

# 半導体が描く未来像

## ——日本だけが成長しなかった半導体の問題を解き明かし、未来を探る

国際技術ジャーナリスト 津田建二



半導体が今ブームになっています。新型コロナウイルスが蔓延していた2020年夏から始まった半導体不足が世の中を騒がせ2022年前半まで続きました。

しかし、その反動で流通業者による半導体の在庫がたまりすぎ、2022年後半から2023年にかけて在庫調整が続きました。2024年になってようやく、在庫調整の終わりが見え、半導体需要が活発になってきました。

半導体不足のときに、半導体が私たちの身の回りの電化製品にすべて入り込み、家電製品の頭脳になっていることがわかりました。いったい半導体産

業はどこに向かうのか、この産業の現在の位置づけと未来に向けた広がりをお伝えします。

### 世界ではGAFAを抜く半導体企業が登場

これまでの半導体産業は、世界が成長しているのに、日本だけが成長していない、という状態でした(図表1)。

世界では日本を除き、半導体が成長産業であるから国土の狭いシンガポールでさえ、半導体産業を誘致し育てようとしてきました。台湾では半導体の製

造を強化してきただけではなく設計も強めることに政府が音頭を取ってきました。残念ながら日本だけが半導体は斜陽産業だからとマスクミなどに信じ込まされて自分の子どもを就職させなかった親もいました。

世界では、巨大なGAFA(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)に匹敵するような時価総額をたたき出したファブレス半導体企業エヌビディアが2023年に急成長し、その1年後にはGAFAを一時的ですが超える3兆ドルという時価総額に達しました。半導体企

業で時価総額が1兆ドルを超えたのはこのエヌビディアが最初です。このため、バンク・オブ・アメリカは、優れた成長性のある企業をGAFAとせず、テスラも加え「マグニフィセント・セブン（偉大な7社）」と呼ぶようになりました。ちなみにマグニフィセント・セブンは映画『荒野の七人』の原題です。

成長していく有望な企業は、エヌビディア以外にも実はすべて、自前の半導体IC（集積回路）も設計しています。自前のICチップでないと、将来のカーボンニュートラルに向けて消費電力を十分下げられないからです。他社とは違う自分専用のITサービスを行うためには自前のチップが欠かせません。

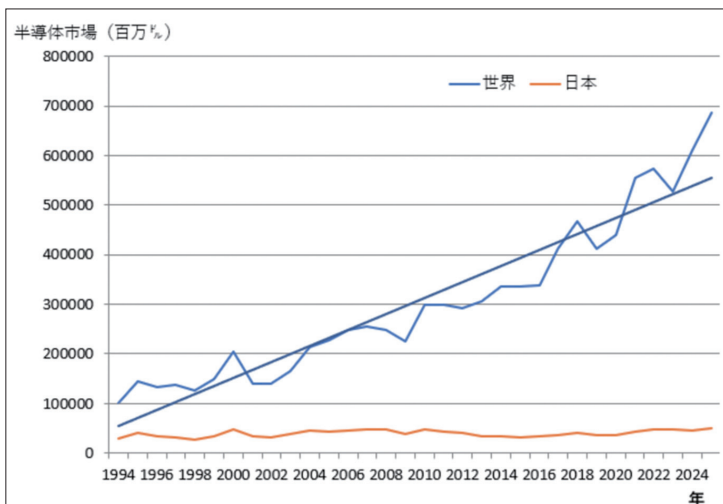
このように半導体チップは、成長する企業に欠かせない道具となりました。それは、システムの頭脳としての役割も果たすようになってきたからです。かつて半導体は産業のコメと言われました。コメならパンや麺類などの代替品があります。しかし頭脳になった以上、代替できません。欠かせないのです。

## 日本の半導体没落の原因を10年かけて探った

半導体は世界が成長しているのになぜ日本だけが成長せずに落ち込んできたのでしょうか。理由はたくさんありますが、最大の要因は、総合電機が半導体部門を下に見て支配し続けてきたためでしょう。必要な時期に投資せず、また安易にメモリを捨て、世界が垂直統合から水平分業に移ろうとしているにも従来のやり方を変えなかったこともあり。半導体事業部を支配していた総合電機の経営トップが半導体やITのようなスピードを競う分野を理解できなかったからです。

筆者が10年以上かけて、日本が沈没してきた原因を、取材ベースで探ってきた結果を**図表2**に示します。ここでは霞ヶ関（経済産業省など）や日米両政府による取り決めを丸のみしたから悪い、という意見がこれほど強かったのです。確かに日本市場

図表1 半導体産業では世界は成長し続けているのに日本だけが止まっている（出典：WSTS「世界半導体市場統計」）



における外国半導体製品のシェアを20%に引き上げよ、という無茶な要求を突きつけました。（最近わかったことですが、米国メディアに掲載されていた記事の中で、シェア20%という要求をまさか丸のみするとは思わなかった、というコメントを見つけました。交渉してもっと下げることが日本側がしなかったのです）。しかし、半導体メー

図表2 日本が没落した理由 取材ベースで10年以上費やした

問題の所在	没落の要因	要因の分析	対策
経営	適切なときに投資しなかった	経営の理解不足	半導体は半導体側に
経営	横並びの経営判断、無責任	経営の理解不足	半導体は半導体側に
経営	わからなくても支配したがる	経営の理解不足	知識を学習
経営	世界のメガトレンドを無視	世界動向の理解不足	世界を自分の目で見よ
経営	国頼みの無責任体制	護送船団方式	米国の回復を学べ
経営	メディアもミスリード	米国がリードという誤解	海外取材増強
経営+半導体	システム LSI への戦略ミス	システムの理解不足	システムを勉強せよ
経営+半導体	低コスト技術を開発しなかった	国プロは先端技術のみ	設計から低コスト化へ
経営+半導体	DRAMの敗因を正確に分析しなかった	ダウンサイジングを無視	勝てるDRAMを学習
経営+半導体	顧客の声を聞かずに開発	代理店任せの弊害	マーケティング重視へ
半導体	上から目線のエンジニア	ICの価値を伝えなかった	多様化を認識せよ
半導体	マスク数を分析しても対応しなかった	あきらめの精神はびこる	挑戦する気持ちを持って
半導体	安易にシステム LSI へ走ったが、理解不足	システムの理解不足	システムを勉強せよ
半導体	半導体はITが牽引することの理解不足	応用製品に期待するだけ	ITのトレンドを把握
半導体	40nm以下は開発するな、というマネジャー	技術者のやる気を削いだ	技術者を鼓舞する方法を習得すべし

カー側に責任はないのか、として、民間側の問題とその解決策を示したのが図表2です。これを見ていただければ、結果的に総合電機の経営トップによる判断ミスが最も重要な要因となります。

もちろん、日本の没落の原因を彼らだけに押し付ける気は毛頭ありません。半導体の経営者やエンジニア側にも責任はあります。半導体を斜陽産業と喧伝してきたメディア側にも責任はあります。半導体経営者はシステムLSIとは何かを理解せずにメモリからシステムLSIに主要製品をシフトしたことです。システムLSIではソフトウェアをチップに埋め込みますのでソフトウェアと人材に力を注ぐべきところを相変わらず設備投資にお金をつぎ込みました。製造側も、システムLSIでは少量多品種になるにも

かわらず、それに応じた生産体制を全く採らなかったのです。メモリ時代の大量生産体制から全く変えなかったために工場は大赤字になり続けました。半導体エンジニアは、製造技術者が設計技術者よりも強く、製造の設備投資を懸命に保持しようとしてきました。が、やはりシステムLSIを理解せず、ソフトウェアを強化しませんでした。また自分たちの製造プロセスが最も良いという考えを変えることはありませんでした。このため、ファブレスとファウンドリの分業という世界の潮流に関しても無視し続けました。

筆者の関係してきたメディアも悪いと言われました。新聞や一般雑誌が総合電機の社長が「半導体が悪いから当社業績が悪い」という言葉を真に受けてそのまま書きました。技術雑誌でも「メモリからASICへ」というような特集を組むからそれを信じた社長がメモリをやめるように言った」とある。筆者は、まさか経営者が雑誌の記事を丸のみして社内のエンジニアの言葉

を信じようとしなかったとは思いませんでした。経営者のような「エライ」人はさまざまな原因・理由・対策などから経営判断して決めたのだと思っていただけです。それが、日立や東芝やNECがこれだけ投資するなら（あるいはしないなら）うちもという横並びの意識しかありませんでした。

問題の原因が明らかになれば、解決すべき対応策も明確になります。筆者のようなメディア人間に関して言えば、世界の半導体学会しか見てこなかったために先端技術の状況しか見えなかったことを反省して、先端エンジニアではなく経営トップの取材に切り替えました。海外の経営者トップが何を考え、どうしようとしているのか、そのために必要なものは何か、などについて取材しているうちに徐々に見えてきました。

その一つが日米の差です。日本は政府頼みでさまざまなコンソーシアムを組んできましたが、米国の半導体企業は日本に負けた自分の企業をどう立て直すかを真剣に考えていました。政府

に頼るといふ姿勢は全くありませんでした。ただ1社だけ、日米半導体競争のきっかけとなったモトローラ社の経営トップは、米国政府を動かし日本政府を揺さぶってきましたが、政府頼みにしていたモトローラ社は日本企業のようにその後落ちぶれていきました。結局のところ、米国の反省は、社員を大事にするということでした。優秀な社員は1度切ってしまうと2度と戻ってきません。彼らに力を発揮させるように会社の方向を定めるのです。この結果、米国の半導体企業の売り上げは世界シェアのほぼ5割まで回復しました。

## 水平分業と国際的なサプライチェーン

半導体製品には、「ムーアの法則」と呼ばれる経済法則があります。これは、半導体チップに集積されるトランジスタの数は毎年倍増する、という法則です。1965年に当時半導体事業を始めたばかりのフェアチャイルドセミコンダクター社において、のちのイン

テル社を創設したゴードン・ムーア博士が最初に提唱したので、ムーアの法則と呼ばれます。

一つのチップの中に数千個、数万個、さらには数億個までのトランジスタを集積できるように発展した半導体製品は、集積度が向上すればするほど複雑になってきました。数百万個のトランジスタが集積されるようになると設計だけで大量の設計者をつぎ込んでも2〜3年かかるようになりました。その後、製造となるとさらに時間がかかります。そこで1社で設計も製造も行うのではなく、設計だけ、製造だけ、と分かれるようになってきました。設計だけを手掛ける企業はファブレスと呼ばれ、製造だけを行う企業はファウンドリと呼ばれるようになりました。

ところが日本は、設計も製造も行うIDM（垂直統合の半導体メーカー）に固執し、世界の流れについていけなかったのです。半導体の歴史はまさに水平分業化の歴史でもあります。が、「日本には日本のやり方がある」とかたくなに工場を持ち続け、工場ライン

に閑古鳥が鳴くようになっても分業化せず、そのまま沈んでいきました。

水平分業が進むと、その分業体制に得意な国や企業が登場します。例えば設計ツールやIP（ICの中の知的価値のある電子回路）だけを専門に扱う産業が生まれ、また製造するための機械に特化する産業も生まれてきました。前者は米国が強いEDA（電子設計の自動化）産業で、後者は米国と日本、オランダが強い製造装置産業です。ファブレスは米国と台湾が強くなり、ファウンダリは台湾と中国が強くなり産業です。

半導体の設計から製造までの全体から見ると（図表3）、設計は米国が強くなり、製造は台湾が強くなり状況になっています。つまりサプライチェーン全体で見ると、もはや国際分業協力で成り立っているのです。ここに政治が入り込み分断しようとしています。中国はサプライチェーンの中で製造のロテック部分が強いのですが、半導体産業で市場の1/3〜1/2はロテック部分が占めています。

ですから半導体製品の多くは、米国で設計し、台湾で前工程を製造し、後

工程を中国で製造する、という図式で流れています。このサプライチェーンが切られると、コストがアップします。国際協力ができなくなったのは、性能とコストの点でベストマッチングだからです。米中対立で困るのは、このベストマッチングが分断されることになり、コストが上がっても自国で作らざるを得なくなり、これは困ったことです。

実際に今起きていることですが、日米の半導体製造装置企業の代表的な東京エレクトロンと米アプライドマテリアルズの最新（2024年第2四半期）における売上額の44%、43%が、それぞれ中国向けなのです。中国で今、半導体需要が拡大しているわけではないのに半導体製造装置が大量に売れているのです。これは、政

図表3 半導体のサプライチェーン

設計から製造（前工程+後工程）までにはそれぞれ設計・製造するためのツールを提供する企業が存在

サプライチェーン	米国	代表的な強い企業	日本	代表的な強い企業	備考
IT サービス	強い	Google, Facebook, Amazon, Microsoft	弱い	楽天, ヤフー・ジャパン	
IC ユーザー	強い	Dell, Apple, HP, Microsoft など	弱い	ソニー, パナソニック	
IC メーカー	強い	Intel, Micron, AMD, TI, Qualcomm	弱い	キオクシア, ルネサス, ソニー・セミコンダクタ	
JC ファブレス	強い	Qualcomm, AMD, Broadcom, Xilinx など	弱い	ソシオネクスト, メガチップス	
IC ファウンドリ	弱い	GlobalFoundries, SkyWater	弱い		台湾が圧倒的に強い
IC 設計ツール	強い	Synopsys, Cadence, Siemens EDA	弱い	図研	
IC 製造装置	強い	Applied Materials, Lam Research	強い	東京エレクトロン, アドバンテス・T, SCREEN	
IC 向け材料	中	DuPont	強い	信越, SUMCO, JSR, 東京応化	
OSAT	弱い	Amkor のみ	弱い	イビデン, 新光電気	台湾と中国が強い
IC パッケージ材料	中	DuPont	強い	レゾナック, 三井化学, 味の素	

治的に米国がいつ中国向けの製造装置を全面禁止するかわからないため、日米は今のように売っちまえ、中国側は今のように買っておこう、という考えで一致しているからです。

## そもそも半導体とは何か

ところで、半導体とは何でしょう。半導体は、電気を通す導体と、通さない絶縁体との中間の特性を持つ材料です。1920年代から研究がなされていましたが、電気を自由に切ったり流したりできる固体のデバイスができるかもしれない、という可能性を秘めた材料です。英語でも「Semi-conductor」と書き、半導体あるいは半分導体という意味になります。その後研究が進み、半導体材料の構造や特性をうまく利用することによって、電流を切ったり流したり自由自在にできるトランジスタが1947年から48年にかけて開発されました。開発者たちはのちにノーベル賞を受賞しました。

このトランジスタは電流増幅作用も

あるため、最初にラジオに応用したのがソニーでした。一方、米国では従来の真空管ではヒーターがよく切れてしまうので、大量に使うコンピュータに真空管に代わり採用されました。トランジスタは1枚の薄い小さな結晶の上に電子回路を刻んでいくのですが、それならトランジスタ同士をつなげて回路を作ってしまうおうという発想で生まれたのがIC（集積回路）です。

今では新聞などで半導体と言っているのは、半導体ICのことです（写真1）。かつてはきれいな結晶材料の一種を指しましたが、今では小さな電子回路を半導体と言っています。小さな電子回路ですが、この中に集積されているトランジスタの数は多いものなら1000億個もあります。この半導体が身の回りに大量に使われていることは最初に述べたとおりです。

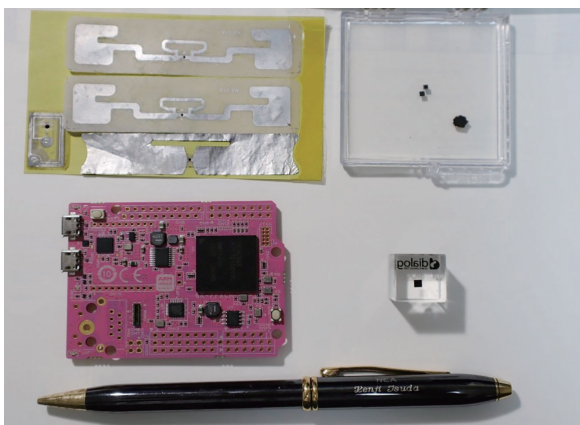
## 半導体そのものが未来志向

半導体ICはこれからの未来も大量に使われていき、半導体産業は間違い

なく数十年も続く成長産業です。筆者は2010年に「一刻も早く日本はファウンドリを設立すべき」というブログを書きました。しかし、そのような動きは皆無でした。2022年になり、ようやく日本でもラピダスと呼ばれるファウンドリの会社が生まれ、半導体の重要性を政府が認識するようになりました。2000年から16年までの半導体冬の時代は、経済産業省では官僚の誰もが半導体担当になりたくなくて逃げ出す始末でした。

写真1 いろいろな半導体

最も小さい半導体は左上の黄色い紙上の銀紙上の配線アンテナの真ん中にある黒いもので大きさは0.3mm×0.3mm程度



なぜ半導体が成長産業であると言いつけるのでしょうか。半導体を牽引する応用のドライバーが電機からITへと変化してきたからです。ITと言えども当初はコンピュータを意味していましたが、コンピュータを支えるのは半導体です。またコンピュータはデータ

を出し入れするため通信も重要な要素です。つまり、ITの3大要素は、コンピュータと通信と半導体なのです。

コンピュータは日本語で計算機と訳されましたが、台湾や中国では計算機と電脳という二つの言葉を使い分けています。スーパーコンピュータのように、ひたすら計算するのが主目的のコンピュータは計算機ですが、パソコンで文章を書くワードや、メールを受け取るアウトLOOKなどの機能は電脳で、計算というより制御という作業をしています。その計算機でも電脳でもそれを実現するハードウェアは電子回路です。その電子回路が半導体というチップに小さくなってしまったため、今ではハードウェア半導体ICとなつていきます。つまりコンピュータの中心とな

る基本回路はCPU（中央処理装置）と呼ばれ、半導体でできています。

このCPU、すなわちコンピュータという機能は、パソコンやスマートフォンだけではなく、ありとあらゆるほとんどすべての電化製品に入り込んでいます。エアコンやクルマ、冷蔵庫、洗濯機、電気釜などだけではなく、従来使っていなかった分野にも使われています。例えば、ガスメーターや水道メーターなどは半導体チップを多用したスマートメーターに置き換わり、毎月の使用料が自動的に無線を通じてガス会社や水道会社に送られます。

### クルマは無事故車を目標に開発

またこれからは、家の玄関のカギもそう遠くないうちにスマホに代わります。電車の切符は紙からICカードやスマホに代わりました。クルマのカギには今でも半導体が使われていますが、カーシェアリング時代になるとカギを紛失しても問題にならない時代がやってきます。カギをスマホが代用するの

です。カギの情報をカーレンタルの会社が持つており、どこの誰が今、どのクルマを運転中なのかを自動的に把握できるからです。カーレンタルの会社からいただいた情報がカギとなりますので、スマホを持っている限り運転できます。

これからのクルマには特に半導体が大量に使われます。より安全に走るためです。例えばすでに車輪のタイヤ内には空気圧をチェックし、下がるとドライバーに知らせるTPMS（Tire Pressure Monitoring System）センサーが入っています。これも安全走行のためです。また車内にはカメラが数台搭載されていますが、この台数も今後増えていきます。ドライバーから見る死角をゼロにするためです。もちろんこれらのカメラも半導体の塊です。ドライバーの居眠り防止機能や、幼児の居残り発見機能などもこれから欠かせなくなりそうです。見えにくい夜などはハイビームで運転して対向車が来ても相手のドライバーには光が当たらないように自動的に切り替える機能も欧

州の高級車から始まりました。クルマはより安全に、クルマメーカーはさまざまなテクノロジ（半導体）を駆使して事故ゼロを目指しています。こういったところにはすべてデジタル技術（半導体）が使われています。デジタルの方が省力化でき、機能の追加でサービスを広げられるからです。

## AI時代はもっと高性能なチップが必要

デジタルと呼ばれる世界では100%半導体が使われています。だからこれからのデジタル化にはもっと新しい半導体が使われるようになります。さらに、AIを創り出すのは、ソフトウェアと学習データと人ですが、それらだけでは限界があります。例えば、今のチャットGPUではエヌビディアのGPUという半導体を数千個使っても学習に300日もかかったそうです。もしGPUの性能が10倍に向上すれば300日が30日で済みます。これまでAIエンジニアは大量のデータを学習させたい

とも思っても、300日かかるのならやめよう、と考える人が多かったのです。しかしオープンAIは300日かかる学習データを読み込ませたので、チャットGPUができました。GPUの性能がこれ以上上がらないのなら、さらに多くのパラメータを使って学習させることは不可能に近くなり、あきらめる人が続出するでしょう。

しかし、エヌビディアだけではなくインテルやAMD、さらにはスタートアップたちが新AIチップを開発しています。今のところ、チャットGPUは質問してもあらゆることに答えを出してくれ、さらに画像や、映像なども作り出してくれます。これ以上の機能を望むのなら（世界はすでに望んでいます）、半導体をもっと高性能、高機能にする必要があります。

## 高集積化でAI、IoT、5G／6Gが生み出す未来

半導体を作る側ではムーアの法則が行き詰まっていますが、シリコンチッ

プを重ねたり大きくしたりするなどにより、さらなる高集積化ができる技術も登場しています。大量のチップを一つのパッケージ内に集積する「先端パッケージ技術」を使えば、集積度を10倍増やすことが可能です。

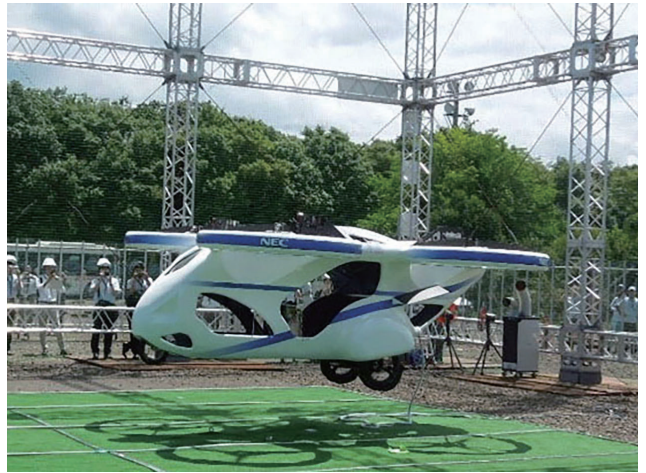
しかし、ハンドリングが難しく新たに工場を作り直す必要があります。そこで、新しいスタートアップ企業が誕生しています。米国やシンガポールに先端パッケージ専門の企業が現れました。もちろん既存の半導体企業も先端パッケージ工場を作り直しています。インテルや台湾のTSMCなどが力を入れていきます。

半導体を牽引するのはAIだけではなくありません。5G／6Gなどの通信技術やIoTセンサーを使ったデジタルトランスフォーメーション技術にも欠かせません。通信技術は2030年ころに6G通信時代を迎え、2030年代にわたって身近になります。

またIoTは環境や周囲の温度や湿度、風力などを測定しそのデータを使って、これまでの人間が気づかなかった



写真2 空飛ぶクルマ試作機、NECが開発



事実を知らせてくれるようになります。例えば農業に使える、土壌の温度や湿度、植物の湿度などのセンサ情報から適切な収穫期を天気情報とも合わせて教えてくれます。酪農家では、乳牛の妊娠から出産までの状況をセンサで知り、適切なタイミングを知らせてくれるため、酪農家が出産時に今か今かと言きまきして見回ることが必要なくなり、負担が軽減している事例がすでにあります。

こういったAI、5G/6G、デジタルトランスフォーメーションという三つの技術はそれぞれ単独で使われるというよりも、組み合わせればより深いデータと情報が得られ、人間が気づかなかったことを発見できます。ロボットや自動運転などはこれらの組み合わせが重要になります。

将来の空飛ぶクルマ(写真2)もこれらのテクノロジーの組み合わせです。現在のコンピュータと通信と半導体技術がスマホを生み出したように、これからはデジタル化とAIと5G/6G通信技術を組み合わせれば便利なツールが間違いなく登場するでしょう。年寄りを慰める小型ロボットは、これらの組み合わせで実現します。従来のロボットは言葉のボキャブラリが少なすぎて、きちんと対応できませんでしたが、生成AIとデジタル技術、そして5G/6G通信を組み合わせることで、まるで孫と対応しているような人形ロボットが手ごろな価格で入手できるようになります。恐らく2030年代だろうと思われませんが、今から開発すればもっ

と早く実現するかもしれません。(2024年7月25日・公開講演会)

### 筆者略歴(つだ・けんじ)

国際技術ジャーナリスト、News & Chips 編集長。日経エレクトロニクスを皮切りに半導体・エレクトロニクス産業を40年以上取材。日経マガジンを経て、ロウヒル(現日経BP社)を経て、Reed Business Informationの『EDN Japan』『Semiconductor International 日本版』を手掛けた。米国、欧州、アジアの記者との付き合いも長い。

著書に『メガトレンド半導体2014-2023』(日経BP)、『欧州ファブレス半導体産業の真実』『知らなきヤバイ! 半導体、この成長産業を手放すな』(共に日刊工業新聞社)、『日本の半導体戦略と電子地政学2024を読む』(ソハコ出版局、田胡治之編)など。