、米国政府による SMIC に対する輸出規制に伴う ASML 事業への影響について問われ、「我々は DUV 露光装置について輸出許可はなくとも、オランダから当該中国顧客 (=SMIC) に出荷することはできる (“We will be able to ship DUV lithography systems from the Netherlands to such Chinese customers without an export license.”)」と発言。DUV 露光装置について、中国企業との取引を継続する姿勢を示した。

ASML は 2021 年 2 月に公表した「2020 年度・年次報告書」の中で、米中関係の緊張について言及し、「(世界各国での) 輸出規制強化に伴い、世界貿易はグローバル (国際化) からリージョナル (地域化) に移行しつつある。この結果、サプライチェーンの分断 (a decoupled ecosystem) が引き起こされる」として、米中摩擦に伴う規制強化の動きに警戒感を滲ませた。また、こうした通商摩擦や保護主義の動きは今後も続くとの見方を示した上で、米国の EAR を念頭に、米国当局が企業の対中ビジネスに対する制限措置を講じたことによって、世界の半導体産業のビジネスに影響が出ていると指摘。今後、この影響は最終市場にも波及し、半導体などの価格上昇やサプライチェーン混乱を引き起こすと警鐘を鳴らした。また、この回避のため、半導体産業はサプライチェーンの見直しを余儀なくされているとも述べ、米国政府の輸出規制強化の動きに懸念を示している。

その後、ASML は 2021 年 3 月の発表で、DUV 露光装置に関する SMIC からの大口調達契約を 2021 年 12 月末までの期限付きで延長したことを明らかにした (合意: 2021 年 2 月)。これは 2018 年 1 月発効の大口調達契約 (上記) を両社の合意で更に延長したものであるが、ASML の発表によれば、2020 年 3 月~2021 年 3 月までの約 1 年間で両社の契約に基づく (SMIC の) 調達金額は 12 億ドルに達したという。

⁶水銀スペクトル線である i 線 (波長 365nm) を光源とした縮小投影型露光技術。深紫外線 (DUV) 露光の前世代技術と位置付けられ、微細化への対応には限界があるが、調達コストが抑えられるため、現在でも生産ラインで活用される。

⁷エキシマレーザが発する強い深紫外線 (Deep Ultra-Violet: DUV) を光源に用いる縮小投影型露光技術。「希ガス (大気中に極微量含まれる希少ガス)」と「ハロゲンガス (フッ素)」の混合ガスを媒質として生成したエキシマレーザ光を露光光源に利用する。クリプトン (Kr) とフッ素 (F) の混合ガスによるものを KrF エキシマレーザ (波長 248nm)、アルゴン (Ar) とフッ素 (F) の混合ガスによるものを ArF エキシマレーザ (波長 193nm) という。

2. 米国有識者は更なる規制強化を政府に提言

こうした中、米国議会のマルコ・ルビオ上院議員とマイケル・マコール下院議員（共に共和党）は 2021 年 3 月に連名で、米国商務省のジーナ・レモンド長官に書簡⁸を送り、DUV 露光装置についても「オランダ政府を説得し、ASML による SMIC への出荷を阻止するように働き掛けるべき」と提言した。

両議員は書簡の中で、米国の人工知能国家安全保障委員会（NSCAI）⁹が 2021 年 3 月に大統領と議会に対して提出した「最終報告書¹⁰」について言及。この最終報告書が米国政府に対して、DUV 露光装置を含めてコア技術に関わる中国への輸出許可を拒否する態勢整備を勧告している点を強調した。同報告書は特に今後、量産展開が本格化する EUV 露光装置に留まらず、現時点で既に（SMIC の）生産ラインでの活用が進んでいる DUV 露光装置についても輸出規制の対象とすることを米国・国務省及び商務省にもとめている。

両議員によれば、SMIC は中国共産党軍民複合企業であり、中国政府が進める軍民融合戦略に加担していることから、米国の国家安全保障に対する“明確な脅威”と断じている。両議員は、SMIC に対する半導体加工線幅の規制基準を「16nm」クラスに設定（16nm 以下の生産プロセスを可能にする設備・技術の供給を規制対象と）すべきことを米国商務省に具体的に要請した。2020 年 12 月の SMIC の EL 追加措置は 10nm 以下の最先端クラスを対象としていたが、両議員の提案には SMIC による（最先端ではない）量産フェーズの生産ライン新設・増強も阻止する意図があり、輸出管理規制のレベルとしては“一步踏み込む”恰好となる。

この提言が実現した場合、SMIC の事業運営への影響は無視できないことが想定される。SMIC は 2015 年 6 月、中国・通信システム最大手の華為技術（Huawei）と米国の移動体通信用半導体ファブレス¹¹のクアルコム、欧州の独立系非営利・先端技術研究機関である imec（本部：ベルギー フランダース地域・ルーヴァン）と共同で次世代ロジック半導体開発を行う中芯国際集成電路新技術研究開発（上海）を設立（図 3. 参照）、2020 年までに 16～14nm クラスの半導体量産を中国国内で行うことを目標に掲げていた。米国政府が EAR に基づく輸出規制の対象を「16nm」クラスにまで拡大（厳格化）した場合、ASML は次世代機種のエUV 露光装置だけでなく、現在量産ラインで採用されている DUV 露光装置の一部（ArF 液浸・ArF-i）についても SMIC への輸出が「原則不許可」となる公算が大きい。となると、このプロジェクトの成果である、中国での 14nm クラスの生産ライン新設・増強に“横槍”を入れられる恰好となる（既存設備の保守サービスも得られなく可能性もある）。

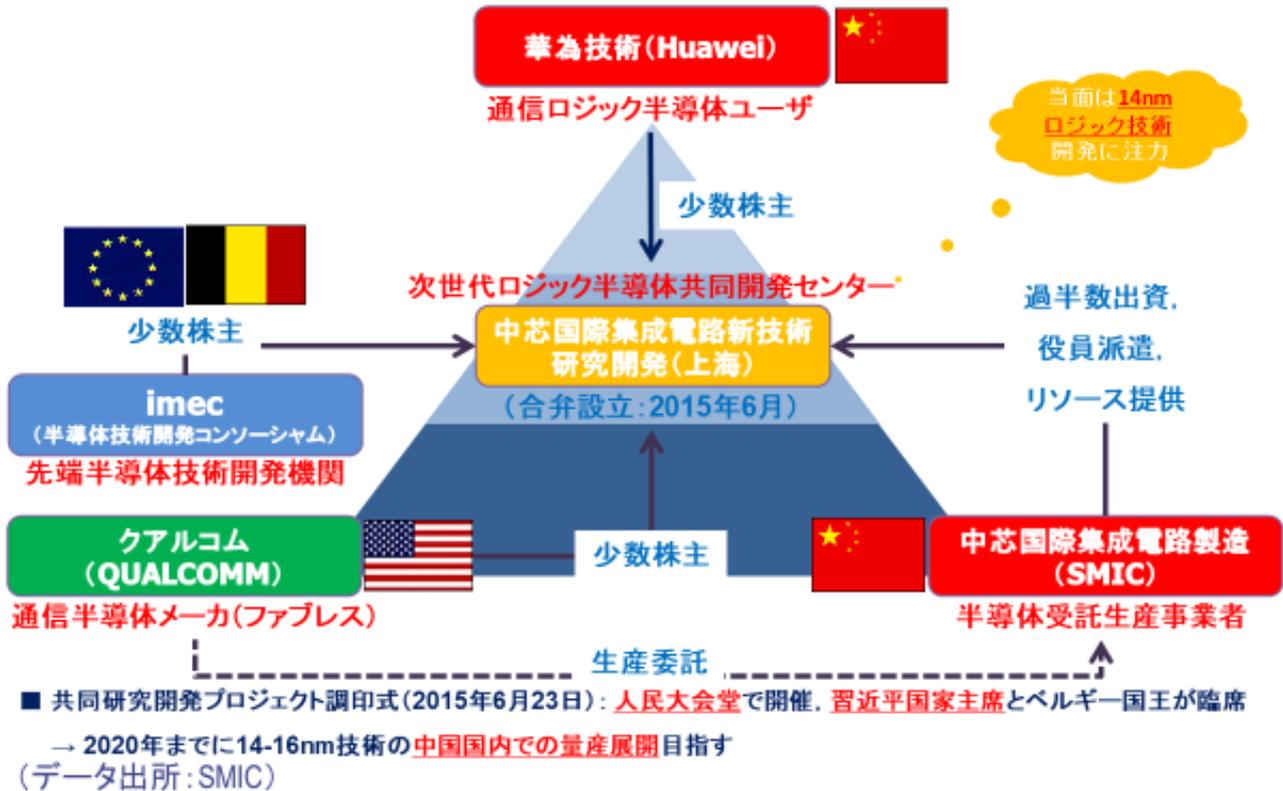
⁸2021 年 3 月 18 日付「[書簡](#)」。

⁹独立的な立場から米国の政権・連邦議会に対して政策提言を行う時限的専門機関。

¹⁰国家安全保障の観点で米国の AI 技術の優位性を維持し、包括的・永続的な国家アプローチを創出することを目的として作成された 2021 年度「[最終報告書](#)」。

¹¹生産ライン・設備を保有せず、自社ブランドの「回路設計」に事業を特化させた経営形態の半導体メーカ。クアルコム（移動体用半導体）、NVIDIA（GPU）、ブロードコム（無線通信用半導体）などトップ企業が米国に集積する。

図3. SMIC・先端技術開発プロジェクト事例 — 欧米中による垂直統合型半導体開発 —

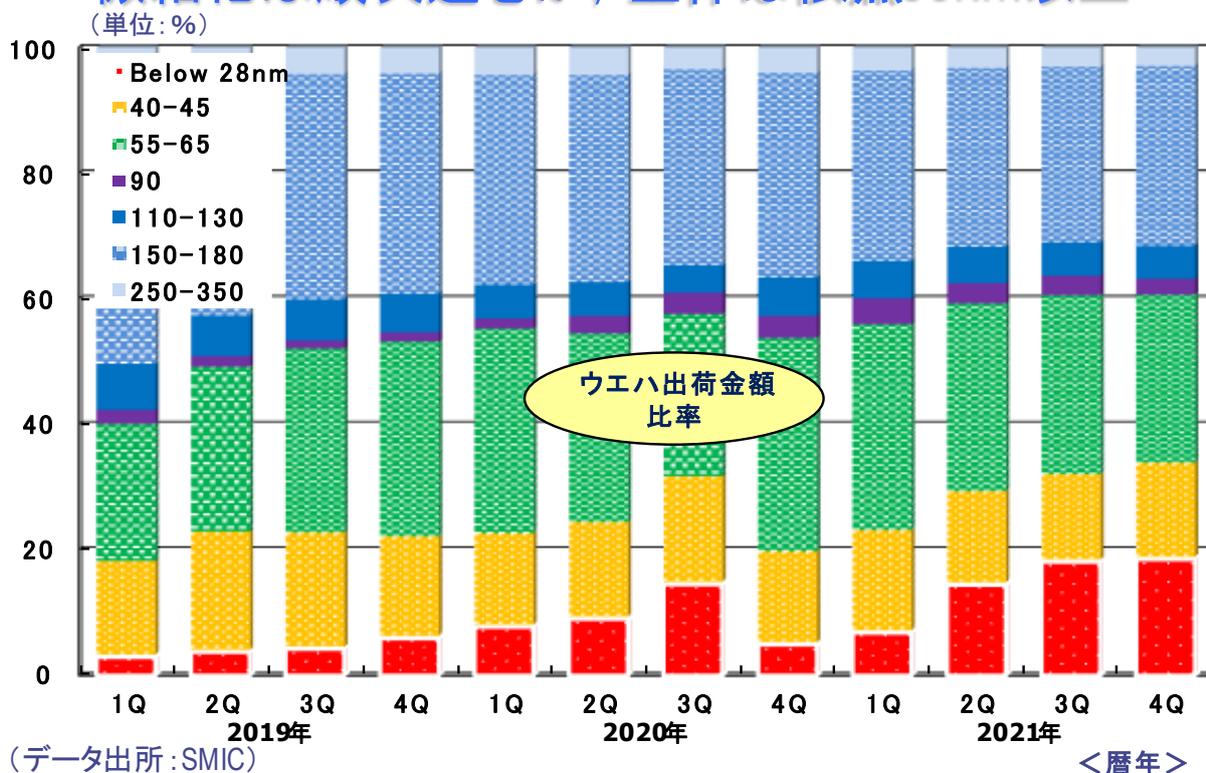


なお、SMIC の 2021 年度・第 4 四半期業績報告によると、同社の生産プロセスとしては 55nm 以上の加工線幅のウエハ売上高が全体に占める割合（図 4. 参照）は依然として 7 割近いが、微細なプロセスとしては 28nm 以下クラスの同割合も 18.6%まで拡大している。更に時期を遡ると、2019 年度・第 4 四半期～2021 年度・第 1 四半期までは同社が最先端の加工線幅として 14nm クラスのウエハ出荷を行っていたことを業績報告の中で開示（売上高区分として明記）していた。その中、2019 年度・第 4 四半期と 2020 年度・第 1 四半期の 2 回の業績報告では 14nm クラスを単独で切り出してウエハ出荷金額比率を開示していた（各々 1.0%と 1.3%と僅か）。

SMIC としては、中芯国際集成电路新技术研究開発（上海）の次世代ロジック半導体開発プロジェクトの成果である、中国での 14nm クラスの量産化が目標より早く、2019 年度・第 4 四半期に実現していたことを内外にアピールする狙いがあったものと考えられる。プロセス導入初期で稼働や歩留が安定していない可能性はあるが、SMIC は 14nm クラスの量産技術を確立しているものと見られる。

なお、事情は不明だが、2021 年度・第 2 四半期以降は 14nm に関わる同社の業績報告上の記載・開示は見直され、28nm 以下という表示に集約された。

図4. SMIC・生産ライン加工線幅の状況 — 微細化は順次進むが、主体は依然55nm以上 —



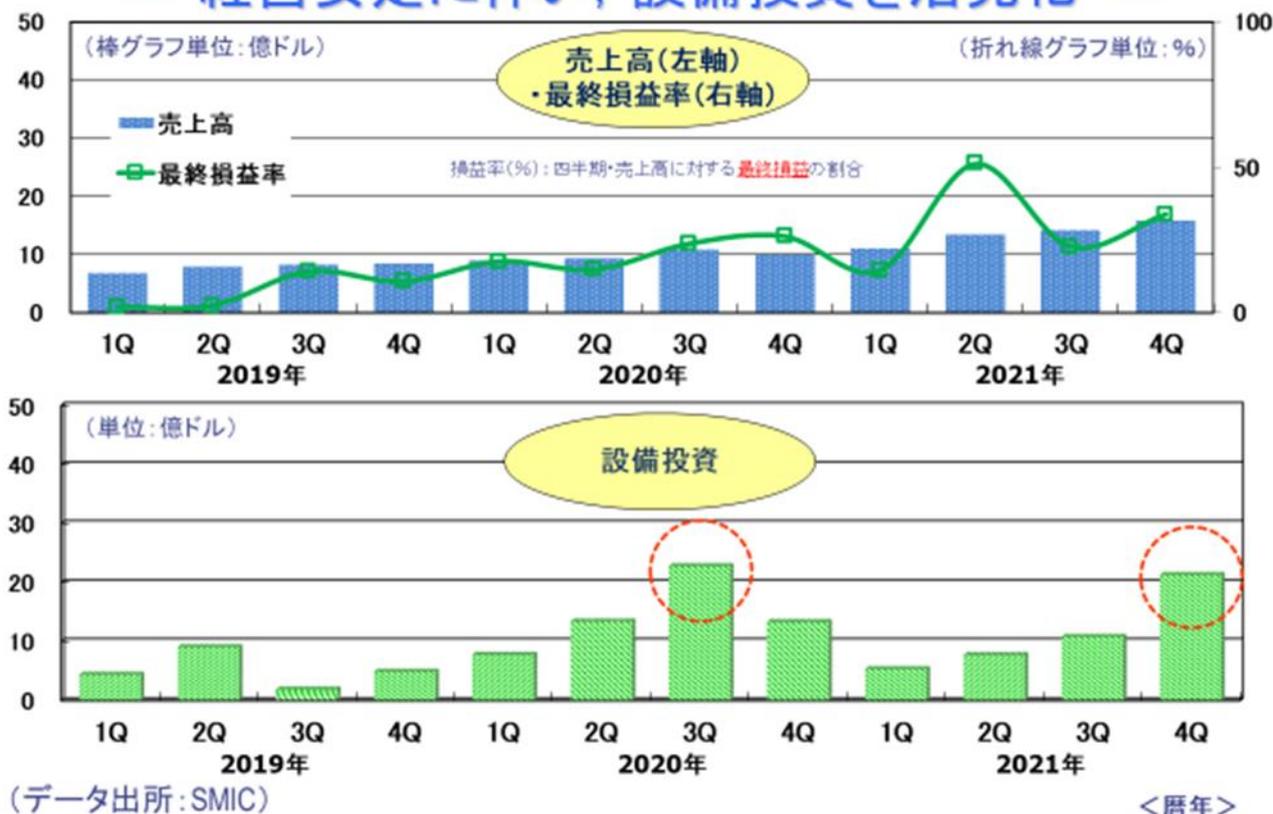
SMICにとって、米国政府による2020年12月の「10nm以下」の生産プロセスを対象とする輸出規制は“将来（次世代）”の生産計画や設備投資に影響を及ぼすものだが、両議員の提案は“現在（現行世代）”の生産ラインの運営・増強を不安定化するもので、相対的に経営への打撃がより大きいものと見られる。

こうした状況との因果関係は不明ではあるが、SMICはここ数年、旺盛且つ集中的な設備投資（図5参照）を展開している。2019年度後半から収益が安定してきたこともあるが、2020年度以降、四半期単位で見ると売上高を大幅に上回る巨額の設備投資額を度々計上（2020年度は通年でも、売上高：39億ドルに対して、設備投資額：57億ドル）している。SMICとして、米国政府による同社をターゲットにした輸出規制強化の動きを睨みながら、今後の量産展開に必要な設備調達・確保を急いでいることが想定される。

なお、NSCAIの最終報告書は、米国単独ではなく、オランダ、日本を名指しして、これら2カ国と米国が“脚並みを揃えて”中国に対する輸出規制を課すことの重要性を指摘している。DUV露光装置の主要供給企業を抱えるオランダ及び日本の政府と連携して、輸出管理規制の対象をSMICが既に量産展開している「16nm以下」のプロセスにまで拡大する“共同包囲網”の構築を目指す姿勢だ。同報告書は「中国への当該装置の輸出許可を実質的に拒否する政策を米国、オランダ、日本で実現すべき」と提言、主要供給企業の動きを押さえて“ループホール（抜け穴）”を排除することで政策効果を高める狙いがあるものと見られる。現時点で、こうした国際連携まで企図した米国の“対中包囲網”の展開には未知数の部分があるが、実現した場合、ASMLの中国

事業が停滞することは避けられないだろう。

図5. SMIC・主要業績推移
 — 経営安定に伴い、設備投資を活発化 —



3. カギを握る ASML の優位性の背景

この米中摩擦の“最前線”に置かれた恰好の ASML であるが、特に次世代半導体技術である EUV 露光装置の開発で、どのように世界をリードする優位性を確立するに至ったのだろうか。

オランダ総合電機大手フィリップスとオランダ半導体製造装置メーカーの ASM インターナショナルの合弁企業として 1984 年に設立された ASML だが、世界の露光装置市場で“最大手”の供給企業として名乗りを上げたのは 2002 年（発表：2003 年 5 月）であった。この前年に ASML は米国同業シリコンバレー・グループ (SVG) の買収（買収額：18 億ユーロ）を完了（2001 年 5 月）。SVG は ASML として市場参入が遅れていた米国のインテル（当時、世界半導体最大手）を主要顧客としていたため、この買収が ASML の世界シェアを押し上げる恰好となった。

また、この買収に伴うインテルとの新たな関係構築は ASML の事業戦略上、極めて重要な意味をもつこととなる。2002 年 4 月、当時は開発初期段階にあった EUV 露光装置・試作機（初号機）についてインテルから正式な受注（納入：2005 年後半）を獲得したからだ。これは同社、そして半導体産業としても初めての出来事であった。当時、EUV 露光装置は光源開発、フォトレジスト

開発、生産ライン設計など様々な技術的課題に直面、多くの半導体メーカーはこの段階での導入に“及び腰”だった。

その後、ASMLは2006年8月にimecと米国のニューヨーク州立大学 オルバニー校・ナノスケール理工学カレッジ (CNSE) に各々EUV露光装置・デモ機を納入することを発表。欧米両地域でEUV露光装置の量産展開に向けた検証作業が始まった。そして、2010年2月にはTSMCからプロセス技術開発のためのEUV露光装置(プロトタイプ機)の受注に成功した。

量産向けのEUV露光装置のASMLに対する発注が本格化するのには2013年以降のことだが、ここでもインテルは重要な役割を果たした。EUV露光装置の開発コスト問題¹²を解決するため、ASMLは露光装置ユーザに対して「顧客共同投資プログラム(CCIP)」を提案(発表:2012年7月)したが、この提案に最初に手を差し伸べたのがインテルだった。インテルはASMLのEUV露光装置に関わる5年間の開発コストの一部(8億2,900万ユーロ相当)を負担することを条件に、最大15%までのASML株式持ち分を取得、開発成果(次世代露光装置)の優先調達権を獲得した。また、このインテルのCCIP参画が“呼び水”となり、2012年8月にはTSMC(負担:2億7,600万ユーロ)とサムスン電子(負担:2億7,600万ユーロ)が各々同様の条件でCCIP参画を表明している。半導体生産の世界トップ企業3社¹³から次世代EUV露光装置開発に対する財政支援を引き出すと同時に、次世代機種種の先行受注を獲得するASMLの鮮やかな経営戦略と言える。

ASMLの優位性の背景には、こうした外部利害関係者との巧みな“共存共栄”関係(ネットワーク)の構築がある。これはASMLに対する部品(コンポーネント)の供給企業との関係も同様である。例えば、露光装置の主要部品である光学レンズの主な供給を専業メーカーのCarl Zeiss SMT(本社:ドイツ・オーバーコッヘン)に依存しているが、ASMLはCarl Zeiss SMTに10億ユーロを投資(出資比率:24.9%)、次世代EUV露光装置用光学レンズのための設備投資・開発コストとして6年間で7億6,000万ユーロ負担することを2016年11月に発表している。また、Carl Zeiss SMTのレンズ供給の戦略的重要性に配慮し、製作中のレンズ仕掛品在庫に対して金利を課さない前払い(ASMLの会計上は前払費用として計上)を認めている。同社は川上・川下の双方に対して長期的な互惠関係を重視している。

現在、EUは次世代半導体(3~2nmクラス)の量産に向けた開発を急いでいるが、ここでもASMLはネットワーク組成力を発揮。自らが幹事を務めるプロセス開発プロジェクトに外部利害関係者を結集させ、プロジェクト予算の2割以上をEU研究開発助成(補助金)(図6.参照)で賄うことに成功している。

¹² EUV露光装置価格は旧来機種と較べて極めて高価である上、生産ラインでの本格採用までに相当の長い時間が掛ったため、殆ど収益を生み出せない状態での巨額の開発コスト負担が大きな問題となっていた。

¹³ 米国・半導体産業調査会社 IC Insights・2021年12月20日付発表([2021年半導体出荷ランキング](#))参照。

図6. ASML・EU研究開発助成の活用 — 少ないR&D経費負担で先端技術研究を主導 —

- 3nmプロセス開発(TAPES3) (プロジェクト期間:2018年10月~2022年1月)
 - ・研究内容: **3nm**プロセス実現のための露光技術、**EUVマスク技術**の開発・実証
 - ・目標: 研究成果について、**imecの試作ライン**で実証
 - ・プロジェクト総予算: 1億2,112万ユーロ(EU補助率:**23.3%** 右・円グラフ参照)
 - ・参加: 26企業・機関(幹事:**ASML**) ※日系:**JSR**ベルギー法人



- 3nmプロセス最適化(PIN3S) (プロジェクト期間:2019年10月~2023年1月)
 - ・研究内容: **3nm**プロセス試作ライン構築を通じた最適技術の追究
 - ・目標: 先端半導体メーカーの**量産導入に2年先行**し、新しい設備・材料を供給
 - ・プロジェクト総予算: 1億1,924万ユーロ(EU補助率:**22.4%** 右・円グラフ参照)
 - ・参加: 23企業・機関(幹事:**ASML**) ※日系:なし



- 2nmプロセス開発(IT2) (プロジェクト期間:2020年6月~2023年5月)
 - ・研究内容: **2nm**プロセスに必要な要素技術(**次世代EUV含む**)の開発・実証
 - ・目標: 2nmプロセス技術開発における**欧州の主導権確立**
 - ・プロジェクト総予算: 9,131万ユーロ(EU補助率:**22.8%** 右・円グラフ参照)
 - ・参加: 31企業・機関(幹事:**ASML**) ※日系:なし



- 2nmプロセス効率化(ID2PPAC) (プロジェクト期間:2021年6月~2024年5月)
 - ・研究内容: コスト・電力消費などで**効率性の高い2nm技術**(**EUV量産活用**)を追究
 - ・目標: 2025年までにEUVを活用した2nmプロセスの量産展開
 - ・プロジェクト総予算: 1億734万ユーロ(EU補助率:**23.2%** 右・円グラフ参照)
 - ・参加: 26企業・機関(幹事:**ASML**) ※日系:**JSR**ベルギー法人



(データ出所: 欧州共同体研究開発情報サービス・CORDIS)

例えば、ASML が幹事を務め、EUV 技術の量産展開を念頭に置く 2nm クラスの生産プロセス効率化プロジェクト (ID2PPAC : 図 6. 最下部) では、総予算 1 億 734 万ユーロの中、23.2%に相当する 2,486 万ユーロが EU の研究開発助成で賄われる他、imec やフラウンホーファー研究機構など公的研究機関も負担するため、個々の企業負担は相対的に軽減されている。また、カールツァイス SMT など ASML の取引先企業もプロジェクトに参画、経費の一部を負担している。プロジェクト参画企業の国籍もオーストリア、ベルギー、チェコ、ドイツ、スペイン、フランス、オランダの EU 加盟 7 カ国の他、イスラエル (EU 域外) も含まれる。なお、日系化学企業の JSR (フォトレジストの世界トップ企業) のベルギー法人も参画しており、日本のビジネスとも無縁ではない。こうした幅広い外部利害関係者のネットワークをオープン・イノベーションの交流機会として活用するに留まらず、具体的に事業化する“術”に長けている点も ASML の優位性なのだ。

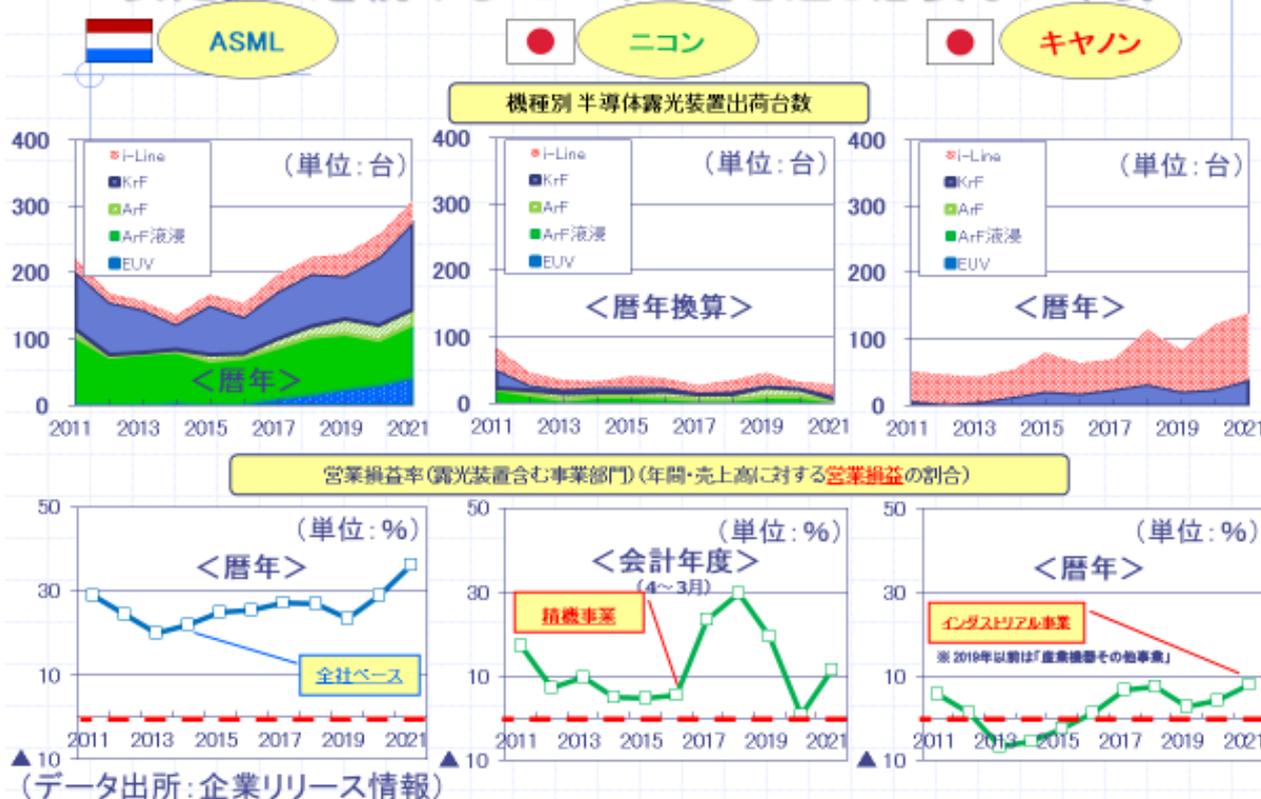
なお、ASML は EU プロジェクト以外でも、国際企業連携を積極的に展開、具体的な事業化を進めている。近年でも imec との間で「imec・ASML 次世代 (高 NA) EUV 技術研究所」(本部: オランダ・フェルトホーフェン) を共同設立 (2018 年 10 月) し、ポスト 3nm クラスの半導体微細化技術の確立を目指している。ASML は imec のクリーンルームを活用し、新モデル露光装置の技術的課題 (信頼性、歩留、スループットなど) を解析、共同研究し、解決策を参画企業に共有している。また、ここにも日系企業とのビジネス関係があり、日系半導体製造装置最大手の東京エレクトロン (TEL) は同研究所との開発連携を 2021 年 6 月に発表している。TEL は ASML が

2023 年より出荷予定の次世代露光装置に組み込む（インライン）塗布現像装置を共同開発するとしており、日欧トップ企業同士の戦略的提携として注目される。

EUV 露光装置は極めて高価¹⁴であるため、直接的な利益を生み出さない研究開発のために個社で調達するのは効率的ではない商品である。このため、imec のような非営利研究機関が投資・導入し、プロジェクト参画企業と共同で利用できるオープンな開発環境を整備することが肝要となっている。こうしたシステムは半導体産業にとっては重要な“社会的資産”と考えることもできる。欧州では imec と ASML を中心に半導体開発の効果的な“技術サロン”が機能し、日系企業を含めて世界の半導体生産設備・材料のトップ企業が集積、イノベーションを促進する構造（欧州型オープン・イノベーション）が出来ているのだ。

この他、ASML は露光装置以外の事業部門をもたない“専業”メーカーであることの強みを活かし、露光装置に関しては顧客需要のある主要な商品ポートフォリオ（図 7. 参照）全てに対応し、これに併せて新たな露光光源を他社に先駆けて商品化して来た点も ASML の事業運営の特色のひとつである。次世代露光光源の事業化には巨額の開発コストが掛るが、上記の各種協業スキーム

図7. 世界・露光装置3社の事業状況
 — 安定拡大を続けるASML, と巻き返し必要な日本勢 —



¹⁴ ASML の 2021 年度・年次報告書記載の露光光源別 出荷金額と出荷台数から推計すると、EUV 露光装置の出荷単価が 1 台当たり約 1 億 5,000 万ユーロであるのに対して、ArF 液浸: 約 6,100 万ユーロ、ArF (ドライ): 約 2,000 万ユーロ、KrF: 約 1,000 万ユーロ、i 線: 約 400 万ユーロであり、次世代機種 (EUV) と旧来機種との間に大幅な価格差が存在する。

を駆使して、様々な資金ソースを合理的・効果的に活用し、高い収益性を持続している。
ここまでの ASML の優位性のポイント整理は以下の通り。

- 企業買収 (M&A) の効果的活用 (SVG 買収を通じた米国市場攻略など)
- 有力顧客企業との“共存共栄”関係構築 (インテル、TSMC、サムスン電子から EUV 露光技術開発のための資金調達⇔先端露光装置開発への出資企業に対する優先供給)
- 基幹部品メーカーに対する財政支援 (カールツァイス SMT への光学レンズ開発資金投下)
- オープンな開発環境の整備 (EU 技術開発助成や imec などをも有効活用し、外部利害関係者と柔軟且つ有利に先端技術開発を行うネットワークを形成)
- トップ企業が集う“技術サロン”を形成、共同作業成果を具体的に商用・事業化 (imec・ASML 次世代 EUV 技術研究所での TEL とのインライン装置開発での連携)
- 高付加価値商品のタイムリーな展開 (DUV や EUV など新たな露光光源を逸早く商品化)

4. 深刻な半導体不足に直面した欧州で始まる国内生産回帰

欧州自動車工業会 (ACEA) は 2022 年 1 月、2021 年 (暦年・通年) の欧州¹⁵での新車登録台数 (約 1,177 万台) が、新型コロナウイルスの影響で低迷した 2020 年の水準 (約 1,196 万台) から更に 1.5%減少したと発表。この新車登録低迷について、2021 年下半期において自動車生産に「半導体不足」が悪影響を及ぼした結果と ACEA は分析した。

ACEA は 2021 年 10 月に明らかにした声明で、世界的な半導体需給逼迫の問題を自動車産業の立場から問題視。「欧州の技術主権 (Technological sovereignty)¹⁶を強化し、外国企業への (供給) 依存を低減すべき」「EU の半導体生産能力を迅速に高める必要がある」と訴えている。

この声明の中で ACEA は欧州における半導体需給逼迫の要因として、①新型コロナウイルスの世界的蔓延時にコンピュータやスマートフォンなどのエレクトロニクス機器需要が大幅拡大、半導体の供給力を上回り、品薄状態に陥ったこと、②半導体の生産国における新型コロナウイルス対策 (都市封鎖・ロックダウンなど) に伴う操業停止、サプライチェーンの混乱があるとしている。欧州でも、消費者の新車購買意欲が回復しつつある中で、半導体払底のために生産拠点の安定した操業に支障がある上、半導体の希少性から車両部品の価格上昇も起こり、納車遅延などの自動車市場での購買意欲への悪影響を座視せざるを得ないと指摘。欧州自動車産業は非常に苦しい状況に直面していると吐露している。

ACEA によれば、この半導体払底は「2022 年まで続く長期的な問題」であり、こうした問題の再発防止措置として、EU 域内での半導体生産能力の拡大することの重要性を強調している。欧州の自動車産業としては、最先端の加工線幅が 2nm クラスの半導体需要もあるが、28~14nm クラ

¹⁵ EU 加盟国の中、マルタを除く 26 개국とアイスランド、ノルウェー、スイス、英国での新車登録台数の合計。

¹⁶ 欧州委員会のウルズラ・フォン・デア・ライエン委員長は 2021 年 9 月発表の「一般教書演説」の中で、最先端半導体の生産をアジア企業に依存している EU の現状を問題視、「産業競争力の問題」であるだけでなく、「技術主権に関わる問題 (a matter of tech sovereignty)」と指摘した。

スの半導体の確保が優先課題だとも指摘している。現時点で 7nm 以下の加工線幅の半導体に対する需要は、特殊アプリケーションのものに限定されているという。

こうした欧州産業界の問題提起を踏まえて、EU の執行機関である欧州委員会（以下、欧州委）は 2022 年 2 月、「欧州半導体法（European Chips Act）」を欧州議会、EU 理事会に提案（図 8. 参照）した。欧州委のフォン・デア・ライエン委員長が 2021 年 9 月に発表した「一般教書演説」（欧州委が今後 1 年間の施政方針を欧州議会に対して表明したもの）の中で、半導体の EU 域内供給強化の重要性を訴え、今後、EU 域内での研究・設計・検査などの連携や、加盟国によるバリューチェーンへの投資の調整を欧州委として進め、最先端半導体に関わる域内エコシステムの確立を目指す考えを示し、「欧州半導体法」案の準備を進める方針を明らかにしていたが、これを受けての提案である。

図8. EU「欧州半導体法」案について — 先端技術開発・生産増強と危機対策に重点 —

■ 欧州委、「欧州半導体法」案提示(2022年2月8日)

- ・EU域内に**先端半導体エコシステム**（生産含む）構築
- ・「産業競争力強化」<「**技術主権**（"Technology Sovereignty"）確立」
→「コア技術」の**外部依存脱却**を目指す

■ 問題意識



■ 具体策

- ・「欧州のための半導体イニシアチブ」設置
：次世代半導体の技術開発や試作の生産ライン増強など
- ・「半導体安定供給に向けた支援フレームワーク」策定
：先駆的なプロジェクトに対する**国家補助の柔軟化・迅速化**など
- ・「半導体安定供給に向けた監視と危機対応のための連携」
：半導体需給状況の分析・予測、**需給危機時**に生産者への**供給命令**など

■ 財政：官民追加投資(150億ユーロ)＋既存プロジェクト＝**430億ユーロ**
(出所：欧州委員会)

欧州委の「欧州半導体法」案は、米国の 2021 会計年度・国防授權法の一部として既に成立している「半導体製造支援の枠組み（CHIPS for America Act）」（予算：520 億ドル）を強く意識した内容で、同法案で追加を決めた官民投資の 150 億ユーロ超と、既存の半導体関連の技術開発助成や EU 加盟国レベルの支援予算を合わせて 430 億ユーロ超の半導体産業振興のための投資を推進、世界の半導体生産に占める EU 域内生産の比率を 2030 年を目処に 20%まで拡大（欧州委の発表では

現在の同比率は 10%程度) することを目標に掲げている。

米国の「半導体製造支援の枠組み」や他の先進国の取り組みと同様で、欧州委は 2020 年以降の半導体払底と半導体供給の外国（東アジア）依存に対する問題意識を念頭に、域内生産・域内調達を強化するため、欧州半導体産業を支援する。欧州委は 2021 年 3 月、EU としての 2030 年までのデジタル化戦略である「デジタル・コンパス 2030」を公表。2030 年までの期間を EU としてのデジタル化実現の 10 年と位置付け、そのための「人材育成」「社会基盤整備」「ビジネス活性化」「公的部門のデジタル化推進」について具体的な数値目標を掲げ、この中で半導体の世界生産（金額ベース）に占める EU（域内生産）の比率を少なくとも 20%まで引き上げる方針を明らかにしていた。また、2021 年 7 月には「欧州プロセッサ・半導体技術産業連盟」を立ち上げ、半導体生産の微細化技術について、次世代プロセッサを視野に 5~2nm クラスまで高める計画を示している。

「欧州半導体法」提案に対する欧州主要関係産業団体の反応は総じて肯定的で、欧州半導体産業協会（ESIA）や欧州家庭用電気機器産業協会（APPLiA）は支持を表明している。欧州の電機・電子産業団体であるデジタル・ヨーロッパも概ね支持姿勢だが、2022 年 2 月 8 日付の声明で「地政学的にバランスのとれた生産体制構築が枢要で、価値観を共有する国々（同志国：Like-minded countries）との協調が不可欠」と国際連携の必要性を助言した。

また、ASML も個社として「欧州半導体法」提案に対する見解を 2022 年 2 月 8 日付の声明で公表しているが、同社も基本は歓迎姿勢を示しつつ、“方法論”として「単に半導体生産増強のみに重点を置くべきではない」「世界の半導体エコシステムに“欧州の役割”（世界が欧州に依存する関係性）を明らかにすべき」と注文を付けている。世界の有力半導体メーカ“御三家”であるインテル、TSMC、サムスン電子を主要顧客にもつ ASML は世界の半導体産業の“力学構造”を熟知しており、現時点で世界的競争力をもつ半導体メーカに限られる欧州が単独で政策主導による半導体産業振興を図ることの限界を指摘したものと考えられる。極端な表現だが、「ファブレスの米国」「ファウンドリの台湾」「メモリ（DRAM）の韓国」「半導体材料の日本」と半導体産業に関わる主要国は独自の“御家芸”をもっており、特定分野で世界の技術をリード、影響力を握る。

ASML は声明の中で、「欧州のチャンピオン企業・機関の潜在性を有効活用せよ（Maximize the potential of European champions）」とも指摘。EUV 露光装置で世界市場に影響力をもつ同社や、先端プロセス技術開発で世界をリードする imec などの“役割”を活かすこと、自動車、産業機械など欧州が競争力をもつ半導体分野での主導力を確立することの重要性を訴えている。世界の半導体エコシステムにおける欧州の“立ち位置”を明確にし、“戦略的方向性”をもった半導体産業育成が肝要ということだ。

なお、欧州委のフォン・デア・ライエン委員長は 2021 年 11 月、ASML 本社を訪問し、同社について「技術分野において、欧州の競争力を更に向上させ、主導的な地位を確立するための我々の取り組みに対して、重要な役割を果たすことになるだろう」と語っている。

高度に国際分業が進んだ半導体産業において、“完全自前”の半導体エコシステムを特定国内に再構築することは最早不可能¹⁷であり、相互依存を前提とする関係を維持するのであれば、先述のデジタル・ヨーロッパの声明にある「価値観を共有する国々との協調」という視点が重要となるだろう。これらの有志国連合の中で“有利な立ち位置”を得るためには他の有志国に自国産業の価値・優位性を認めさせる必要があり、そのためにも“御家芸”となる産業・技術・人材の更なる育成が不可欠と考えられる。

経済安全保障の観点で、今後、米欧日などでサプライチェーン強靱化のため、国内・域内の生産拠点の構築・増強の動きが活発化するものと考えられる。ただ、各国が地域主義的意図で無秩序に生産拠点展開を進めることが、世界の半導体エコシステムとして効率的とは考え難い。各々の“御家芸”を尊重、有効活用しながら、相乗効果を発揮する効果的なエコシステム構築が望まれている。

5. 半導体に関わる我が国産業の立ち位置と国際連携

ここまで、次世代露光装置で世界をリードする ASML という欧州企業の視点で、「米中摩擦」「欧州半導体法」案をめぐる動きを概観したが、我が国の半導体産業の“立ち位置”、“戦略的方向性”を考える上で、どのような政策的示唆があるのだろうか。

まず、本稿の中心テーマとなっている露光装置産業について見ると、日本には DUV 露光装置以前はトップ企業だったニコン、キヤノンという 2 社があるものの、ASML と比較（図 9. 参照）して「研究開発費」「設備投資」で大きく“水を開けられた状態”が長期に亘って続いている。これが図 7. に示した 3 社の出荷台数や収益性の厳しい格差に影響している点は否めない。

上記の通り、ASML も EUV 技術開発コストの全てを自社で賄っている訳ではなく、柔軟に有力顧客企業からの投資や EU の技術開発助成を活用し、imec などの非営利研究機関との共同研究（多数の周辺材料・装置メーカーがプロジェクト参画）の成果を合理的・効果的にビジネスに結び付けている側面もある。また、露光装置専門の ASML とは異なり、日系 2 社は露光装置メーカーであると共に、スマートフォンの急速な普及で苦境にあるコンパクト・デジタルカメラ事業（ニコンでは映像事業、キヤノンではイメージング事業に含まれる）も抱えている。社内に光学レンズ事業をもつ戦略的優位性もあるが、個社として開発コストの負担も大きい。

他方、本稿で概説した通り、米中摩擦の視点で捉えた場合、露光装置技術の戦略的重要性は明らかであり、日系 2 社の抱える露光装置事業の人的リソースや技術もその一翼を担っている。これらの事業を今後も国内で安定的に育成・継続できる環境整備、国外流出リスクを回避するためにも、技術開発助成の拡充など国内産業振興策が必要になるだろう。

¹⁷ 欧州委で「欧州半導体法」案を所管するティエリー・ブルトン委員（域内市場・産業・デジタル単一市場担当）は 2021 年 9 月の[ブログ記事](#)で、EU として半導体生産における完全自前主義を否定。国際連携も視野に入れ、ハイ・エンド技術による半導体の供給能力向上に貢献する外国投資について積極的に受け入れる姿勢を明示した。

図9. 世界・露光装置3社のR&D・投資
— 将来(開発・投資)に向けた資金投下で格差 —



NSCAI の最終報告書でも、ASML とニコンが供給を担う DUV 露光装置 (ArF 液浸) について SMIC に対する輸出規制対象とすべきことが明記されている。これは日系企業が (米中摩擦の観点で) 重要な技術を握っているということを意味する。また、キヤノンについては、現時点で旧世代の i 線露光装置事業に集中しているが、2022 年 3 月の経営方針説明会でも、同社の新規露光技術である「ナノインプリント」が量産展開に向けて最終的な調整に入ったことが報告されており、今後の世界的な普及が期待される場所である。

続いて、外交政策面での示唆として、NSCAI の最終報告書でも取り上げられている、日米欧などの有志国連合による規制協力の枠組みは今後、露光装置技術以外の分野でも必要になるだろう。上記 4. で言及したデジタル・ヨーロッパは、半導体分野の有志国連合の国際協調の具体的手法として、2021 年 6 月の米 EU 首脳会談で米国のバイデン大統領と欧州委のフォン・デア・ライエン委員長が合意した「米国・EU 貿易技術評議会 (TTC)」(図 10. 参照) の枠組みを活用すべきとも提言している。

TTC は米国・EU 間での新技術の管理や通商課題に関わる協力関係構築を目指す枠組みで、既に 2021 年 9 月に初回会合が開催され、そこでの合意事項が「ピッツバーグ文書」として公表されて

いる。この中で半導体は次回会合までに具体策を策定する優先重要課題と位置付けられた。

図10. 米国・EU貿易技術評議会

<経緯>

- ・米EU首脳会談(2021年6月,ブリュッセル)で,欧州委員長とバイデン大統領が設置に合意
- ・目的: 新技術の管理や通商課題に関わる協力関係構築
- ・初回開催: 2021年9月(ペンシルベニア州・ピッツバーグ)

<ピッツバーグ文書>

- ・米国のプリンケン商務長官, レモンド商務長官, タイ米通商代表部(USTR)代表と, 欧州委のドムプロフスキス執行副委員長(経済総括, 通商担当), ヴェスタエア執行副委員長(欧州デジタル化対応総括, 競争政策担当)が共同議長(閣僚級)
- ・「投資審査」「輸出管理」「人工知能(AI)」「**半導体**」「国際通商問題」を**優先重要課題**と同日。同5項目について次回会合までに具体策の提示を確認。
- ・次の10分野について作業部会を設置, 将来的な協力を進めることを確認。

1. 「**技術標準(国際標準化)**」作業部会

2. 「**気候・クリーン技術**」作業部会

3. 「**サプライチェーン強靱化**」作業部会

4. 「**情報通信セキュリティ**」作業部会

5. 「**データガバナンス・技術プラットフォーム**」作業部会

6. 「**安全保障・人権を脅かす技術濫用対策**」作業部会

7. 「**輸出管理**」作業部会

8. 「**投資審査**」作業部会

9. 「**中小企業デジタル化**」作業部会

10. 「**国際通商問題**」作業部会

(出所: 欧州委員会)

デジタル・ヨーロッパは環大西洋(Transatlantic)のイノベーション連携もTTCの枠組みを活用して推進することも提言しており、グローバルな技術規格の策定やルール形成の有効なツールとなる可能性をTTCは秘めている。これらは枠組みに参画する米国・EUにとっては有利に働くことが想定されるが、枠外の国・地域にとっては“参入障壁の源泉”となるリスクも孕む。TTCでは「技術標準」に関わる作業部会が設置されている点など留意する必要がある。なお、TTCの第2回会合は2022年5月にフランスで開催される予定だが、優先重要課題である半導体分野で、米・EUがどのような“次の一手”を打ってくるか注目される。

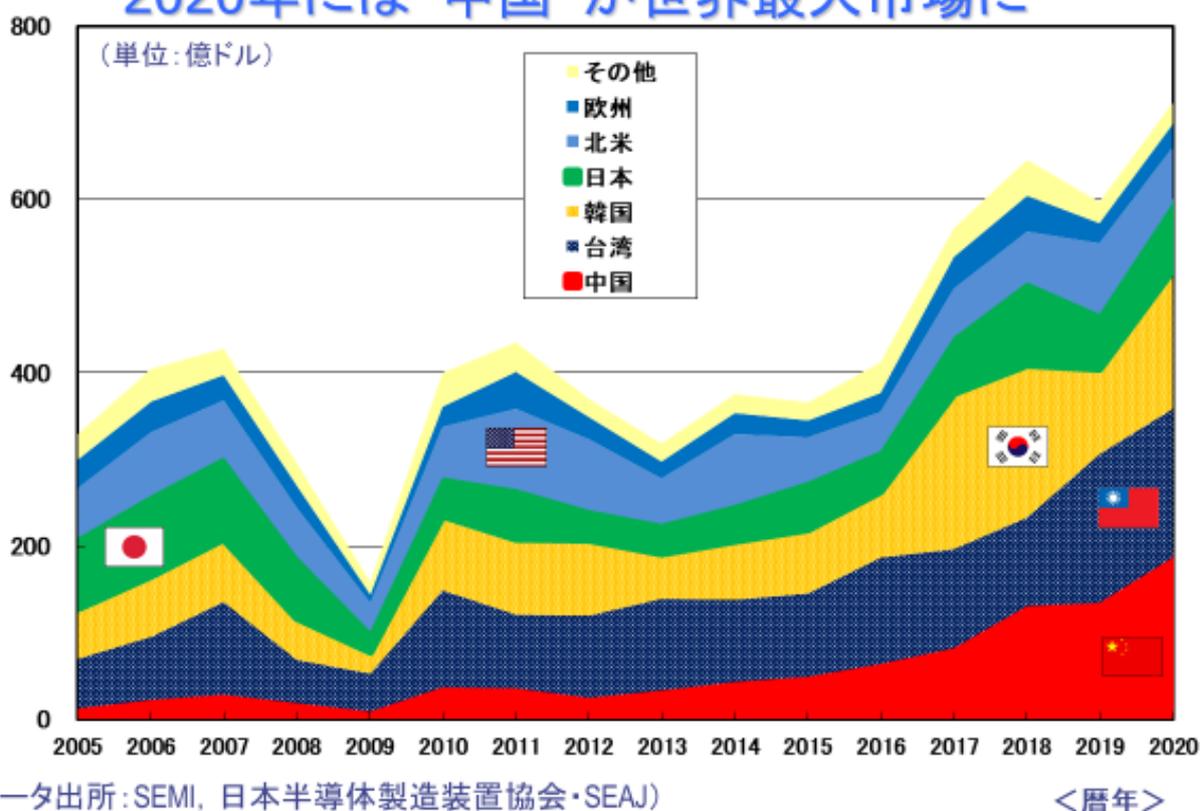
半導体産業で戦略的重要性を帯びる露光装置技術の視点で、NSCAIの最終報告書が日本との規制協力の重要性を指摘していることも念頭におけば、米国・EUにとっても日本のTTC参画のメリットは皆無ではないだろう。TTCがバイラテラルな枠組みに留まる場合、TTCとは別に「日・米」「日・EU」の貿易技術評議会を並行させることも考えられる。何れにしても、米中摩擦時代に対応した、米欧日3極の規制協力の枠組みはあつて然るべきで、そのための外交的働き掛けは戦略的意義をもつと考えられる。なお、英国政府は米国との二国間で貿易・投資関係強化に向けて新たに「大西洋貿易の未来に関する対話」を開始すると2022年3月に発表しており、TTCの展開も

視野に、新たなパイプ構築に努める動きも見られる。

この他、次世代露光装置技術について、現時点では ASML が先行し、日系 2 社が追随する構図だが、将来的には中国企業が次世代技術の自主開発に成功し、市場参入を果たす可能性も否定できない。その場合、今後、ASML に対する EUV 露光装置の輸出規制が“対中包囲網”として機能しなくなる事態も想定される。

中国は 2020 年に世界最大の半導体製造装置市場（図 11. 参照）に成長した。また、中微半導体設備（AMEC）や上海微電子装置（SMEE）など独自に前工程設備を生産できる、中国国内の半導体製造装置メーカーも成長著しいとされる。特に SMEE については（同社の開示情報によれば）、90nm クラスまで対応できる DUV 露光装置を既に中国国内で供給していると見られる。

図11. 世界・半導体製造装置出荷金額の推移 — 2020年には“中国”が世界最大市場に —



米国のエレクトロニクス産業専門調査会社ガートナーの 2022 年 2 月の推定¹⁸によれば、中国の華為技術の 2021 年の半導体調達額は 154 億ドル（世界シェア：2.6%，第 8 位）となり、2019 年

¹⁸ 米国・エレクトロニクス産業専門調査会社ガートナー・2022 年 2 月 1 日付発表 ([2021 年世界半導体需要家ランキング](#)) 参照。

の 249 億ドル（同：5.9%，第 3 位）から大幅に減少したとされている。華為技術を対象とする米国の EL 告示による輸出規制の中、同社が国外からの半導体調達に苦慮する現状を反映したものと考えられる。しかし、仮に将来、先端半導体やその生産設備・材料の調達が中国国内で十分賄える環境が整った場合、米国の EL 告示による輸出規制の政策的効果は失われるリスクがある。

中国には技術水準や品質を問わなければ、SMIC や AMEC 以外にも、ファブレスの海思半導体（華為技術傘下）、半導体回路設計自動化支援（EDA）ツールの上海概倫電子（Primarius）、シリコンウエハの上海新昇半導体科技（ZINGSEMI）、フォトマスクの深圳路維光電（New Way）、フォトレジストの蘇州晶瑞化学、後工程の江蘇長電科技（JCET）など、半導体生産のコア技術やグローバルな供給力を担う国内企業が育っている。

だが、仮に国策主導で中国国内において、これらの国内企業を主軸とする垂直統合型半導体産業が形成されて、先端半導体の自給自足が始まったとしても、将来的には越えられない“壁”に直面することになる。それが、本稿にて論述した、EUV 露光装置開発に見られる「欧州型オープン・イノベーション」だ。成熟した半導体産業においては、国家や企業の枠組みを乗り越え、世界的なトップ企業・研究機関の英知を結集しなければ、新たな技術創造は難しい。国籍を問わず、次世代の共通利益実現のために、各分野のトップ企業が財政支援を含めて、有機的に連携・協力し、成果を共有できる“開かれた開発環境”が枢要である。先端プロセス開発に留まらず、協業から生まれる新商品開発、生産性の向上（歩留・スループットの改善）、品質改善などは“開かれた開発環境”の賜物である。「欧州型オープン・イノベーション」は国境を越えた自由な利害関係者の交流が前提にあり、国境・組織を意識した“完全自前主義”の技術開発とは相容れない関係にある。

半導体をめぐる「規制強化」「サプライチェーン強靱化」「先端技術開発」の何れにしても、コア技術を握る主要国同士の国際連携がカギとなる。このため、我が国としても規制協力を含め、有志国との対話のパイプを構築すると同時に、世界の半導体エコシステムにおける日本の“立ち位置”と“役割”を明確にし、しっかりと国際場裏における発言権を確保して行く必要があるだろう。

（以 上）