

TECHNOLOGY BRIEF

No. 2, OCTOBER 2023

持続可能な開発のための 半導体チップ

Tshilidzi Marwala, United Nations University, Tokyo, Japan

政策提言：

- 資源の生産性を向上させ、廃棄物を最小化する
- 持続可能な半導体製造方法を導入する
- 持続可能なサプライチェーンを実現する
- デジタル・アクセシビリティを確保する
- 持続可能な開発を促進する半導体技術をグローバル・サウスへと移転する
- 持続可能な特定用途向け集積回路 (ASIC) の産業を発展させる
- 半導体産業を包摂的に発展させるために提携、協力する
- 半導体技術へのアクセシビリティを確保する
- 持続可能な半導体産業を推進するためのメカニズムとインセンティブを開発する

はじめに

この技術ブリーフの目的は、半導体チップの実際の発展に沿った政策転換を提言することである。政策転換や戦略の推進においては、持続可能性の達成に重点が置かれなければならない。チップ、すなわちデータ信号を伝送する電子回路が組み込まれた小型半導体は、スマートフォン、電気自動車、医療機器など、多くの技術に不可欠である¹。また、人工知能 (AI) やモノのインターネット (IoT) のような新技術の開発にも不可欠であり、例えば、再生可能エネルギー、ヘルスケア、精密農業、航空宇宙などの産業にも応用されている。チップとその活用は、持続可能な開発にとって極めて重要である。持続可能な開発へのアプローチとは、将来の世代のための資源や可能性を損なうことなく、現在の要求を満たすことを目指す長期計画である。

¹ Marwala, T. (2023) When the chips are down — the increasingly cutthroat political economy of computer chips. <https://www.dailymaverick.co.za/opinionista/2023-08-23-when-the-chips-are-down-the-increasingly-cutthroat-political-economy-of-computer-chips/>

現在の世界的な半導体サプライチェーンは、米国、台湾をむく中国、韓国といった一部の国に極端に集中している²。このような供給網の集中は、新型コロナウイルスの大流行や最近のウクライナ紛争のような不測の事態が起こった場合に、業界を混乱に陥れやすくしている。さらに、半導体の世界的な供給の安全性と強靱性に対する懸念も生じており、このサプライチェーンの拡大とチップの増産の要望に対処する必要がある^{3,4}。供給網の集中は、さまざまな分野で世界的に多大な影響をおよぼす混乱を引き起こしかねず、リスクが高いため、より分散化された持続可能なものにすべきである。アナログ半導体（連続的な電気的信号の処理や操作をするように設計された半導体）、AIチップ（AIに求められる複雑な数学的計算を効率的に実行するように設計された半導体）、量子チップ（量子力学の原理に基づく半導体）による、この分野における次世代の革新的な技術の膨大な可能性を、現在の供給網は考慮していない^{5,6,7}。

問題提起

チップの需要の増大は、複雑な製造を増加させ、それにより環境の悪化、資源の枯渇、資産の分配格差をもたらす可能性がある。さらに、プロセッサへの依存の高まりは、半導体産業において、社会経済的なビジョンへの配慮と環境の保護を図るべく、持続可能な慣行を促進する必要性を強めている。

チップの世界分布

チップの世界における分布の程度はさまざまである。台湾にある世界最大の半導体ファウンドリーであるTSMCは、半導体製造の世界的リーダーである⁸。もう1つの重要なメーカーであるサムスンも韓国に本社を置いている⁹。日本には、キオクシアやソニーセミコンダクタソリューションズなどの企業があり、

2 Mohammad, W., Elomri, A. and Kerbache, L., 2022. The Global Semiconductor Chip Shortage: Causes, Implications, and Potential Remedies. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), pp.476-483.

3 Attinasi, M.G., De Stefani, R., Frohm, E., Gunnella, V., Koester, G., Tóth, M. and Melemenidis, A., 2021. The semiconductor shortage and its implication for euro area trade, production and prices. *Economic Bulletin Boxes*, 4.

4 Gopal, S., Staufer-Steinnocher, P., Xu, Y. and Pitts, J., 2022. Semiconductor Supply Chain: A 360-Degree View of Supply Chain Risk and Network Resilience Based on GIS and AI. In *Supply Chain Resilience: Insights from Theory and Practice* (pp. 303-313). Cham: Springer International Publishing.

5 Ulmann, B., 2023. Analog Computing for the 21st Century. *arXiv preprint arXiv:2309.03971*.

6 Fuketa, H. and Uchiyama, K., 2021. Edge artificial intelligence chips for the cyberphysical systems era. *Computer*, 54(1), pp.84-88.

7 Nikandish, R., Blokhina, E., Leipold, D. and Staszewski, R.B., 2021. Semiconductor quantum computing: Toward a CMOS quantum computer on chip. *IEEE Nanotechnology Magazine*, 15(6), pp.8-20.

8 Moore, S.K., 2019. Another step toward the end of Moore's law: Samsung and TSMC move to 5-nanometer manufacturing-[News]. *IEEE Spectrum*, 56(6), pp.9-10.

9 Pelcat, M., 2023. *GHG emissions of semiconductor manufacturing in 2021* (Doctoral dissertation, Univ Rennes, INSA Rennes, CNRS, IETR-UMR 6164, F-35000 Rennes).

半導体産業における存在感は大きい。中国の半導体産業は急成長しており、近年は突出した存在となっている^{10,11}。半導体産業が最初に発展した米国は、インテル、エヌビディア、テキサス・インスツルメンツ、マイクロンなどの企業を擁し、主要なプレーヤーであり続けている¹²。他に半導体製造能力を持つ国として、ドイツ、オランダ、フランス、シンガポールなどがある。注目すべきは、これらの国々が半導体製造に加え、半導体やハイエンド機器の設計やシミュレーションにも優れていることである。さらに、これらの国々には、新しい半導体技術の開発において重要な役割を担う一流企業、大学、研究機関がある。

「グローバル・サウス」は、概してアフリカ、アジア、ラテンアメリカ、カリブ海諸国に位置する開発途上国を指す用語である¹³。一般的には、これらの国々はグローバル・ノースの国々に比べて経済発展レベルが低く、貧しい。グローバル・サウスにも、半導体技術を持つ注目すべきプレーヤーがいる。例えば、ブラジルの企業である Semicondutores Pro Eletrônica (SPE) は、さまざまな用途の集積回路を設計し、製造している。インドの Semiconductor Complex Limited (SCL) は、インドの軍事産業や航空宇宙産業向けの半導体を設計、製造する政府系企業である¹⁴。マレーシアには半導体ファウンドリーの Silterra Malaysia があり、メモリー、ロジック、アナログチップなどを製造している¹⁵。その他、アルゼンチン、チリ、コロンビア、エジプト、メキシコ、モロッコ、チュニジアなど、グローバル・サウスの国々が自国の半導体産業を拡大している。

グローバル・サウスにとって、半導体産業を目的意識を持って積極的に発展させることは重要である。そうすることで、開発途上国は輸入された半導体への依存度を下げることができる。また、開発途上国の雇用を創出し、経済成長につながる。さらにまた、貧困、飢餓、病気など、開発途上国に偏在する問題に対処するための新しい半導体技術の開発にも役立つ。グローバル・サウスに幅広いネットワークを構築することは、透明性と説明責任の原則を定着させることにもつながる。

10 Park, S.A., 2023. Shifted paradigm in technonationalism in the 21st century: The influence of global value chain (GVC) and US-China competition on international politics and global commerce—A case study of Japan's semiconductor industry. *Asia and the Global Economy*, 3(2), p.100063.

11 Choung, E. and Koo, M.G., 2023. China's dream for chip supremacy: Seeing through the lens of panel display-related IC patents. *Business and Politics*, 25(2), pp.117-132.

12 Weinstein, J., 2023. Semiconductors and the Calculation of the Balance of Power. <https://knowledge.uchicago.edu/record/6118>

13 Yeung, H.W.C., 2022. Explaining geographic shifts of chip making toward East Asia and market dynamics in semiconductor global production networks. *Economic Geography*, 98(3), pp.272-298.

14 <https://www.scl.gov.in>

15 <https://www.bloomberg.com/profile/company/1064Z:MK>

持続可能な開発におけるチップの役割

チップは、さまざまな方法で持続可能な開発に大きく貢献することができる^{16, 17}。例えば、より技術的に進歩したチップは、デバイスのエネルギー効率を高めることで、エネルギー効率の向上、温室効果ガスの排出削減、気候変動対策に貢献することができる。

また、チップは新しい再生可能エネルギー技術の創出にも貢献できる。ソーラーパネル、風力タービン、その他の再生可能エネルギー技術の開発に、チップは不可欠である。これらは、再生可能エネルギー資源や気候変動の影響への対策に対するコミットメントの重要な側面であると同時に、雇用機会を創出し、経済成長を促進させる。

その他にも、チップは輸送効率の向上にも有用である。電気自動車、自動運転車など、化石燃料への依存を減らす輸送技術において、チップは性能を最適化するために使用されている。

さらに、医療や精密機械の向上にも役立つ。例えば、インテリジェント・チップは、ペースメーカーやインシュリン・ポンプなどの新しい医療機器に使われており、何百万人もの人々の生活を向上させることができる。

これらは、チップと持続可能な開発の融合例のごく一部である。

半導体汚染

チップは持続可能な開発に多くの利点をもたらす一方で地球温暖化や環境悪化の原因にもなりうる。半導体製品の製造や廃棄の過程で、有害物質が環境中に排出される^{18, 19}。これを半導体汚染と呼ぶ。半導体は現代において大きな役割を果たすものであるが、その生産と廃棄は環境に大きな悪影響を与えうる。

半導体汚染の主な原因の1つは、製造工程における有害化学物質への依存である。これらの化合物は大気、水、土壌に放出され、人間や動物の健康を脅かす。半導体製造にはフッ化水素酸が使用されるが、この酸は破壊性が強く、重度の火傷や呼吸器合併症を引き起こす可能性がある。

16 Gan, C.L., Chung, M.H., Zou, Y.S., Huang, C.Y. and Takiar, H., 2023. Technological Sustainable Materials and Enabling in Semiconductor Memory Industry: A Review. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, p.100245.

17 Mullen, E. and Morris, M.A., 2021. Green nanofabrication opportunities in the semiconductor industry: A life cycle perspective. *Nanomaterials*, 11(5), p.1085.

18 Chen, H.W., 2006. Gallium, indium, and arsenic pollution of groundwater from a semiconductor manufacturing area of Taiwan. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 77(2).

19 Garelick, H., Jones, H., Dybowska, A. and Valsami-Jones, E., 2008. Arsenic pollution sources. *Reviews of environmental contamination volume 197: International perspectives on arsenic pollution and remediation*, pp.17-60.

半導体製品の廃棄も半導体汚染の一因である。半導体を含むチップには、鉛、カドミウム、ヒ素など、さまざまな重金属が含まれている。これらの金属は有毒であり、適切に廃棄されなければ、環境を汚染する可能性がある。例えば、半導体チップは通常、埋立地に処分されるが、そこから地中や水中に溶出する可能性がある。環境と人間の健康は、半導体汚染によって悪影響を受ける可能性がある。

半導体汚染を減らす方法は数多くある。例えば、より環境に優しい半導体製造技術を開発することである。これには、より有害性の低い化学物質を使用し、半導体回路をより効率的にリサイクルする方法を開発することも含まれる。半導体チップの廃棄方法を改善することもまた、汚染を減らす方法の1つである。これには、革新的なリサイクルや焼却の技術を開発することなどが挙げられる。政府と半導体業界にも、半導体汚染の最小化において担いする役割がある。例えば、政府は半導体産業を規制し、排出基準や廃棄物処理基準を設定することができる。

グローバル・サウスと半導体バリューチェーン

グローバル・サウスは、半導体の製造に使用される基本材料の重要な供給者である²⁰。例えば、コンゴ民主共和国は世界のコバルトの約70%を生産しており、これはスマートフォンの電源など、さまざまな用途に使われるリチウムイオン電池に不可欠な構成要素である。コンゴ民主共和国はまた、半導体パッケージングに使用される銅の重要な生産国でもある。

グローバル・サウスでは他にも、ボリビア（リチウム）、ブラジル（ニオブ）、インドネシア（スズ）、ペルー（亜鉛）、フィリピン（ニッケル）が、半導体に使用される材料を生産している。グローバル・サウスに由来する材料が半導体の製造にどれだけ使用されているかを明確にすることは、これに関する情報の入手が容易でないため、困難である。ある研究では、世界の基本的な半導体材料の約60%がグローバル・サウスで生産されていると推定している。グローバル・サウスのこのような多大な貢献を考えれば、半導体の恩恵もグローバル・サウスと共有されるべきである。しかし、実際にはそうではない。

グローバル・サウスは半導体産業の原材料を大量に生産しているが、本稿で述べたように、半導体のほとんどはグローバル・ノースで製造されている。これは、半導体産業が多額の研究開発投資と資格を持った労働力を必要とするためである。

近年は、上述したように、グローバル・サウスにおける半導体製造能力の開発への取り組みが活発化している。これは、輸入半導体への依存度を下げるとともに、雇用を創出し、経済発展を促進したいという願望が動機となっている。しかし、投資や熟練労働者の不足など、いくつかの障害を克服する必要がある。

20 San Yoo, C., 2008. *Semiconductor manufacturing technology* (Vol. 13). World Scientific.

グローバル・サウスにおける半導体

グローバル・サウスにおいて半導体プロセッサが不可欠な理由はいくつかある。半導体プロセッサは、製造業、農業、医療といった数多くの産業で活用され、経済成長に貢献している。半導体チップを開発し、製造することで、グローバル・サウスの国々は自国の経済を活性化し、新たな雇用を生み出すことができる。

半導体回路は技術進歩に不可欠である。半導体の研究開発に投資することにより、グローバル・サウスの国々は、増え続ける人口の生活を向上させる新しい技術を開発し、従来の発展過程の段階を飛び越えたり、飛躍的に前進したりすることができる。

半導体プロセッサは、持続可能な開発のために、再生可能なエネルギーシステムやエネルギー効率の高い家電製品など、さまざまな持続可能な技術の開発に利用することができる。グローバル・サウスの国々は、半導体チップを開発し、活用することで、環境への影響を減らし、より持続可能な未来を構築することができる。気候変動といった問題にも、グローバル・サウスに住む多くの人々を置き去りにしたままでは取り組むことはできない。

グローバル・サウスでは、すでいくつかの具体的な半導体開発が行われている。アフリカでは、より少ない水と土地でより多くの食料を生産するための新しい農業技術の開発に半導体チップが活用されている。例えばケニアでは、作物を監視し、病害虫を早期に発見するために、農家たちが半導体プロセッサを搭載したドローンを使用している²¹。

ラテンアメリカでは、すべての人々のために医療の質を向上させることのできる新しいヘルスケア技術の開発に半導体チップが活用されている。例えば、ブラジルでは医師たちが病気の診断に半導体を用いた顕微鏡を使用している²²。

アジアでは、化石燃料への自国の依存度を低下させるための新しい再生可能エネルギー技術の開発に、半導体プロセッサが活用されている。例えば、インドのエンジニアたちは、従来のソーラーパネルよりもコスト効率が高く、効率的な半導体をベースにしたソーラーパネルを製造している²³。

半導体チップは、グローバル・サウスの発展において極めて重要な役割を果たしている。グローバル・サウスの国々は、半導体プロセッサを開発し、活用することで、経済力を強化し、技術力を向上させ、より持続可能な未来を築くことができる。

21 <https://www.businessdailyafrica.com/bd/corporate/enterprise/engineer-uses-drones-to-tap-data-driven-farming-demand-4278880>

22 Moreau, A.L., Janissen, R., Santos, C.A., Peroni, L.A., Stach-Machado, D.R., de Souza, A.A., de Souza, A.P. and Cotta, M.A., 2012. Highly-sensitive and label-free indium phosphide biosensor for early phytopathogen diagnosis. *Biosensors and bioelectronics*, 36(1), pp.62-68.

23 Devabhaktuni, V., Alam, M., Depuru, S.S.S.R., Green II, R.C., Nims, D. and Near, C., 2013. Solar energy: Trends and enabling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, pp.555-564.

公共政策に関する提言

チップの能力を活用して持続可能な開発を実現するためには、政府は、よりエネルギー効率が高く持続可能な半導体技術の研究、開発、技術移転に投資し、世界的な半導体サプライチェーンの多様化を促進しなければならない。そして、半導体産業における公平で公正な取引を推進し、半導体に関連する科学技術拠点を連携させて集中化と依存を低減させ、半導体産業が環境に与える影響を軽減するよう努力しなければならない。

このような観点から、政策立案者が考慮すべき提言を以下に示す。

1. 資源の生産性を向上させ、廃棄物を最小化する

半導体製造プロセスにおいて、廃棄物を減らし、資源を再利用するためには、循環経済の原則を採用するよう、産業界を促すことが不可欠である^{24,25}。さらに、材料効率の研究開発をより重点的に行うべきである。資源効率の高い半導体製造材料の研究開発への資金供与もその一環である。

2. 持続可能な半導体製造方法を導入する

温室効果ガス排出を削減するため、半導体製造施設の再生可能エネルギーへの移行を促進する政策が必要である²⁶。半導体製造業における節水対策を促進するために、税制上の優遇措置や補助金を検討すべきである。

3. 持続可能なサプライチェーンを実現する

政策により、倫理的な調達を奨励し、原材料の倫理的な調達のために透明性と説明責任に基づく厳格なガイドラインの実施を促す必要がある。さらに、基本材料や完成品の輸送に伴う二酸化炭素排出量を削減するため、現地でのサプライチェーンの発展を促進する政策が必要である。

4. デジタル・アクセシビリティ

公平なシステムを構築するためには、テクノロジーへの費用負担の少ないアクセスを実現する必要がある。政策は、サービスから取り残されたコミュニティがチップを使用した技術を利用できるようにすることによって、アクセシビリティだけでなく、知識の向上を含め、デジタル・インクルージョンを促進し、デジタル・ディバイド（デジタル上の分断）を解消すべきである。政策立案者は、持続可能な開発目標の推進に向けた半導体技術の可能性を引き出すことに重点を置き、デジタルリテラシーの向上とグローバルな（南北間および南南間の）交流を促進する教育戦略を策定すべきである。

24 Ishak, S., Shaharudin, M.R., Salim, N.A.M., Zainoddin, A.I. and Deng, Z., 2023. The effect of supply chain adaptive strategies during the COVID-19 pandemic on firm performance in Malaysia's semiconductor industries. *Global Journal of Flexible Systems Management*, pp.1-20.

25 Lu, W.M., Lo, S.F., Hung, S.W. and Yo, J., Semiconductor industry supply chain productivity changes: Incorporating corporate green performances. *Managerial and Decision Economics*.

26 He, Q.R. and Chen, P.K., 2023. Developing a green supplier evaluation system for the Chinese semiconductor manufacturing industry based on supplier willingness. *Operations Management Research*, 16(1), pp.227-244.

5. 持続可能な開発を促進する半導体技術をグローバル・サウスへと移転する

貧困、移民、気候変動などのグローバルな課題に対処するためには半導体産業が不可欠であるという前提に基づいて、持続可能性を重視した半導体技術をグローバル・サウスにも移転することが重要である^{27,28}。これは、グローバル・ノースとグローバル・サウス間のジョイント・ベンチャー、海外直接投資、技術ライセンスの供与、大学プログラム、技術ワークショップ、セミナー、オンライン講座を通じた教育と訓練、地元の才能と能力の育成に重点を置いた研究開発など、さまざまなアプローチを通じてその実現を追及することができる。さらに、半導体の技術革新に特化した技術クラスターを設立することで、共有リソースと支援エコシステムを通じて技術移転を促進することができる。技術移転と投資の要請に応えるために、南北協力と南南協力のいずれも発展させる余地がある。

グローバル・サウスの政策立案者もまた、知的財産権保護法と執行メカニズムの強化において、果たすべき役割がある。同様に、先進国と開発途上国間の半導体技術および部品の交換を促進する貿易協定の交渉も不可欠である。結局のところ、こうした取り組みは持続可能な慣行に基づいていなければならない、政府およびその他の重要な利害関係者の賛同が必要である。

グローバル・サウスの国々の政府は、外国の半導体企業に自国への投資を促す財政的インセンティブを提供すること、半導体産業に有利な規制環境を整備すること、半導体産業の教育訓練プログラムに投資し、グローバル・ノースとのパートナーシップにおいて半導体研究開発を支援することにより、自国への半導体技術移転を促すこともできる。

6. 持続可能な特定用途向け集積回路（ASIC）の産業を発展させる

ASICは、特定の目的のために設計されたコンピューター・プロセッサである²⁹。ASICは一般的に、CPUやGPUのような汎用チップよりも、特定のタスクにおいて効率的かつ高速に動作する。ASICには、さまざまな機能を持たせることができる。例えば、ASICは、データを効率的かつ迅速に処理するために、ルーター、スイッチ、その他のネットワーク機器に使用される。基地局やその他の通信機器では、音声やデータのトラフィックを処理するために使用されている。スマートフォン、タブレット、その他の家電機器に使用されているASICは、画像処理、ビデオエンコード、オーディオ信号のデコーディングなどを実行する。ASICはこのほか、エンジン機能、ブレーキシステムをはじめ、自動車やその他の乗り物の重要なシステムの制御などにも使用される。ASICはまた、産業オートメーションシステム、

ロボット工学、その他の産業用アプリケーションにも使用されている。ASICの幅広い用途と応用の可能性を考慮すると、ASICは持続可能性を目的とする形で開発されなければならない。

一般的に、ASICの設計および製造は、特定のタスクや用途に合わせてカスタマイズされるため、汎用プロセッサの設計および製造よりもコストがかかる。しかし、最適化で性能を向上させ、精度の改善で効率化することにより、コストの増加を軽減できる。ASICには、待ち時間の短縮や、コンパクトなサイズ、カスタマイズの可能性、長期的な耐久性と信頼性など、他にも多くの利点がある。したがって、特に持続可能な開発を追求する上では、速度、エネルギー効率、特殊な機能が重要となる用途においてASICを使用する利点は、その初期投資に見合うものである。気候モニタリングの追及や、都市、農業およびその他の健康食品産業のためのスマート技術などに対する民間および人道的な要求の高まりは、良い契機と考えることができる。

7. 半導体産業を包括的に発展させるために提携、協力する

このプロセスを促進するために、さまざまなパートナーシップが想定されている³⁰。例えば、持続可能な半導体技術の研究とイノベーションを促進するために、政府、企業、地域社会、学術機関の間のパートナーシップが、政策により促進されるべきである。さらに、持続可能な開発のための先進的なチップ技術に関する知識交換や共同イニシアチブを促進するために、国際協力を奨励する政策が必要である。

8. 半導体技術へのアクセシビリティを確保する

半導体技術へのアクセシビリティを改善する方法はいくつかある。より低コストで導入しやすい半導体製造技術を開発するための研究開発に対して投資することは、1つのアプローチである。開発途上国における半導体産業の成長を支援するために政府プログラムを策定するという方法もある。また、国際的な半導体技術協力を推進することも重要である。これには、情報やリソースを交換し、研究開発イニシアチブのために連携することも含まれる。

9. 持続可能な半導体産業を推進するためのメカニズムとインセンティブを開発する

政策枠組みにおいて採用を検討すべき実現手法はいくつかあるが、政策立案者は、半導体製造業界における持続可能性対策を実施するための法制および税制枠組みの整備に注力することが推奨される。インセンティブについては、政策立案者は、環境に配慮した製造方法を遵守する企業に対する金銭的インセンティブを優先すべきである。コミュニケーションを重視することも重要であり、政策立案者は一般市民向けの啓蒙活動を実施し、チップ関連の持続可能な開発の取り組みに地域社会が参加するよう奨励すべきである。最後に、政策立案者は、政策の継続的な修正や改善を行い、政策の有効性と影響力を維持するために、モニタリングと評価のメカニズムを導入すべきである。

27 Sharma, A., 2023. Assessing Core-monopolization and the Possibilities for the Semi-periphery in the World-system Today: A Case Study of the Semiconductors Industry. *Journal of World-Systems Research*, 29(2), pp.480-504.

28 Thorbecke, W., 2023. The East Asian Electronics Sector: The Roles of Exchange Rates, Technology Transfer, and Global Value Chains. *Cambridge Elements in International Economics*.

29 Liu, J., Zhou, H., Chen, F. and Yu, J., 2022. The coevolution of innovation ecosystems and the strategic growth paths of knowledge-intensive enterprises: The case of China's integrated circuit design industry. *Journal of Business Research*, 144, pp.428-439.

30 Elia, G., Petruzzelli, A.M. and Urbinati, A., 2020. Implementing open innovation through virtual brand communities: A case study analysis in the semiconductor industry. *Technological forecasting and social change*, 155, p.119994.

結論

チップは、持続可能な開発に必要な多種多様なテクノロジーに不可欠なものである。各国政府が適切な政策措置を講じることで、より持続可能な未来の促進を目指すチップの利用を実現することができる。上述した政策提言に加え、各国政府は、責任ある持続可能なチップ生産のための長期計画を推進するための対策を優先することができる。例えば、チップ工場でクリーンエネルギーを利用し、廃棄物をリサイクルし、従業員の権利を保護することを促す政策枠組みを発達させることができる。各国政府は、本稿で概説した政策措置を採用することで、環境や人々に害を与えない形でのチップ製造を実現することができる。国、地域機関、産業界、各セクターは、法律や規制制度との整合性を保てるよう、政策枠組みが適切であるかを検証する必要がある。合理的かつ許容可能な影響を与えるために、政策は総合的かつ統合的に一貫性を持って採用されることが推奨される。

本稿について

著者情報

チリツィ・マルワラ教授は東京に本部を置く国連大学の学長であり、国連事務次長を務めている。前職はヨハネスブルグ大学（南ア）の副学長である。マルワラ教授はこれまで 300 件以上もの雑誌記事や新聞寄稿を提供し、27 冊にのぼる AI とその関連分野の書籍を著し、5 つの特許を取得している。ケース・ウェスタン・リザーブ大学（米国）で機械工学の理学士号を、ケンブリッジ大学（英国）で博士号を取得。アメリカ芸術科学アカデミー、世界科学アカデミー（TWAS）、南アフリカ科学アカデミーなどに所属している。

免責事項：

本稿で述べられている見解や意見は、必ずしも国連大学の公式な方針や立場を反映したものではありません。

Copyright © 2023 United Nations University. All rights reserved.

ISBN 978-92-808-9148-5