

太陽グラントソントン

エグゼクティブ・ニュース

テーマ：半導体は日本経済復活の鍵を握るか？

執筆者：東京工業大学（現・東京科学大学）名誉教授 小田 俊理 氏

要旨（以下の要旨は2分40秒でお読み頂けます。）

昭和の時代には「鉄は産業界の米」と言われていましたが、平成・令和に時代が進むに連れ「半導体は産業界の米」と変わってきました。

今月号では、1988年に世界の半導体製造市場の半分のシェアを有していた日本が現在では1割にまでに落ち込んだ現状を踏まえ、その原因と今後の戦略や復興への見通し等について、東京工業大学・小田名誉教授に解説して頂きます。

日本の半導体製造産業は、対米輸出増への措置として、1986年に締結された日米半導体協定（日本国内ユーザーへの外国製半導体の活用奨励など）以後、世界に後れを取るようになった。一方、最近では半導体を国家安全保障の見地などから戦略物資とみる動きが各国で高まっており、日本も2021年から「半導体・デジタル産業戦略」の検討を開始した。これは、足元の半導体生産能力の確保(2030年15兆円)、省エネに優れた次世代半導体の研究開発、未来技術の実現等の3つのステップから成り、自国産業として半導体産業を誘致・育成する方針だ。

最近では台湾有事など地政学的視点などから、海外メーカーが日本に進出している。2021年には、日本政府の補助金を受け、ロジック（演算処理）半導体で世界シェア7割の台湾企業TSMCの熊本進出が決まった。また、省エネに優れた次世代半導体の量産化では、ラピダス（ソニー等出資）が北海道での工場建設を発表している。

集積回路は半導体などの電子部品を1枚のチップにまとめたもので、1958年にテキサス・インスツルメントのキルビーによって発明された。1965年には、インテルのムーアが「集積回路中のトランジスタ数は2年で2倍になる」と「ムーアの法則」を予言した。現在まで、この法則に沿って集積度が上がっている。ただ、微細化は次第に困難になっており、新しい構造による次世代半導体の開発が加速している。我が国はこの流れにずっと遅れてきたが、現在は日本が次世代半導体に参入するラストチャンスと言える。

日本経済復活のためには半導体人材が必要だが、「失われた30年」で半導体技術者が大幅に不足した（2019年16.8万人<20年前比3割減>）。このため産官学が連携し、半導体メーカー、東京科学大学（東工大）等の拠点大学、高専などが各地域でコンソーシアムを設立し、半導体技術者養成に取り組んでいる。2022年には政府による次世代X-nics半導体創生拠点形成事業が発足し、東京科学大学等によるアカデミア中核拠点を形成する計画だ。

半導体のイノベーションによりロボット導入、自動運転、ドローン技術等の推進が期待でき、地方創生や少子高齢化等への対応が可能となる。このため、デジタル産業、デジタルインフラ、半導体という大黒柱の強化が必要不可欠だ。半導体産業復興は、日本経済を救う最後のチャンスである。

「太陽グラントソントン エグゼクティブ・ニュース」バックナンバーはこちら⇒<http://www.grantthornton.jp/library/newsletter/>
本ニュースレターに関するご意見・ご要望をお待ちしております。Tel: 03-6438-9395 e-mail: mc@jp.gt.com
太陽グラントソントン マーケティングコミュニケーションズ 宛

テーマ：半導体は日本経済復活の鍵を握るか？

東京工業大学（現・東京科学大学）名誉教授 小田 俊理

半導体（注1）は、私達の身の回りの様々な電子機器に搭載され、スマートフォン、パソコン、家電製品、金融システムや交通システム、自動車、ゲーム機器など幅広い用途に使われている。最近ではデジタル化の進展やAIの普及により世界の半導体市場は成長が加速して、2030年には現在の2倍の150兆円に達すると予測されている。株式市場でも、米国エヌビディアの躍進がニュースになり、マグニフィセントセブン（米国：GAFAM+テスラ+エヌビディアの7社<注2>）が米国上場企業の時価総額（2024/4末：51兆2,762億ドル）の30%を占めており株価を牽引している。

（注1）半導体は、電気をよく通す導体（金など）と、ほとんど通さない絶縁体（ガラスなど）の中間的な性質を持つ物質（シリコンなど）。半導体の利用で、電気を通す、通さないを瞬時に切り替えられ、電流の抑制とエネルギーの変換が可能になる。

（注2）マグニフィセントセブンは、米国の半導体大手7企業の通称。GAFAM（ガーファム）は、グーグル、アマゾン、フェイスブック、アップル、マイクロソフト社の英語頭文字）

一方、世界情勢は新型コロナウイルスの感染、ヨーロッパでの戦争や米中対立も発生している。半導体不足の危機を回避するために、各国・地域の半導体産業への政策支援により半導体部品のサプライチェーンの再構築が進んでいる。

1. 日本半導体産業の状況

日本の半導体製造産業（注1）は1988年に世界シェアの50%（売上高：約233億ドル<約2兆9千億円>）を持っていたが、日米半導体協定（注2）による貿易規制や、設計と製造の水平分業にかかる経営判断の失敗、デジタル産業化の遅れなどの要因から衰退し、現在（2019年）ではシェア10%（売上高：約426億ドル<約4兆6千億円>）にとどまっている（図表1）。一方、半導体製造装置は世界で3割、半導体素材は世界で5割と日本企業が圧倒的なシェアを有しており、グローバルな半導体製造サプライチェーンにおいて不可欠な存在である。

最近では、経済安全保障の観点から半導体を戦略物質と捉えて各国が半導体産業に巨額な投資を始めている。米国は2022年にCHIPS法（高度な半導体の国内製造基盤を確立し国家安全保障を強化する法律）を成立させて、5年間で8兆円の資金援助を推進している。中国も10兆円を超える大規模投資を開始している。ヨーロッパ、台湾、韓国でも大型の政府投資が行われている。

（注1）半導体は、集積回路、IC、LSI、チップ等を広く含む概念

（注2）日米半導体協定：1970年代以降の日本製半導体の対米輸出増に対し、1986年に米国の要請で結ばれた協定。これは日本政府が、①国内ユーザーに外国製半導体の活用を奨励する（数値目標あり）、②米国に輸出する半導体のコストと価格を把握・監視する、との内容から成り、以後、我が国半導体産業の凋落につながったとされる。

(図表1) 日本の凋落 –日本の半導体産業の現状(国際的なシェアの低下) –

● 日本の半導体産業は、1990年代以降、徐々にその地位を低下。



2. 日本政府の半導体戦略

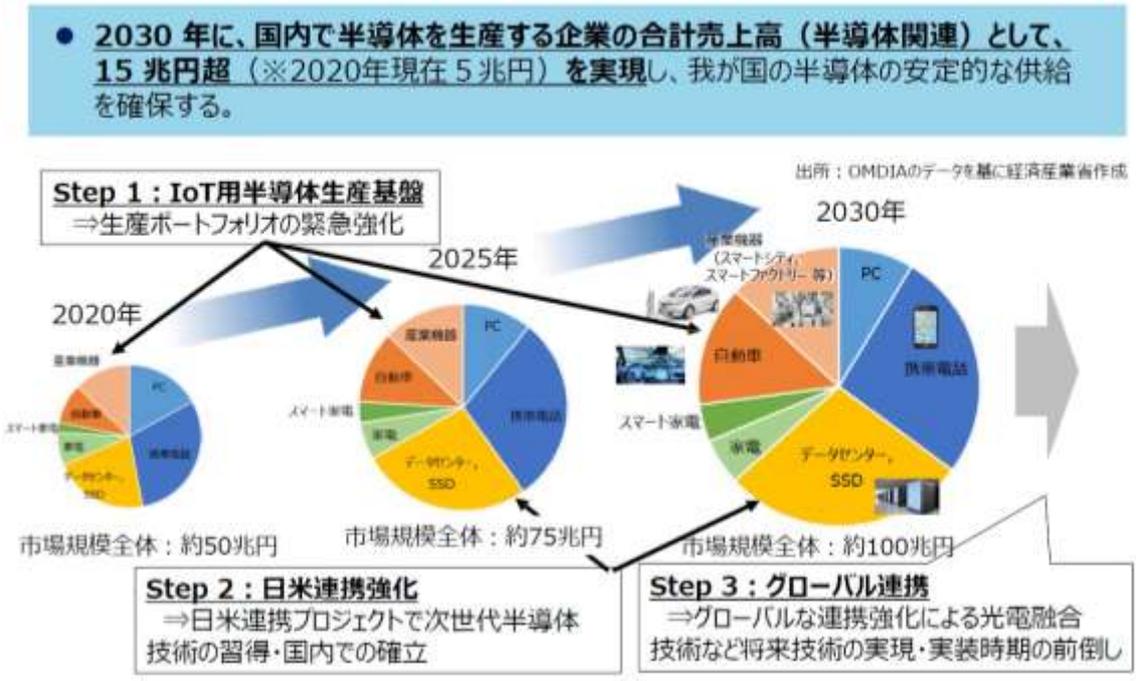
日本政府は、過去の失敗を反省して、2021年から経済産業省「半導体・デジタル産業戦略」の検討を始め、補正予算を計上して、半導体産業復活に向けて各種政策を推進してきた。野原諭・経済産業省商務情報政策局長によると（経済産業省 METI Journal, 2024/03/08）、半導体政策の目的は、①半導体安定供給の確保、②デジタル化の進展による電力消費の爆発的増大に対し半導体のイノベーションにより電力需給バランスを確保すること、③2030年には世界で1兆ドル市場へと成長すると予測されている半導体について、自国経済の基幹産業として誘致、育成を進めることである。更には、④経済安全保障の観点から、半導体は戦略物質の中心になっていることも背景の一つである。

半導体戦略上、目指すは2030年に国内半導体生産の企業の売上高を現在の5兆円から15兆円超にすることだ。米国をはじめ世界各国で半導体産業に対する大規模な財政支援が行われているが、日本も過去3年間で4.1兆円という前例のない規模の補正予算を計上している。

半導体戦略は、以下の3つのアプローチを同時に展開する。ステップ1が足元の生産能力を確保するための施策で、TSMC（台湾企業：ロジック半導体＜演算を処理する半導体＞で世界シェア7割＜2021年売上高：約6兆6千億円＞）やソニーなどが熊本で建設する先端のロジック半導体工場への資金援助が該当する。ステップ2が次世代半導体（省エネに優れ従来より性能が高い半導体）の研究・開発、量産化に向けた施策で、北海道にラピダス（「速い」の意味。ソニー等日本企業8社で設立）が建設する次世代半導体工場への資金援助が代表例だ。ステップ3が光電融合（注）など未来技術の実現、実装時期の前倒しに向けた施策である（図表2）。

(注) 光電融合：コンピュータの情報処理では従来、電気信号回路を使っていたが、電気は熱を発生するため、余計なエネルギー消費や計算速度の低下が起こる。光は電気よりエネルギー消費が少なく、計算遅延も起きにくいいため、両者を融合することによりグリーンで計算処理能力の向上を図ることが可能となる。

(図表 2) 我が国半導体産業復活の基本戦略



最近の半導体製造サプライチェーンの再構築により、海外メーカーが日本に進出している。第1の理由は、地政学リスクである。「中国による台湾有事」や「北朝鮮による脅威」のため、台湾や韓国のメーカーは日本に生産拠点を移す動きがある。第2の理由は、日本には超高純度の半導体材料や半導体製造・検査装置メーカーの国際競争力が高いこと、第3の理由は、トヨタ、ソニー、任天堂など大手半導体メーカーの顧客企業が多いこと、第4の理由として、日本政府が補助金を出し、TSMCやマイクロン（米企業：半導体の記憶装置メーカー<2022年売上高：約4兆円>）の工場建設を促していることがあげられる。

日本政府による半導体産業への補助金政策は、地方に大きな経済効果をもたらすと期待されている。TSMCの日本進出（2021年新工場建設を発表）による熊本県の経済波及効果は10年間で7兆円と見込まれる。約80社が熊本県内に拠点施設や工場を増設しており、雇用効果も大きい。TSMCとソニーなどが作る合弁会社JASM（熊本県菊陽町に建設）の直接雇用は1,700人、全体で7,500人の雇用拡大が見込まれる。

ラピダスの千歳工場量産開始では、人口増加、周辺機器メーカーの進出、学術、教育の高度化により、北海道全体の経済波及効果は10年間で19兆円と試算されている。

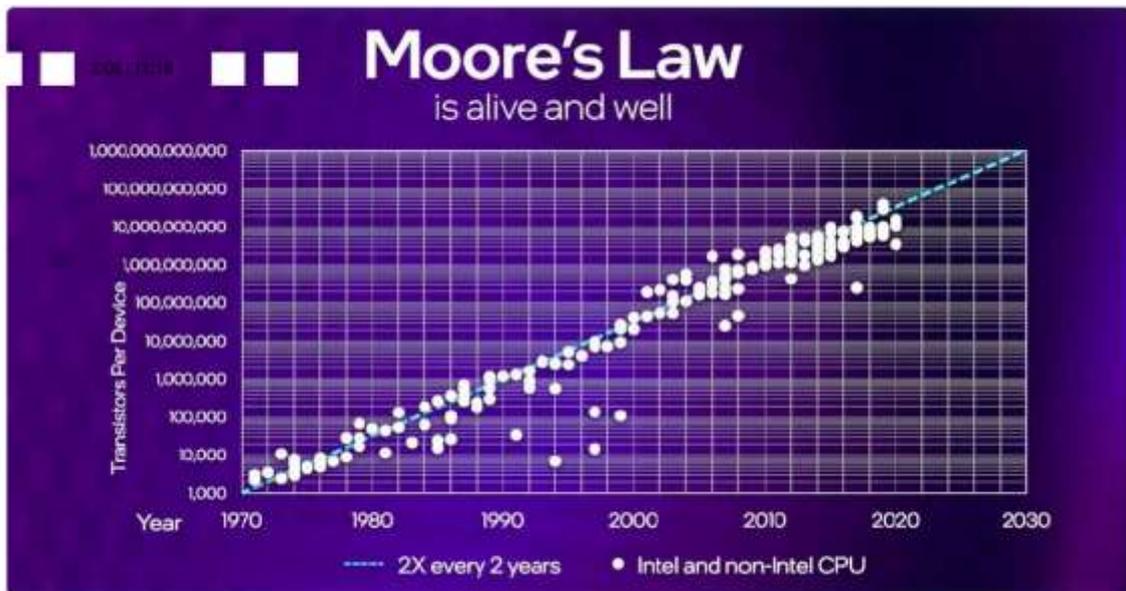
3. 半導体・集積回路技術の進展

集積回路はトランジスタや抵抗などの電子部品を1枚のチップ上にまとめたもので1958年にテキサス・インスツルメンツのジャック・キルビーにより発明された。それ

までのプリント基板上に半田付けで配線していたものに比べて、電子機器を格段に小型化でき、かつ信頼性が向上し価格も安くできるようになった。キルビーは2000年にノーベル物理学賞を受賞した。

インテルの創始者の一人であるゴードン・ムーアは、1965年に「集積回路中のトランジスタの数は2年で2倍になる」と予言した。集積度が上がれば性能も向上する。この傾向は「ムーアの法則」と呼ばれて現在まで60年以上続いている。2030年には1兆個のトランジスタが1個の半導体チップに載ると予想されている。ムーアの法則は物理法則ではない。半導体技術者が性能向上の目標を立て、それを達成するために必要な要素技術の開発を推進してきた。集積度を上げる技術はトランジスタ寸法の微細化に依る方法が採られてきた。1985年には1ミクロン(μm)の壁を突破し、2000年には0.1μm=100nm(ナノメートル、ナノは10億分の1)を切って、ナノの時代に突入した。こうなると寸法の微細化だけでは集積度の向上は困難になり、新材料の利用や立体構造の採用により実現している(図表3)。

(図表3) ムーアの法則：半導体チップあたりのトランジスタ数は2年で2倍、60年続いて2030年には1兆個



Moore's Law is alive and well, Intel believes.

(出典 INTEL)

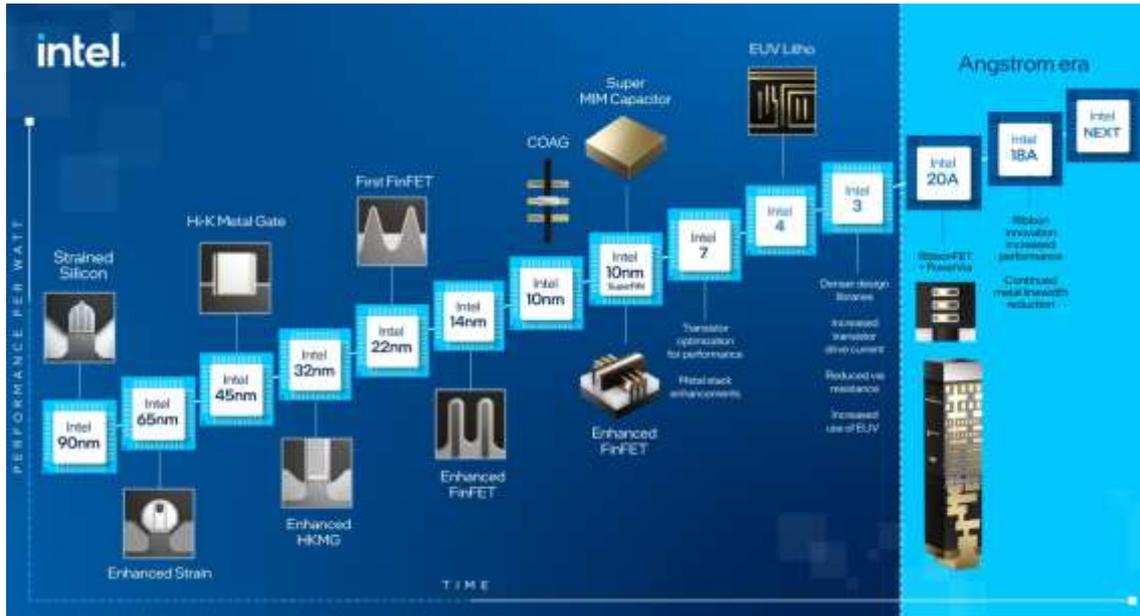
半導体には演算処理を行うロジック半導体と、データを記憶するメモリ半導体がある。ロジック半導体について、日本メーカーは事業から撤退したため40nmで開発がストップしている。TSMCが熊本工場で生産するのは、22nmから12nmの製品である。TSMCと共同でJSMC(新設半導体メーカー)に出資しているソニーの画像センサーやデンソーの自動車部品に採用される。TSMC台湾や韓国サムソン電子は2025年に2nm製品の量産を目指しているという。Intel(米企業：世界最大の半導体メーカー<2021年売上高：約8兆6千億円>)は、2024年中に2nm製品を量産すると発表している。

半導体産業の高性能化の歴史は、新産業・ニーズの創出と連動してきた。トランジスタが発明されるとソニーからトランジスタラジオが製品化された。集積回路の進展に伴い、PC、ファミコン、液晶テレビ、iPhoneが普及するようになった。最近では、

生成 AI や自動運転などの新しい利用対象に必要な半導体が開発されている（図表 4）。

ラピダスが北海道（千歳市）に建設中の工場では、2027 年から 2nm 製品を出荷することを目標にしている。このため、米国 IBM 社に 200 人派遣して技術を習得し、ベルギー imec（世界最大の半導体開発研究機関）から研究成果を導入する計画だ。

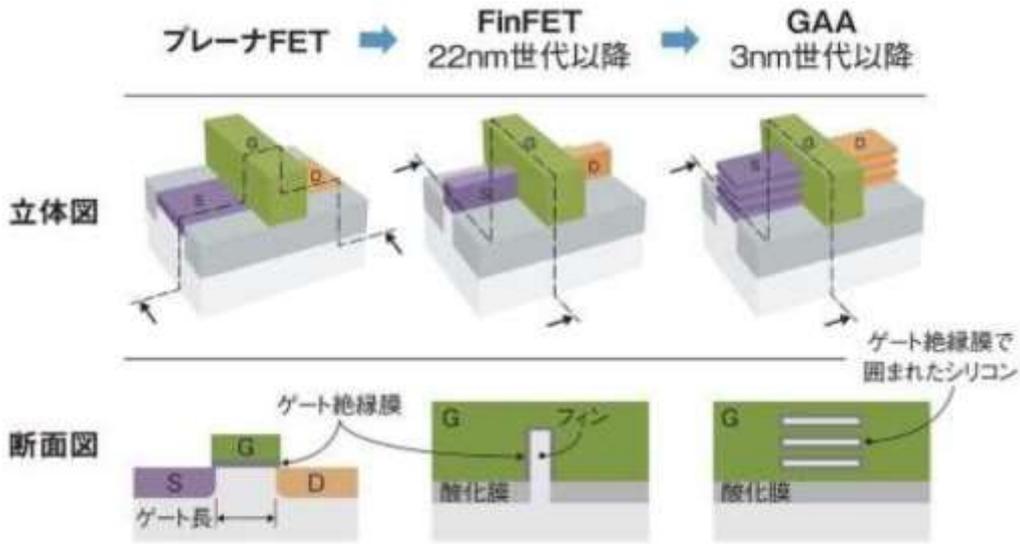
（図表 4）トランジスタの微細化の進展による性能向上



（出典 INTEL）

半導体トップメーカーを有する米国、韓国、台湾に加えて、欧州もドイツに Intel の工場を誘致するなど、世界中で次世代半導体の開発が加速している。最先端半導体は、Fin 型（トランジスタの電流チャネルを縦型にして高集積化する構造）から GAA 型（トランジスタチャネルの周囲をゲート電極が取り囲む）に構造が大きく変わり、量産に向けて高度な生産技術が必要となる転換期を迎えている。10 年前に Fin 型の量産に至らなかった日本が改めて次世代半導体に参入するラストチャンスと言える（図表 5）。

(図表5) トランジスタの微細化の進展による性能向上



ロジック半導体におけるMOSFETの構造変化

プレーナFETからFinFET、GAAへと構造が変化している。(出所：日経クロステック)

4. 半導体人材の育成

日本の半導体産業が発展して日本経済復活のための課題には、半導体人材の不足がある。「失われた30年」のため、日本から半導体技術者はいなくなってしまった。集積回路製造業は大幅減（1999年→2019年：150千人→60千人）、半導体製造装置製造業は増加傾向（36千人→69千人）にあるも、半導体関連産業の従業員数は20年で30%も減少した（230千人→168千人）。電子情報技術産業協会（JEITA）の試算によれば今後は10年間で少なくとも4万人程度の半導体人材が追加が必要になると見込まれている。このため産官学が以下のように連携して、高専や拠点大学、各地域のコンソーシアムを設立し、半導体技術者育成の取組が急ピッチでなされている。

九州においては、JASM、九州大学、熊本高専など76機関が参加する産学官連携の半導体人材育成等コンソーシアムを結成し、地元高専では半導体に関するカリキュラムを作成している。更には参画企業・機関による出前授業や工場見学も実施している。東北ではキオクシア（東芝系半導体メーカー）北上や東北大学・一関高専など71機関が、中国地方ではマイクロン・広島大学・呉高専など95機関が、中部ではキオクシア四日市・名古屋大学・岐阜高専など25機関が参加するコンソーシアムを形成した。

2022年に発足した次世代X-nics半導体創生拠点形成事業（文部科学省、経済産業省）は、2035～2040年頃の社会で求められる半導体の創生を目指したアカデミアの中核的拠点を形成する事業で、省エネ・高性能な半導体創生に向け新たな切り口による研究開発と将来の半導体産業を牽引する人材の育成を推進する。東京科学大学（東工大）では、低環境負荷のグリーンな半導体の実現を目指す。東京大学では革新的半導体を自動設計・試作するプラットフォームを創出し、LSI設計人口の10倍増を狙う。東北大学では、スピントロニクス（注）を中核に据えて、省電力化という課題の解決を目指している。

(注) スピントロニクス：電子の電気的性質と磁氣的性質を利用する電子回路。従来は電子の電気的性質だけを利用していましたが、磁氣的性質も利用すると、低消費電力の半導体回路を作ることができる。

5. 半導体産業復興は日本経済を救う最後のチャンス

生成 AI の登場などデジタル技術の発展に伴い、データの使用量が爆発的に拡大し、電力使用量が大きく伸びると見込まれている。半導体のイノベーションにより、微細半導体の利用や光電融合技術の利用で電力消費を 1/100 に抑えることが期待できる。低消費電力パワー半導体の活用により、自動車・産業機器、電力・鉄道、家電などの電気機器の省電力化が可能となる。また、地方では都市部に比べて企業の DX（デジタル変革）化の進展に遅れがあり、デジタルインフラ面の支援が必要だ。また、地方では人口減少が急速に進んでおり、ロボット導入、自動運転、ドローン技術の推進などにより、人口減少に対応を図る必要がある。従って、我が国が抱える課題を解決し、先進国としての地位を維持していくためには、何よりも、「デジタル産業」、「デジタルインフラ」、「半導体」という大黒柱の強化が必要不可欠である。

「失われた 30 年」の間に日本政府が出資した半導体関連の国家プロジェクトは成果を出してこなかった。しかし、今や半導体は経済安全保障にかかる戦略物質である。何もしないという選択肢はない。半導体産業復興は、日本経済を救う最後のチャンスである。

以上

執筆者紹介

小田俊理(おだ しゅんり) 1951年 東京都生まれ
東京工業大学(現・東京科学大学) 名誉教授

<学歴・職歴>

1974年 東京工業大学 理学部物理学科 卒業
1979年 東京工業大学 総合理工学研究科 博士課程修了
1979年 東京工業大学 工学部 助手
1986年 東京工業大学 工学部 電子物理工学科 助教授
1995年 東京工業大学 量子ナノエレクトロニクス研究センター・工学部 教授
2017年 東京工業大学 定年退職・名誉教授
2017年 東京工業大学 特任教授 (2018年まで)