

**Goldman  
Sachs**

# The Green Technology Cycle SiC

Green inflationが次の  
Green technologyを加速する。転換点が想定より早く到来へ

過去半年間でEV用SiC(Silicon Carbide)半導体の市場見通しが急拡大し始めた(Si:Siliconに対し性能/コストでより効率的となる可能性)。当社では急成長局面への転換点が約2年前倒しで到来しているとみている。それは大型投資による生産能力

の整備、半導体メーカーの技術投資加速とロードマップの明確化、サプライチェーンの構築/整備など市場拡大の条件が整ってきたこと。加えて、EV用電池の高騰というGreen Inflationが、SiCの技術イノベーションを推し進めSiC採用加速を更に後押ししていると当社ではみる。Green Inflationが次のGreen Technology Cycleを加速させている。



**高山 大樹**

+81(3)6437-9870

daiki.takayama@gs.com

Goldman Sachs Japan Co., Ltd.

**Alexander Duval**

+44(20)7552-2995

alexander.duval@gs.com

Goldman Sachs International

**Brian Lee**

+1 917 343-3110

brian.k.lee@gs.com

Goldman Sachs & Co. LLC

**Allen Chang**

+852 2978-2930

allen.k.chang@gs.com

Goldman Sachs (Asia) L.L.C.

ゴールドマン・サックスは本資料に記載される企業と業務を行っている、またはこれから行おうとしています。したがって、お客様におかれましては、弊社との間に本資料の客観性に影響を及ぼす可能性がある利益相反が生じることをご了承ください。本資料はあくまでも投資を決定する上での一要素とお考えください。レギュレーションACに基づく証明事項ならびにその他の重要な開示事項は、巻末の開示事項、または [www.gs.com/research/hedge.html](http://www.gs.com/research/hedge.html) に記載されております。米国以外の関連会社に勤務するアナリストは米国 FINRAの規定によるリサーチアナリストとしての登録ないし資格取得を行っておりません。

**The Goldman Sachs Group, Inc.**

*Full list of authors inside*

# Contributing Authors

## 高山 大樹

+81(3)6437-9870  
daiki.takayama@gs.com  
Goldman Sachs Japan Co., Ltd.

## Alexander Duval

+44(20)7552-2995  
alexander.duval@gs.com  
Goldman Sachs International

## Brian Lee

+1 917 343-3110  
brian.k.lee@gs.com  
Goldman Sachs & Co. LLC

## Allen Chang

+852 2978-2930  
allen.k.chang@gs.com  
Goldman Sachs (Asia) L.L.C.

## Jin Guo

+86(21)2401-8943  
jin.guo@gsggh.cn  
Beijing Gao Hua Securities  
Company Limited

## Toshiya Hari

+1(646)446-1759  
toshiya.hari@gs.com  
Goldman Sachs & Co. LLC

## Brian Singer, CFA

+1(212)902-8259  
brian.singer@gs.com  
Goldman Sachs & Co. LLC

## Sharmini Chetwode, Ph.D.

+852-2978-1123  
sharmini.p.chetwode@gs.com  
Goldman Sachs (Asia) L.L.C.

## Shuheï Nakamura

+81(3)6437-9932  
shuheï.nakamura@gs.com  
Goldman Sachs Japan Co., Ltd.

## Atsushi Ikeda

+81(3)6437-9940  
atsushi.ikeda@gs.com  
Goldman Sachs Japan Co., Ltd.

## Ryo Harada

+81(3)6437-9865  
ryo.harada@gs.com  
Goldman Sachs Japan Co., Ltd.

## Ayaka Misonou

+81 3 6437-9907  
ayaka.misonou@gs.com  
Goldman Sachs Japan Co., Ltd.

## Bruce Lu

+852-2978-6368  
bruce.lu@gs.com  
Goldman Sachs (Asia) L.L.C.,  
Taipei Branch

## Lynn Luo

+886(2)2730-4244  
lynn.luo@gs.com  
Goldman Sachs (Asia) L.L.C.,  
Taipei Branch

## Verena Jeng

+852-2978-1681  
verena.jeng@gs.com  
Goldman Sachs (Asia) L.L.C.

## Mitsuhiro Icho

+81 3 6437-9836  
mitsuhiro.x.icho@gs.com  
Goldman Sachs Japan Co., Ltd.

## Enrico Chinello, Ph.D.

+1 212 357-3398  
enrico.chinello@gs.com  
Goldman Sachs & Co. LLC

## Keebum Kim

+852-2978-6686  
keebum.kim@gs.com  
Goldman Sachs (Asia) L.L.C.

## Shin Ehara

+81 3 6437-9934  
shin.ehara@gs.com  
Goldman Sachs Japan Co., Ltd.



## 目次

---

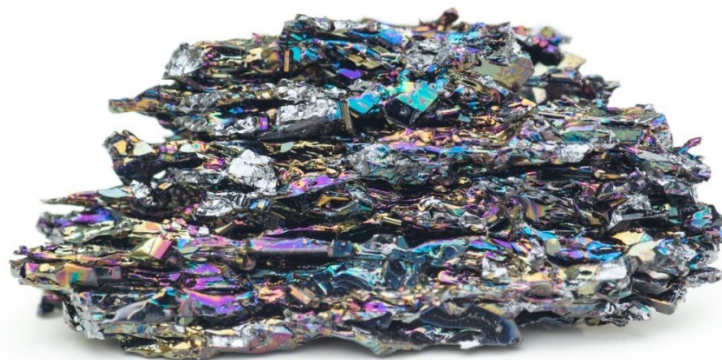
Why now, and why does it matter ?	6
EV用SiCのTAM見通しを増額修正	14
プロフィット・プールを最大化するための8つの要素	22
EV用SiCの拡大を阻む要因	29
材料メーカーへのインプリケーション	31
装置メーカーへのインプリケーション	32
GS SUSTAIN: SiCがグリーン設備投資目標を推進、ESGファンドによる保有も増加する可能性	36
付属開示事項	43

---

- 過去半年間でEV用SiC(Silicon Carbide)半導体の市場見通しが急拡大し始めた(Si:Siliconに対し性能/コストでより効率的となる可能性)。当社では急成長局面への転換点が約2年前倒しで到来しているとみている。それは大型投資による生産能力の整備、半導体メーカーの技術投資加速とロードマップの明確化、サプライチェーンの構築/整備など市場拡大の条件が整ってきたこと。加えて、EV用電池の高騰というGreen InflationがSiC採用加速を更に後押ししていると当社ではみる。Green Inflationが次のGreen Technology Cycleを加速させている。
- 同事業機会はEVシフトとSiCシフトという2つの技術変化がドライバーとなっている。昨今のテクノロジー業界では数少ない、インフレが技術革新を促し、見通しが上振れ方向にある製品と予想する。当社ではSiC搭載のBEV台数は現在100万台から2030年には1300万台と大幅に増えると想定、関連企業への業績影響度も高まるとみている。株式市場ではSiCの潜在成長力に関する確固たるコンセンサスも乏しいとみられ、市場規模拡大・持続的業績成長への影響を過小評価している可能性がある。

# Silicon Carbide

## in numbers



### US\$11.3bn

Total (autos and industrial) SiC market (2030E)



### Automotive SiC market

US\$0.9 bn  
(2021)



US\$3.3 bn  
(2025E)



US\$7.5 bn  
(2030E)



### 42%

Incremental growth in the \$19.4bn xEV Semi market (2030E) to be driven by SiC



### +31%

SiC based BEVs (2021-30E CAGR)



### US\$720

Avg. SiC semis content per BEV (2025E) vs. US\$315 for IGBT



### 5-10%

Increase in driving mileage on the switch to SiC from IGBT



### >30%

Lower charging times on high voltage resistance



### +3-6 kWh

Potential electricity consumption gains on switch from IGBT to SiC in 60kWh EV




### \$500



Direct cost differential between SiC and IGBT


Improvement of +10% kWh would bring costs below increase in battery cost.

### Key capex commitments

→ €2bn investment by 

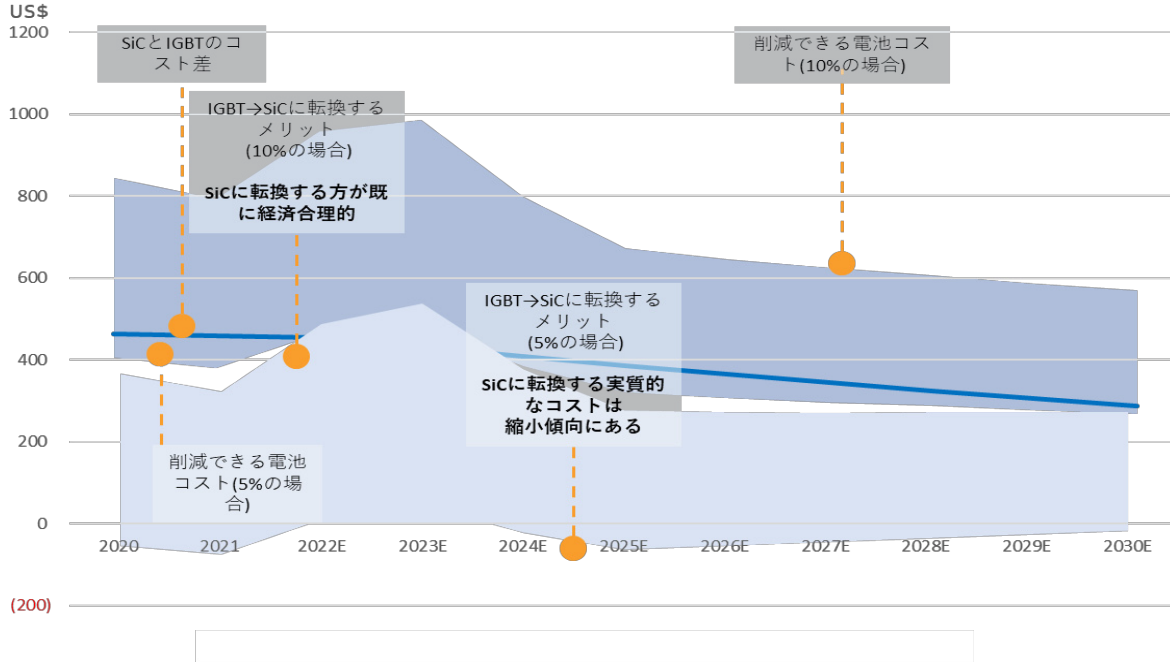
→ European mega-factory announced by  STMicroelectronics

→ Robust investment plans from  Wolfspeed and 

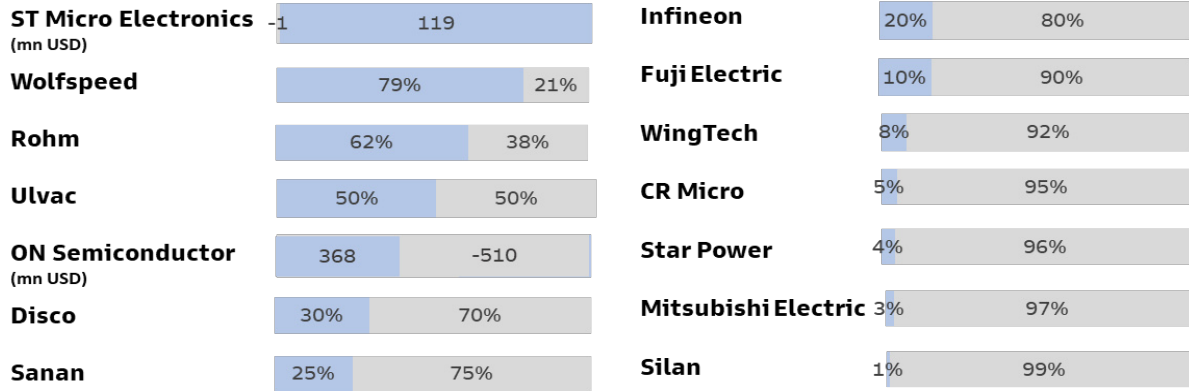
→  aggregated 2025 capex up to **120-170bn JPY** (from 60bn JPY)

## SiC/IGBT cost gap and battery cost saved by SiC

Direct cost increase on switch to SiC from IGBT less likely to be perceived as excessively high compared with rising per-kWh battery costs



## SiC contribution to operating profit growth (2022-2024E)



SiC contribution

The numbers for Mitsubishi Electric are based on FY22/FY23

Source: Goldman Sachs Global Investment Research



## Why now, and why does it matter ?

### Why now ? : SiC採用のインフレクションポイントが見え始めた

SiCの重要度や将来拡大ポテンシャルについては、当社ディープレポートAlex Duval、Allen Changで紹介してきた。そこではEVのインバータに使われるSi(シリコン)をSiC(シリコンカーバイド)に切り替えることで、走行距離が伸び、電池の大きさが抑えられるなど性能が向上することを示した。今回、改めてSiC(EV用)の採用加速にスポットライトを当てるのは、新たな転換点を迎えているためである。それは「EV用電池のGreen inflationが(後述するいくつかの状況も相まって)SiC採用という次世代Green technologyの加速をさせ始めた」と当社ではみているためである。

EVのSiC採用のインフレクションポイントが迫っているとの当社見解は、実際にSiCの商業規模拡大という事実が出てきている点に裏付けられている。自動車OEMの数千億円規模の大型設計契約が増えており、テスラなど早期からSiCを採用しているOEMだけでなく、広くEVのSiC採用が進んでいる様子が窺える。Infineonはトレンチ型の技術に注力していたと当社では推測しており、そのためSiC技術が台頭し始めた当初は他社に後れを取っていたが、最近では事業を大きく進展させ、これまでに数千億円規模のEV用SiC設計契約を5件結んでいる。また、複数社の大手半導体メーカーがSiCの売上目標を引き上げている。STMicroは10億ドルの売上目標達成時期を2025年から2024年、更にその後2023年へと前倒ししており、Wolfspeedも2021年の投資家説明会以降2026年度のSiC売上目標に上方圧力がかかっているとの認識を示した。Wolfspeedの四半期ごとのデザインインも増加しており、過去2四半期連続で約16億ドルにのぼる(21年度1Q以降の平均は7億ドル前後)。また業界関係者の話によると、SiCデバイスメーカーと大手OEMとの議論は、SiC技術の利点や評価の説明よりも、十分なSiCの生産能力を確保できるかが中心となっている(テスラをはじめSiCを採用したハイエンドEVが量産されていることから、SiC市場が近年成熟化していることが示唆される)。特に、Wolfspeedの会社コメントによれば、ICEの主要部品のサプライチェーンの乱れによって、SiCへの移行が早まるケースも想定されている。

当社では市場加速に向けた状況が整った理由が複数あるとみている。

第1に、アナログ半導体大手が急拡大するSiC市場でのシェア確保を目指し、SiC専用の生産設備を導入するために多額の投資を計画する動きが広がっている。Infineonによる20億ユーロの投資、STMicroが発表した欧州の大型工場、WolfspeedやON Semiによる大規模な投資計画などが最たる例である。ロームも2025年までの設備投資額を600億円から1200-1700億円に引き上げており、こうした動きはOEMがSiCを採用した場合、安定した供給への確信を強める一助となろう。

第2に、一部の半導体メーカーは競争上の優位性を高めるために戦略的M&Aを行っている(2019年にSTMicroがエハ供給技術取得のためにNorstelを買収、2018年にInfineonがウエハ分割技術取得のためにSillectraを買収したケースなど)。これも将来的なSiCデバイスの改善に向けたロードマップの策定を後押しし、SiC技術の信頼性を更に高めることに繋がる。

第3に、半導体メーカーの次世代技術に向けた投資はOEM各社のSiCの採用を後押しし、またSiC技術の長期的なポテンシャルの信憑性を高めることにも繋がる。特に、SiCの更なる効率化に向けたロードマップが明確になりつつあるため(トレンチ型へのシフト、6

インチから8インチへの技術移行など)、OEMはSiCを長期的な製品ロードマップに採用することへの確信を強めていると当社では想定している。

最後に、**広範な製造設備のエコシステム進展**もモメンタムに追い風となっている。例えば、STMicroと結晶成長システムを手掛けるPVA Tep1aは200mmウエハ向けの結晶成長装置の提供に合意したと2022年5月に発表したが、これはSiCウエハの供給不足緩和を指す取り組みの一例と捉えられる。

以上を踏まえ当社はグローバル予想を上方修正し、2025年の車載(EV)向けSiC市場は33億ドル、2030年は75億ドル。2021-2025年および2030年の年率成長率は各37%/26%と試算している。

### 困難は常に新たな技術を加速させる

そもそもSiCは、材料の性能的な優位性がSiより高いが、これまで製造/加工難易度、サプライチェーンの能力制限、割高なコストなどから普及拡大には時間がかかるとされてきた。しかし、技術的な成熟や製造能力が整いつつあることに加え、**電池のkWhコスト上昇がSiC採用の「経済合理性」を高め、市場拡大加速の一因となっている**と当社では分析している。

これが全ての理由ではないが、当社では過去何度も「大きな経済変動が新しい技術を加速する」といった現象を経験してきている。今回もその一つと捉えており、関連企業の業績評価・株価評価が想定以上に早く到来する可能性を想定している。

### EVの性能競争・最適ソリューション

EVメーカーの重要な技術競争の一つとして「**コストあたりの走行距離**」が挙げられる。そのために「**電池・モーター・インバーターの最適なソリューション**」が重要となる。これまではkWhあたりの電池コストを下げる技術進化が最も有力手段であり、今でもEV普及拡大を促進するうえで重要な要素である点は変わらない。しかしながら**図表 1**の通り、**電池のkWhコストは2022-2023年と従来予想比大幅上昇の予想**。このためSiC採用がEVの性能パフォーマンス向上の手段の一つとして、相対的な重要度を増してきている。

SiC(SiCを使ったMOSFET)採用のメリットは、(1)一般的なSi(Siを使ったIGBT)に対し、耐熱/耐圧特性や低On-抵抗特性/高動作特性に優れ、**kWhあたりの走行距離を5~10%向上させる**、(2)高耐圧特性により充電時間を短縮可能(一般的に30%前後は充電時間を短縮可能)、などが挙げられる。従って、EVの800V化(高電圧化)においてはSiCを採用する明確なメリットがあり、400V車においても一部ハイエンド(例:テスラ)においてもSiCが搭載されている。

これらが意味することは、電池コストの上昇を受け、今までコスト的に割高とされてきたSiC(Siを使ったIGBTに比べて数倍)の**採用ハードルが低下**である。将来的なSiに対するSiCの技術進歩余地や、急速充電(時間短縮)のメリットを鑑みると、SiCを早期に採用する経済合理性が高まってきたと考えられる。(自動車メーカーが最近SiCの長期生産能力に対する確信を強めていることなど、前述した要素も寄与する)。

### SiC採用の経済合理性を検証する

経済合理性のメカニズムを単純な計算から検証してみたい。

一般的なEVの電力量が60~80kWhと仮定し、IGBTに比べSiC採用の場合+5~10%の走行距

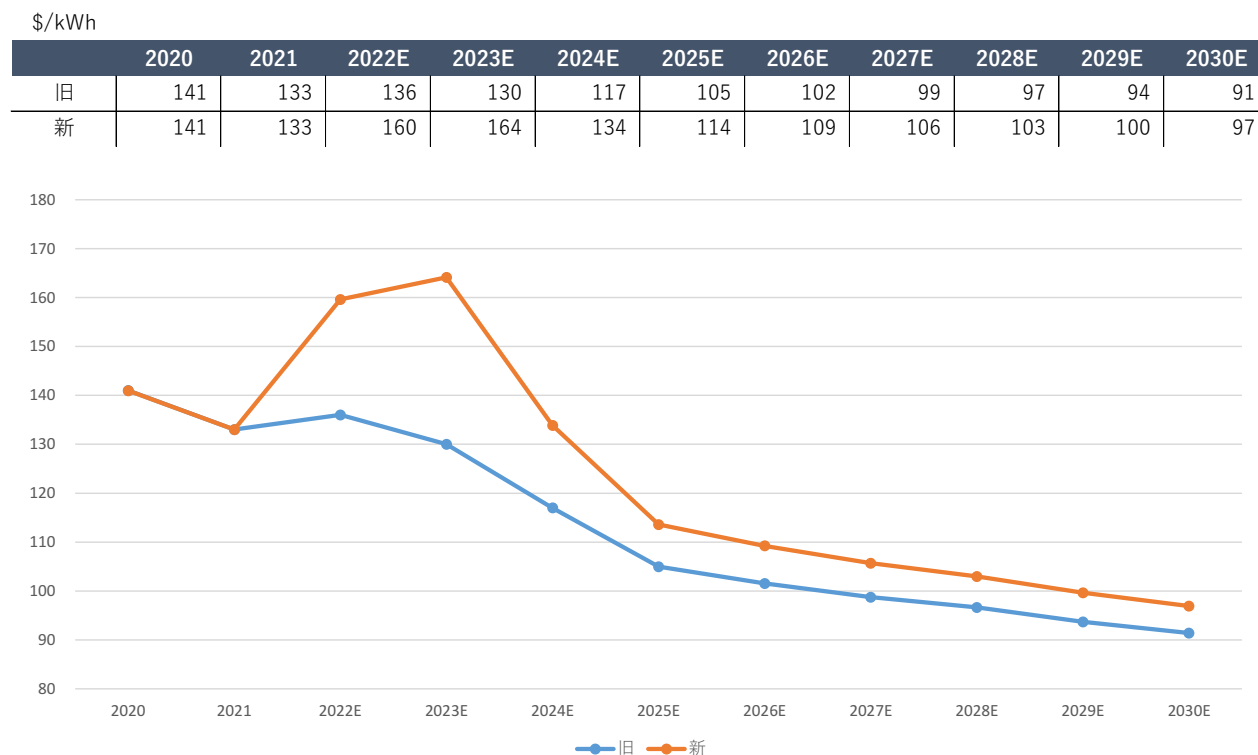


離上昇が可能だとする。つまり、60kWhだと+3~6kWh分の電力量のGainである。これを電池コストに換算すると、1kWhの電池コストは22年160ドル/23年164ドル(現当社予想)であり、3~6kWhでは各480~960ドル/492~984ドルと試算される。なお、当社従来前提のkWhあたり電池コストは22年136/23年130ドルであり、電力量のGainの額がかなり大きくなるのがわかる。

IGBTの半導体コストが約300ドル強、SiCの半導体コストとの差は約数倍とされる。現在SiCのコストを当社推定800ドルとすれば、**直接的なコスト差は約500ドル弱**。5%改善分の3kWhではSiCは若干まだ割高(又はほぼEven)、10%改善分の6kWhではSiCへの転換コストは既に電池コスト削減分以下に収まる(IGBTからSiCに転換する方がコストを削減できる)。なお、SiCは耐熱特性から冷却コストも低く、過電流/逆流などが小さいため半導体ダイオードの搭載も不要となり(IGBTだと必要)、他のコストメリットも期待される。

つまり、走行距離を伸ばすための追加的なコスト(または走行距離を一定とするならば電池コストを下げる手段)において、**電池容量の増量の代わりにSiC搭載を進める経済合理性がワークしやすくなってきた**と言える。当社チャネルチェックによると、一部のSiCサプライヤーは、IGBTとSiCの直接的な半導体コスト差が今後2-3倍まで縮小することを前提に数年後の供給拡大交渉をしている事例も聞いている。これまでEVインバーター業界では、IGBTとSiCのコスト差が縮小すればSiCが本格普及すると言われてきたが、そのインフレクションポイントは既に到来していると当社では推測している。両者間のコスト差が更に縮小すれば、想定以上に早く市場拡大が起こる可能性がある。

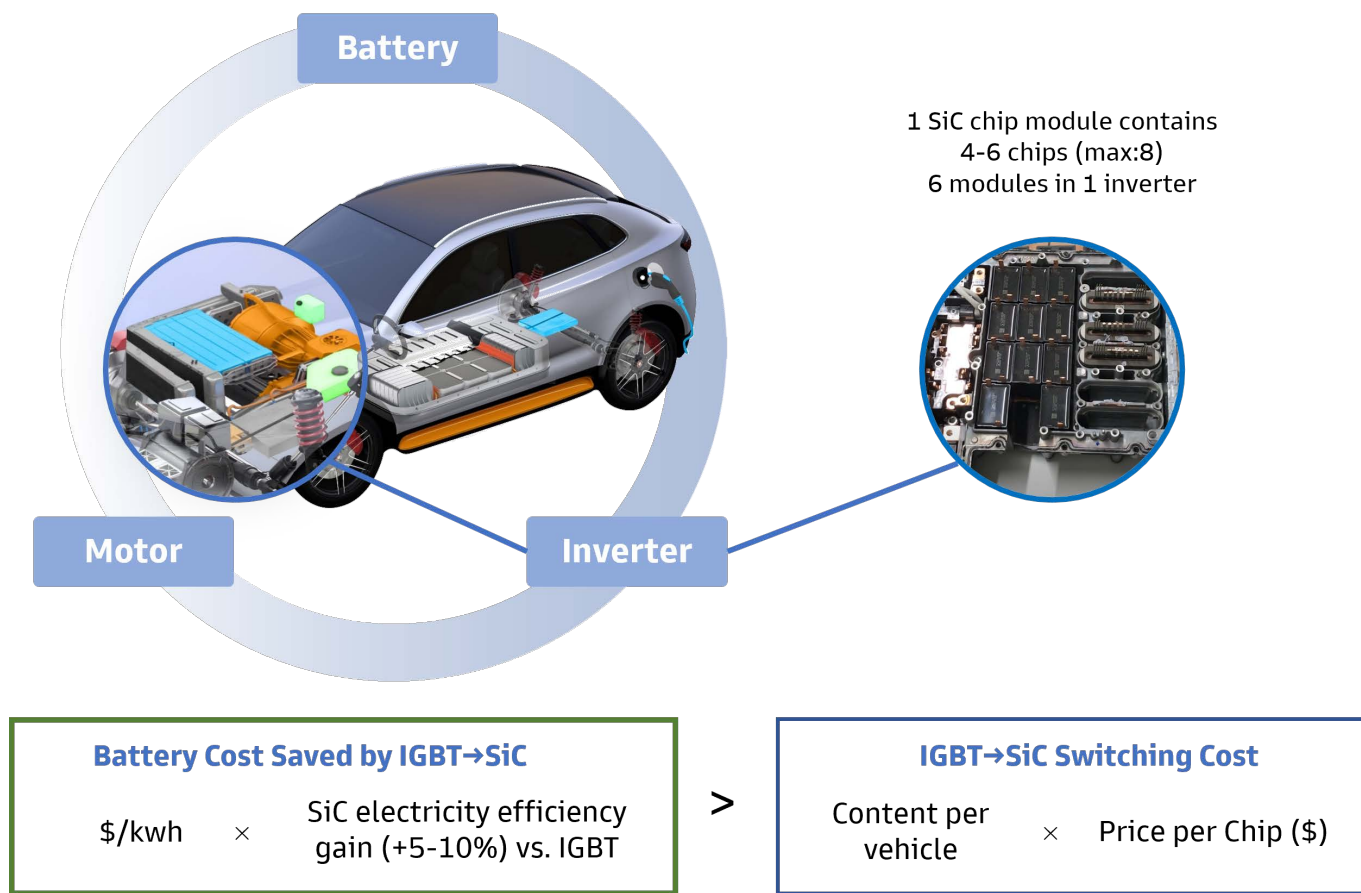
図表 1: kWhあたりのEV電池コストの長期予想:新旧当社前提



X軸: 年 Y軸: \$/kWh

出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

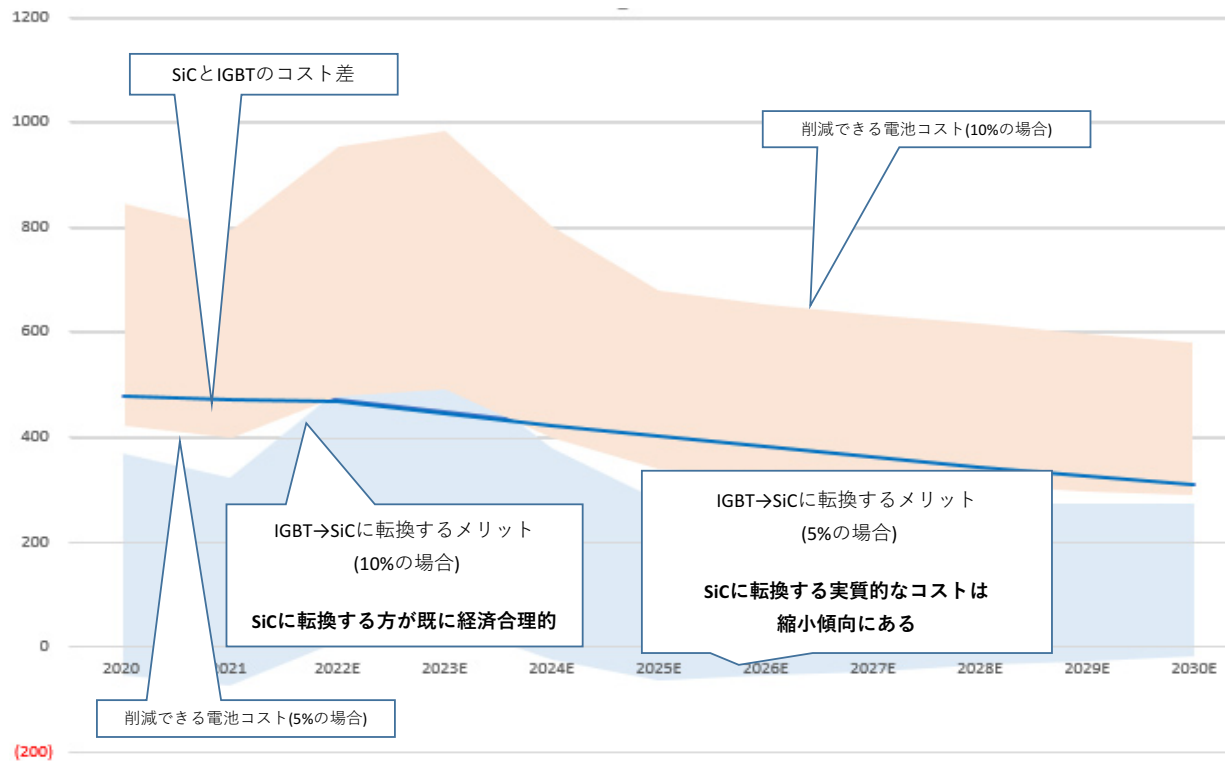
図表 2: EV用SiCの業界成長が加速し始めた一因として経済合理性が高まってきたこと



出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

図表 3: 1kWhあたりのコスト比較

kWhあたり電池コスト上昇により、IGBT→SiCによる直接的な半導体コスト上昇が、それほど割高とは思えなくなっている



X軸：年数 Y軸：USD

出所：ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

### Why does it matter ?

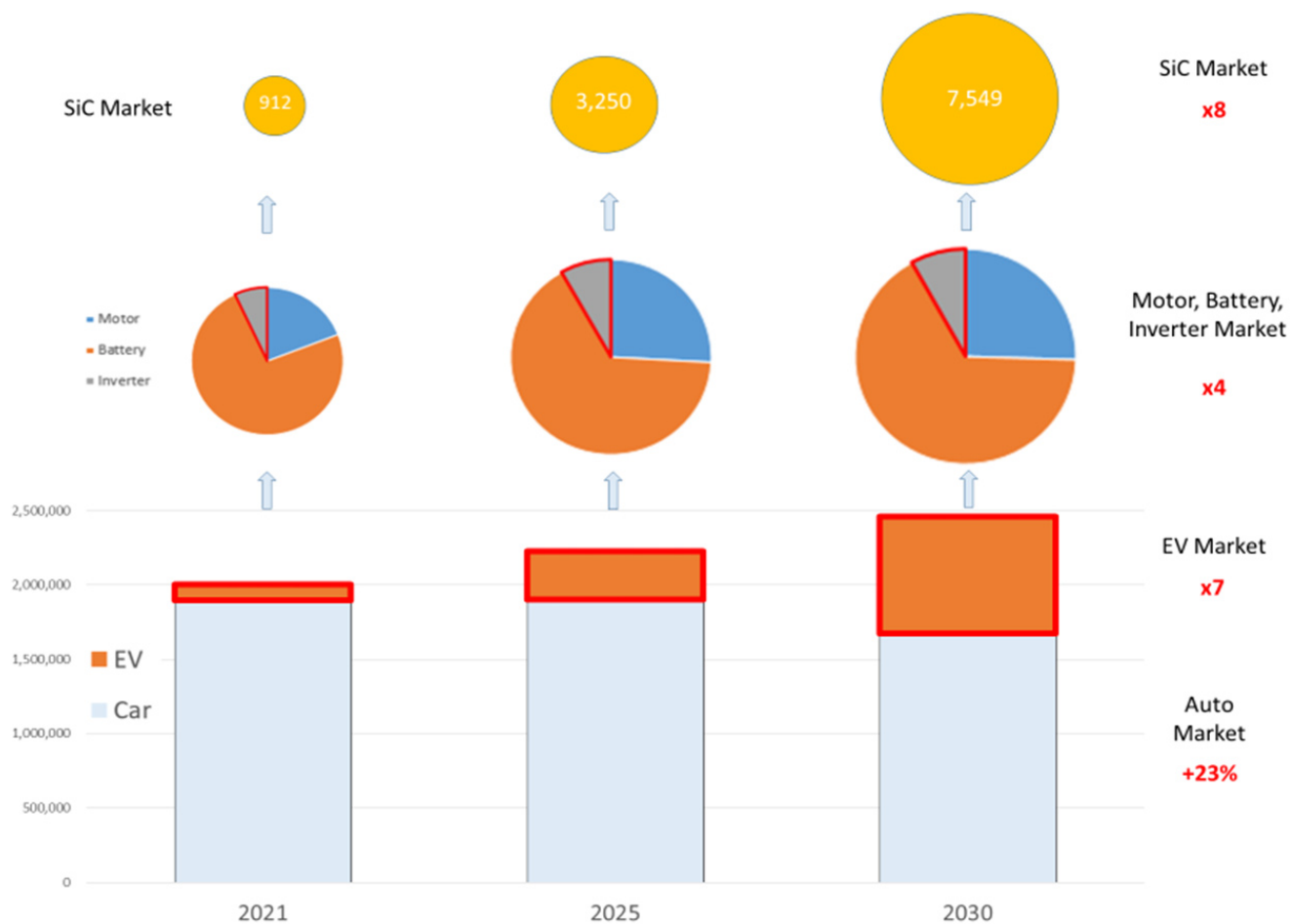
SiCの搭載加速が想定以上のスピードで進むとすれば、株式市場においては3つの意味で重要になると当社では考えている。

一つは、このエクイティ・ストーリーがマクロには影響を受け難いと思われる点(むしろインフレが技術加速の追い風になる点)。6/1に当社グローバル自動車チームでは、マクロ経済の先行き不透明感やサプライチェーン混乱を背景に、世界自動車販売/生産台数前提を下方修正した。しかしながら、SiCは、(1)EVへの市場シフト、(2)SiCへの市場シフト、という2つの技術シフトが背景にある。世界の数々の半導体/電子デバイスの中で、数少ない「上振れ/加速」傾向にあるプロダクト・セグメントと言える。

二つには、関連企業の業績にも十分影響を与える将来市場規模が試算されること。その規模に至るまでの成長率も自動車のプロフィット・プールの変化の中で、際立って高い点が挙げられる。

三つには、SiのIGBTインバーター市場で既に確固たる地位を築いている企業にとっては、SiCへ上手く移行できない場合、長期的にマイナス影響(IGBT市場の売上の激しい奪い合いや追加コストなど)やマルチプルの低下に直面する恐れがある。

図表 4: 自動車業界のプロフィット・プールの変化 (2021/2025/2030年)  
 車載用SiCの市場規模は2025年に\$3.3bn、2030年に\$7.5bnへ、成長率も群を抜く



Y軸: USD 右端の数字は21年対比の成長率を示す

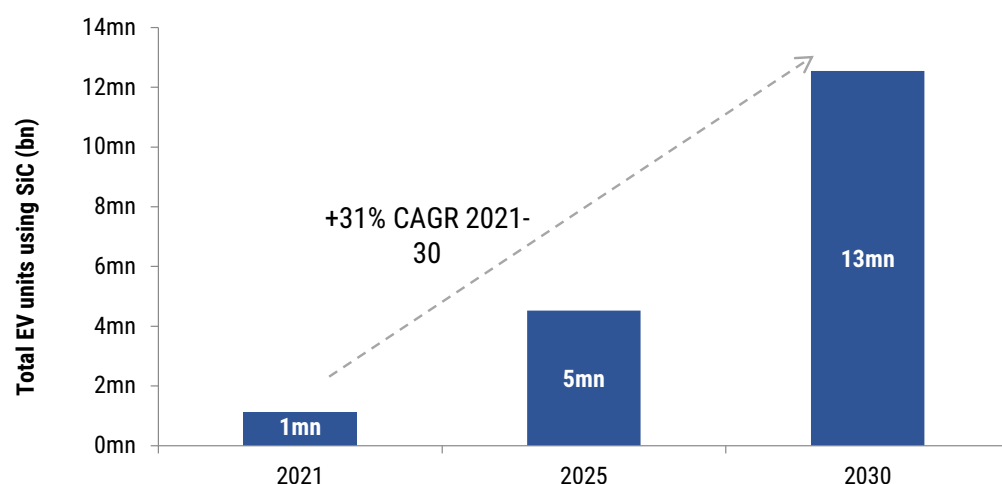
出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

## EV用SiCのTAM見通しを増額修正

### EV用SiCの市場見通しを上方修正する

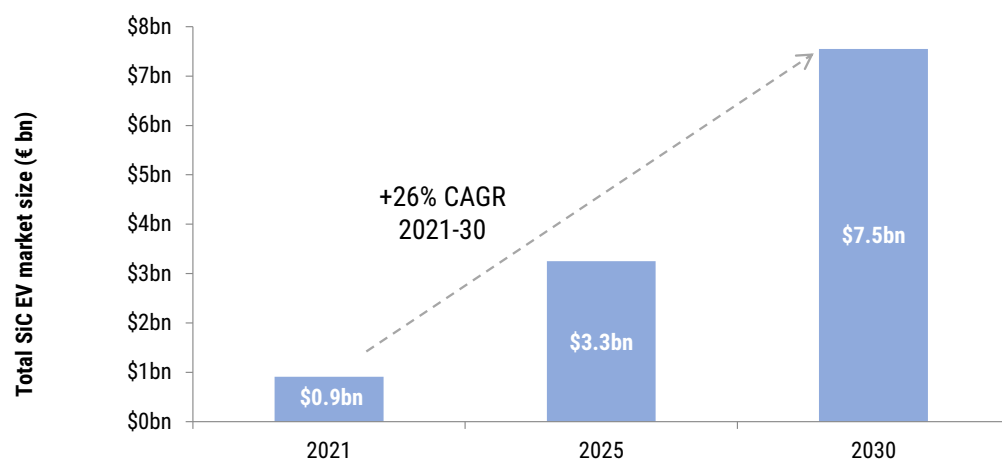
今回当社では、車載用SiC市場(xEV用)の規模は2025年までに33億ドル、2030年までに75億ドルに成長する(従来予想比+60%/+35%)と予想。現在の市場規模9億ドルからの年平均成長率はそれぞれ37%/26%と予想する。なお、当社のxEV用SiC市場予測は車載用SiCデバイスのみを対象としており、産業用、再生可能エネルギー用など自動車以外の用途は含まない。車載用SiC市場がSiC市場全体のおよそ3分の2を占めると想定すると、車載用と産業用を合わせたSiC市場全体の規模は2025年には49億ドル、2030年には113億ドルに達すると予想する。

図表 7: 当社の予想ではSiCを搭載したBEVの台数は2021-30年に年平均31%のペースで増加...



出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

図表 8: ... EV用SiCのTAMは2025年/2030年にそれぞれ33億ドル/75億ドルに達する見込み



出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

以上を踏まえ当社では、xEV用半導体市場(全体)に関する予想も2025年は110億ドル、2030年は194億ドルに上方修正し(従来予想比+12%/+19%)、車載用SiC市場がSiC市場全体の成長分の43%を占めると予想する。

- 当社の上方修正後のSiCのTAM予想に基づくと、SiC市場がSiC以外の半導体も含むxEV用半導体市場の2021~30年までの成長分の約43%を占める(IGBTも約43%を占める)と予想。
- 当社はEV用TAMにIGBTを含めている。IGBTは将来的にハイエンドEV以外の一部のEV、例えば都市周辺での比較的近距离の利用が多いため航続距離の延長メリットがさほど重要でないプラグイン・ハイブリッド車向けなどにも広く採用されるとみている。
- 当社は、現在の半導体供給不足を考慮し、価格低下はそれほど急激ではないと想定して(また当社主催のGS Semis Conferenceでの経営陣の、半導体はOEM各社の提供できる製品の差別化に寄与するというコメントを踏まえ)IGBTのTAM見通しを更新した。当社はIGBT搭載EVの2025年および2030年の普及予想を引き下げたが(当社はSiCの普及について一段と強気の見方をとるため)、xEV用IGBT市場全体の売上高は増加する見込みである(ただし増加率はSiCのTAM見通しほど大きくない)。

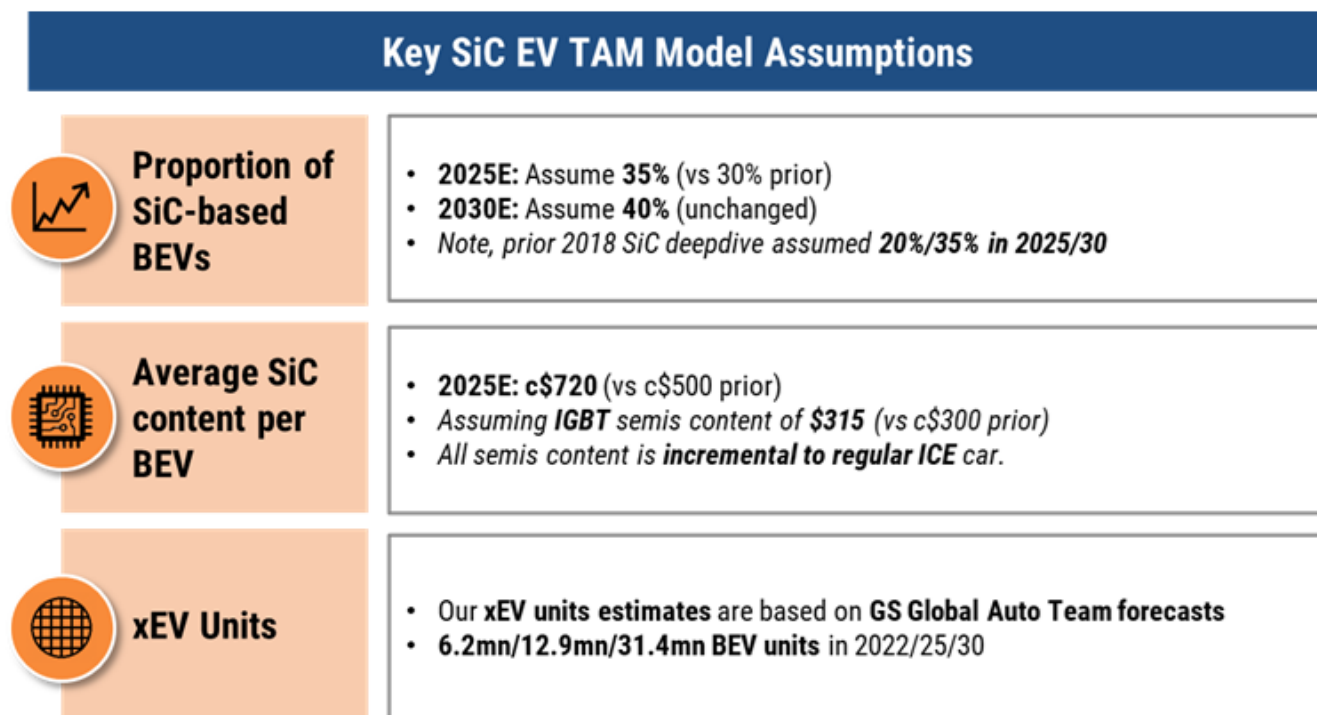
#### 当社の車載向けSiCのTAM見通しの主な前提は下表のとおり

ハイブリッド車はSiCを採用するメリットが生まれるほどの大量の電気エネルギーを使わないため(内燃機関の補助動力が使えるため)、SiCが採用されるのはBEVのみと想定。

- 当社ではBEV1台当たりのSiC半導体の平均コンテンツを2025年時点でおよそ720ドルと推定しており、これに対してIGBT半導体の平均コンテンツは315ドルとしている(いずれの場合も、通常の内燃機関車における半導体コンテンツにこれらが加算されることになる)。なおこれは平均値であり、メーカーやSiCの種類によって異なる可能性がある。例えば、トレンチ構造を用いたSiC半導体の価格は高めとなる公算がある。さらに、自動車メーカーに供給される半導体は、その種類によって半導体メーカーによるカスタマイゼーションの度合いが異なる可能性がある。
- 当社では普及率の上昇ペースの加速を反映して、BEVにおけるSiCの採用率は2025年には35%、2030年には40%に拡大する(従来予想はそれぞれ30%/40%)と想定している。



図表 9: EV用SiCのTAM予想モデルの主要な前提



一般的なICE(内燃機関自動車)に搭載される半導体は\$300-400と推定

出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

### 中国市場のEV用SiCの見通しを更新する

2022~25年の中国の車載用SiCのTAM見通しを従来予想からそれぞれ

149%/71%/96%/112%引き上げ、それぞれ6億1,800万ドル/7億7,400万ドル/10億8,100万ドル/12億6,900万ドルとした。2022~25年の年平均成長率は27%となる。同見通しの上方修正は、(1)現地メーカーによる2022年下半期向けの新EVモデルの投入に伴うSiCの採用の加速(Xiaopeng、BYD、NIOなど)、(2)EVの800V(高スペックのSiC MOSFETを必要とする)とデュアルモーター構造(シングルモーターモデルに比べて1台当たりに必要なSiC MOSFETが多い)への移行をきっかけとする1台当たりSiCコンテンツの上昇、といった要因を反映している。また生産能力面での制約を考えると、SiC MOSFETのコスト低下は当社の従来予想以上に緩やかなものとなる見通しである。更新後の予測モデルでは、予測期間を2030年まで延長し、800Vと400Vおよびシングルモーターとデュアルモーターの内訳も示した。当社は、中国のEV用SiCのTAMは2030年までに21億ドルに達すると予想しており、2022~30年の年平均成長率は17%となる。予測の主な前提は以下の通り。

図表 10: より急速なSiCの採用カーブと1台当たりのSiCコンテンツの上昇を勘案しTAM見直しを上方修正

China EV SiC TAM		2022E	2023E	2024E	2025E
China TAM - old	US\$ mn	248	454	551	598
<b>China TAM - new</b>	<b>US\$ mn</b>	<b>618</b>	<b>774</b>	<b>1,081</b>	<b>1,269</b>
Change%	%	149%	71%	96%	112%
Volume estimate changes					
#EVs with SiC inverters - old	mn units	0.43	0.69	1.05	1.43
#EVs with SiC inverters - new	mn units	0.78	1.01	1.45	1.81
Change%	%	82%	47%	38%	26%
Implied SiC penetration					
SiC penetration in EV - old	%	11%	15%	20%	25%
SiC penetration in EV - new	%	21%	23%	29%	33%
Change (ppts)	%	10ppts	8ppts	9ppts	8ppts
SiC content per car					
Old estimate	US\$	579	654	524	419
New estimate	US\$	791	766	744	703
Change%	%	37%	17%	42%	68%

出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

**中国では2022年に800VのEVが投入され、普及率は2025年までに10%に達する見込み:**

XiaopengとBYDが2022年に800VのEVモデルを投入している。800Vプラットフォームへの移行ではハイエンドEV(価格帯は30万元以上)が先行することになる。他の中国メーカーも、競合他社へのキャッチアップあるいは差別化を目的に、今後2~3年以内の800Vの投入を計画している。当社の基本予想では、ハイエンドEV(30万元以上)では2025年までに800Vへの移行がほぼ完了すると想定しており、2030年までにEV全体の21%が800Vプラットフォーム(すなわち価格が25万元以上のEV)に移行すると考える。前述の通り、高電圧環境でのIGBTの使用には限界があることを踏まえ、800VのEVでは1200VのSiC MOSFETが使われることになるとみられる。従って、800VのEVの台頭がSiC採用の重要な起爆剤となる。

**デュアルモーター構造がパワー半導体コンテンツの上昇を促す:** パワー半導体の観点からみると、デュアルモーター構造の場合、一般にインバータコンテンツが高くなり、ひいてはパワー半導体コンテンツも高くなる。ハイエンドEVは通常、2つのモーターを搭載している(一つは前輪、もう一つは後輪に対応)。前輪側のモーターの方が出力が低いのが一般的であるため、前輪のモーターのパワー半導体コンテンツは通常、後輪側より低くなる。デュアルモーターEVの1台当たりSiCコンテンツはシングルモーターEVより40%高いと想定した。

**OBCおよびDC-DCコンバータ:** OBC(オンボード・チャージャー)はEVに不可欠な部品で、その主たる機能は外部のAC(交流)電源からEVのバッテリーを充電することで、典型的なOBCの場合、一般に使用されるパワー半導体はスーパージャンクションMOSFET、IGBT、ダイオードである。しかし、OBCが高出力(6.6kwから11kw、20kw以上へ)に移行していることに加えて、エネルギー効率と充電速度の向上を目的に、OBCにもSiCデバイスが採用されるようになってきている。当社は、800VのEVではOBCにSiベースのデバイスではなくSiCデバイスが使われると予想している。400VのEV用OBCでは、現時点では当社はSiベースのパワー半導体が引き続き主流になると想定している。DC-DCコンバータは、低電圧か

ら高電圧あるいはその逆の変換が可能である。800VのEVは400V用の充電スタンドを使用せざるを得ないため、バッテリー充電の際に400Vから800Vに変換するためのDC-DCコンバータが必要になる。従って、DC-DCコンバータにもSiCデバイスが採用されることになると当社では見ている。

PHEVでのSiC採用が当社のTAM予想の上振れ要因となり得る：PHEVのSiC搭載例はそれほど多くないため、当社のTAM分析では今後もPHEVにSiCが採用されることはないと予想している。しかし、PHEVにSiCが採用される可能性を完全に排除することはできない。そこで、PHEVへのSiC採用のシナリオ分析を行った。2025年からPHEVにSiCが採用されるようになり、また価格帯が40万元以上のPHEVは2030年までに800VおよびSiCに移行する（PHEV全体の12%に相当）と仮定すると、当社の基本的なTAM予想の上振れ余地は2～12%となる。

図表 11: 中国EV SiCのTAMのブレークダウン

		2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
<b>TAM breakdown:</b>												
<b>EV</b>	<b>US\$ mn</b>	<b>111</b>	<b>397</b>	<b>618</b>	<b>774</b>	<b>1,081</b>	<b>1,269</b>	<b>1,488</b>	<b>1,667</b>	<b>1,826</b>	<b>1,973</b>	<b>2,100</b>
<b>800V platform</b>	<b>US\$ mn</b>	-	-	<b>89</b>	<b>137</b>	<b>406</b>	<b>652</b>	<b>816</b>	<b>979</b>	<b>1,134</b>	<b>1,288</b>	<b>1,430</b>
SiC MOSFET 1200V - inverter for single motor	US\$ mn	-	-	10	16	26	41	51	62	72	82	91
SiC MOSFET 1200V - inverter for dual motor	US\$ mn	-	-	66	102	323	515	644	779	909	1,031	1,143
SiC MOSFET/diode - OBC	US\$ mn	-	-	8	11	35	58	73	84	93	106	119
SiC MOSFET - DCDC converter	US\$ mn	-	-	5	7	23	38	48	54	60	69	77
<b>400V platform</b>	<b>US\$ mn</b>	<b>111</b>	<b>397</b>	<b>530</b>	<b>638</b>	<b>676</b>	<b>617</b>	<b>672</b>	<b>688</b>	<b>692</b>	<b>685</b>	<b>670</b>
SiC MOSFET 650V - Inverter for single motor	US\$ mn	44	159	212	255	270	247	269	275	277	274	268
SiC MOSFET 650V - Inverter for dual motor	US\$ mn	67	238	318	383	406	370	403	413	415	411	402
SiC diode - OBC	US\$ mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

出所：ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部, Gao Hua Securities Research

### IGBT：最新のEV台数予想を加味してTAM見直しを更新

当社の中国自動車チームによる最新のNEV(新エネルギー車)販売台数予想とSiC普及率を加味して予想を見直した。さらに、当社グローバルチームの見解に沿って、価格の低下ペースは従来の予想よりも緩やかになると予想されるため、1台当たりのIGBTコンテンツが従来に比べて上昇すると想定した。中国メーカーの製品価格は世界の主要IGBTサプライヤーに比べて10～20%割安なため、中国のTAM予想モデルにおける1台当たりのIGBTコンテンツの最新の推定値は、当社の世界市場のモデルに比べておよそ10～20%低くなる。こうした点を踏まえ、当社は中国のEV用IGBT市場の規模は2022年/2025年にはそれぞれ15億ドル/20億ドルに達し、従来予想をそれぞれ56%/35%上回ると予想する。

図表 12: 当社中国自動車チームの最新のEV台数予想を反映してIGBTのTAM見通しを更新

mn units	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
<b>China EV units (old)</b>						
HEV	0.20	0.99	2.94	4.84	6.10	7.56
PHEV	0.25	0.55	0.74	0.99	1.24	1.50
BEV	1.11	1.94	2.62	3.49	4.38	5.30
<b>China EV units</b>						
HEV	0.20	0.96	2.50	4.17	5.10	6.20
PHEV	0.20	0.55	1.40	1.75	2.08	2.36
FEV	0.91	2.44	3.79	4.49	5.09	5.51
<b>Change: new vs. old (%)</b>						
HEV	0%	-3%	-15%	-14%	-16%	-18%
PHEV	-18%	-1%	90%	77%	68%	58%
FEV	-18%	26%	45%	29%	16%	4%

出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部, IHS Global Insight

図表 14: EVとPHEVの台数予想の引き上げを主因に当社の2022/2025年のIGBTのTAM予想をそれぞれ56%/35%上方修正

US\$ mn	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
<b>EV-IGBT TAM (old)</b>						
Total	366	674	940	1,199	1,367	1,509
HEV	16	76	216	338	404	476
PHEV	66	144	184	233	278	319
FEV	285	454	540	629	685	713
<b>EV-IGBT TAM</b>						
Total	308	823	1,471	1,775	1,927	2,041
HEV	16	74	189	298	356	422
PHEV	54	146	377	457	531	588
FEV	238	602	905	1,019	1,039	1,032
<b>Change: new vs. old</b>						
Total	-16%	22%	56%	48%	41%	35%
HEV	0%	-3%	-13%	-12%	-12%	-11%
PHEV	-18%	2%	105%	96%	91%	84%
FEV	-16%	33%	68%	62%	52%	45%
<b>Mix (%)</b>						
HEV	5%	9%	13%	17%	18%	21%
PHEV	18%	18%	26%	26%	28%	29%
FEV	77%	73%	62%	57%	54%	51%

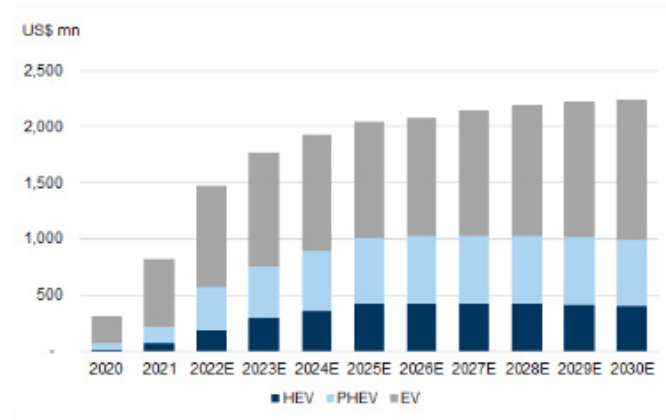
出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

図表 13: 価格低下ペースが緩やかになると予想されるため1台当たりIGBTコンテンツを上方修正

US\$	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
<b>China EV \$ content (old)</b>						
HEV	79	77	73	70	66	63
PHEV	269	262	249	236	225	213
FEV	308	301	286	271	258	245
<b>China EV IGBT \$ content per car</b>						
HEV	79	77	75	72	70	68
PHEV	269	269	269	262	255	249
FEV	308	308	301	293	286	279
<b>Change (%)</b>						
HEV	0%	0%	3%	3%	5%	8%
PHEV	0%	3%	8%	11%	14%	17%
FEV	0%	3%	5%	8%	11%	14%

出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

図表 15: 中国のNEV用IGBTのTAMは2022年/2025年/2030年にそれぞれ15億ドル/20億ドル/22億ドルに達すると予想



出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

### 自動車のコスト構造からみたアプローチ

ここでは自動車のコスト構造からのアプローチで当社グローバルTAM予想の妥当性を検証する。図表16は一般的な乗用車のASPを2万5000ドル前後と仮定し、60kWhのEVを想定した場合の、EVとICEとのパワートレインコスト差異である。EVの普及においては、パワートレインのコストギャップ縮小が重要になると考える。EVのコストダウン余地で最も大きいのは電池コストの技術革新である点は疑いないとみる。しかし、モーターやインバーターもコスト構成比を下げていくことも重要と当社では考えている。

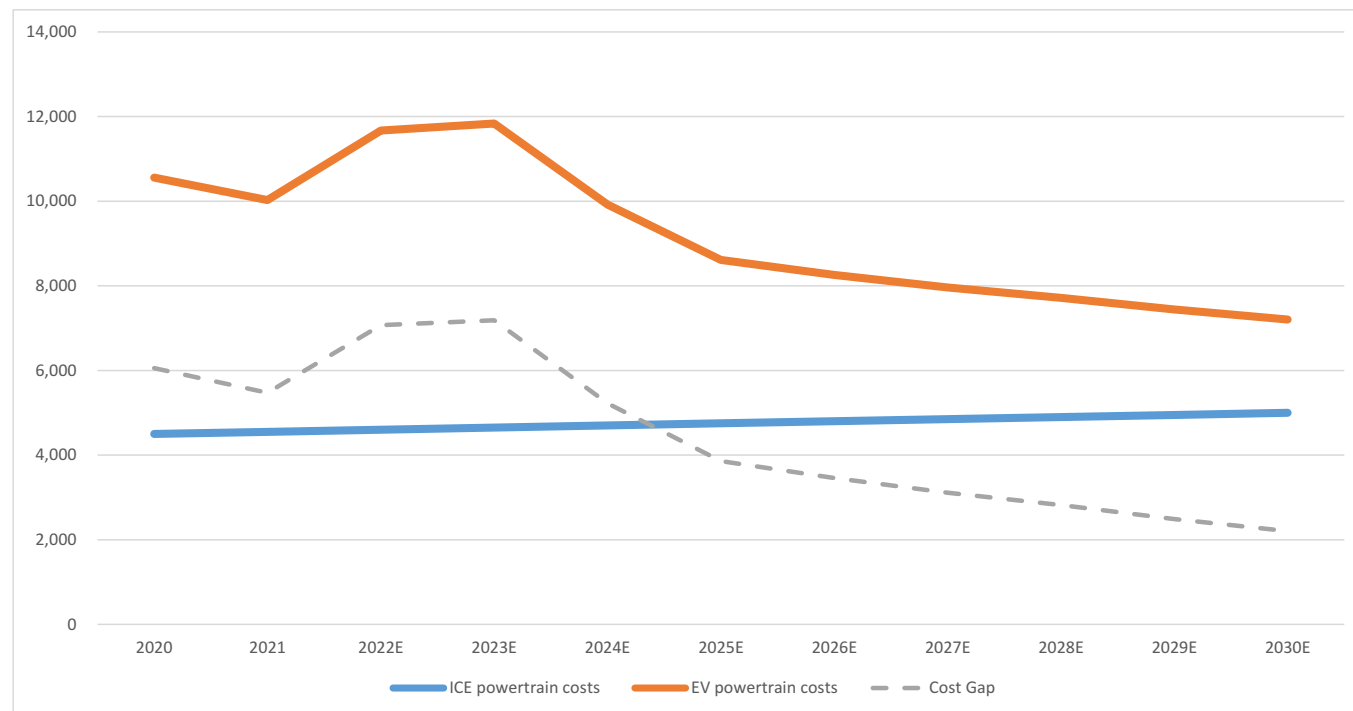
こうした考え方をもとに、インバーターの半導体部分にどれだけコストをかけられるかという視点が重要となる。EVに占めるインバーターのコスト構成比が若干ずつでも低下

していくことを想定した場合、SiCの相対的な優位性が更に向上し、近い将来EVのSiC搭載車がIGBT搭載車を上回る可能性がある。

こうした自動車のコスト構造からみたアプローチでも、前述の当社市場規模(TAM)予想は妥当とみており、SiCの市場規模は想定以上に早く、大きく拡大していくと予想している。

図表 16: ICEとEVに占めるパワートレインコストのイメージ

当社ではICEのパワートレインのコストは横這いの方、EVのパワートレインは2023年から下落し、両社のコスト差は縮むと想定

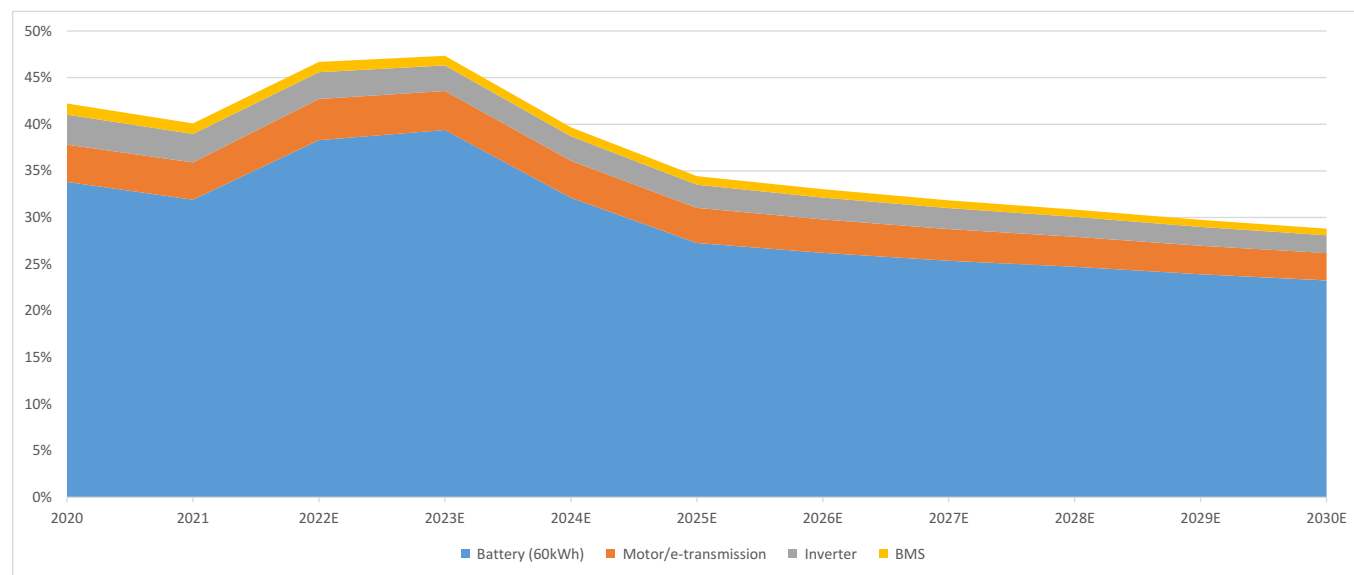


X軸：年数 Y軸：USD

出所：ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

図表 17: EVに占めるパワートレインコスト比率のイメージ

インバーターのコストはEVのコストの2-3%を占める



X軸：年数 Y軸：EVコスト全体に占める電池・モーター・インバーター・BMSのコスト割合(%)

出所：ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部



## プロフィット・プールを最大化するための8つの要素

前述した急速な市場拡大に対し、企業はどう対峙し、どう価値化(Monetize)していくか。当社では以下の8つの視点で評価していくことを考えている。

1. 十分なSiCウエハ供給へのアクセス
2. 能力増強
3. 技術進化
4. サプライチェーン/垂直統合
5. システムレベルの確かな知識
6. 信頼性と耐久性
7. 成長顧客へのアクセス
8. 政府のサポート

結論、市場が本格拡大期に入ろうとする現時点においては、関連企業の業績期待値が高まり得る時期であり、企業間格差よりも、サプライチェーン全体への前向きな評価が優先される可能性があるだろう。しかしながら、個別企業ベースでは見所の違いがあり、以下のようなポイントに注目していきたい。

- **STMicroelectronics** : (1)生産能力の拡大ペース、(2)プレーナ型からトレンチ型へのシフト、(3)顧客の多様化、(4)垂直統合のメリット
- **Infineon** : (1)数億ユーロ規模の大型契約を示す更なる証拠、(2)ウエハ分割技術の継続的な進展(垂直統合を行っていないマイナスの影響を緩和)、(3)トレンチ型半導体デバイスの市場リーダーとしての利点
- **Wolfspeed** : (1)Mohawk Valleyの新工場建設による生産能力増強と8インチウエハへ移行、(2)グローバルで最大のSiCウエハサプライヤーで、垂直統合は数量/コストの優位性に繋がる、(3)デザインインの殆どは自動車業界、特にEV向け、(4)生産能力増強の設備投資にはNY州から補助金が出ている
- **ON Semiconductor** : (1)生産能力増強のスピード、(2)顧客の拡大と売上パイプラインの確保、(3)垂直統合のメリット
- **Rohm** : (1)能力増強スピード(欧米企業に負けないか)、(2)垂直統合の強み、(3)技術開発リーダーとしての強み(既にトレンチ構造にあることも含む)、(4)黒字化タイミング。
- **富士電機** : 主要顧客(トヨタ自動車)のSiCシフトのタイミング(顧客ロードマップが左右)。

図表 19: 主要企業の競争優位性チェック・リスト

	ウエハの 十分な供給	生産キャパシティ の拡大	技術		サプライチェーン/ 垂直統合など	確かなシステムレベルの ノウハウ	信頼性と耐久性	成長顧客へのアクセス	政府の支援
			コスト削減	性能					
Infineon	★★-★★★	★★★	★★-★★★	★★★	★★-★★★	★★★	★★★	★★★	★★
Wolfspeed	★★★	★★★	★	★★	★★★	★★★	★★-★★★	★★★	★★★
Rohm	★★★	★★	★★	★★-★★★	★★★	★★	★★★	★★★	★★
STMicroelectronics	★★★	★★★	★★★	★★-★★★	★★★	★★-★★★	★★★	★★★	★★
Fuji Electric	★~★★	★~★★	★	★★-★★★	★★	★★-★★★	★★★	★★★	-
ON Semiconductor	★★★	★★-★★★	★★	★★	★★★	★★-★★★	★★~★★★	★★★	-
Mitsubishi Electric	★~★★	★	★	★★-★★★	★	★★★	★★★	★	-
StarPower	★~★★	★★	★~★★	★★★	★★	★★	★~★★	★★★	★★
CR Micro	★~★★	★~★★	★~★★	★★★	★★	★	★~★★	★★★	★★
Silan	★~★★	★	★	★★★	★★	★	★~★★	★★★	★★
Wingtech	★~★★	★~★★	★~★★	★★★	★★	★★	★~★★	★★★	★★
Sanan	★★	★★	★~★★	★★★	★★~★★★	★★	★~★★	★★★	★★
相対的に優れる	★★★								
業界平均	★★								
相対的に劣る	★								

出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

## 1. 十分なSiCウエハへのアクセス

半導体メーカーが顧客需要を満たすために生産能力を拡大するには、**高品質SiCウエハの十分かつ安定的な供給を受けることが鍵を握る**だろう。自動車OEMがEV車のラインアップ拡充に注力している中、大手半導体メーカーがOEMから長期契約を取り付けるには、現実的な長期供給戦略を提示することが重要になる(WolfspeedがSTMicroに今後数年間で8億ドル相当のSiCエピタキシャルウエハを供給することで合意したケースなど)。また**ウエハ分割**の技術が進展することも、ウエハの供給確保に貢献すると考えられる。

## 2. 能力増強

ここ1-2年でSiCに関連する複数年の大型設備投資や能力増強が発表されている。需要見通しが急速に高まる中で、まず能力増強をどれだけ早く伸ばせるかが競争力評価の重要な条件と考える。そのためには、(1)先行投資負担に耐えうる**財務体質の強さ**(SiC半導体の投資額対生産額はほぼ1:1と推定)、(2)パワーゲームに負けない**能力増強の決断スピード**、(3)**スムーズな投資回収**のための諸条件(技術、サプライチェーンの確保、顧客確保)、などを兼ね備える必要がある。こうした視点では、総じて欧米企業の規模とスピードがリードしているとみる。

多くのアナログ半導体メーカーが向こう1~2年間に生産能力を大幅に拡大する計画(SiCだけでなく全般的に)を発表している。現在、半導体の需給が逼迫しているなかで、**十分な規模とSiC専用の生産能力に投資できる資本を有することは競争優位性**となり得る。一部の主要半導体製造装置のリードタイムが長期化する中(リソグラフィ装置には12ヵ月以上を要するものもある)、十分なクリーンルームと処理装置を有するメーカーが長期受注契約を勝ち取るうえで好位置につけるだろう。大口顧客は**量産に向けた信頼性の高いロードマップ**を求めると推測され、将来的にSiCの供給不足が続くリスクがあればSiC搭載車の開発に消極的となる可能性がある。

図表 20: 設備投資と能力増強に関するSiC関連各社の状況

	Capex	Capacity expansion
<b>Infineon</b>	• €2bn to add manufacturing capacity for SiC and GaN at its site in Kulim, Malaysia	• The new capacity in Kulim is expected to generate annual revenues of approximately €2bn once fully equipped.
<b>Wolfspeed</b>	• \$2.9bn USD gross capex during FY2020-FY2024 (Roughly \$2bn of gross capex for new 8" SiC fab in Mohawk Valley(MVF))	• Ramping 8" capacity in its new Mohawk Valley fab, which began operation in 2022. • Also considering building a new fab in addition to Mohawk Valley in the coming years (have not provided more specificity on the timeline)
<b>Rohm</b>	• 120bn-170bn JPY (total) SiC related capex during FY21-25	• Launched a new SiC factory in Chikugo, Fukuoka (21/1) • Aims to increase the SiC capacity by 500+% by FY25 from FY21 (22/5)
<b>STMicroelectronics</b>	• Total of \$900 mn of capex in 2022 on 1) SiC raw material initiatives 2) industrialisation of new 300mm wafer fab in Agrate 3) GaN technology	• Development of 6" SiC wafer fabs in Catania and Singapore • Plans to grow SiC capacity by >2.5x in 2022 (vs 2020), and then double 2022 capacity by 2025.
<b>Fuji Electric</b>	• 30bn JPY SiC capex by FY23.	• 6 inch wafer SiC line for Auto application in Tsugaru, start production from FY24
<b>ON Semiconductor</b>	• Plans to spend ~12% of total revenue on capex in 2022 and 2023, and revert lower to ~9% by 2025. • Most capex dollars focused on expanding its internal 300mm company-wide capacity and its SiC-specific capacity	• Plans to expand 200mm SiC capacity of GTAT (An SiC wafer manufacturer it acquired in 2021) • Plans to 4x the capacity of GTAT in 2022 and to source most of its SiC substrate capacity internally by 2024/25
<b>Mitsubishi Electric</b>	• Existing 6inch fab is enough for a few years	• No SiC expansion plan announced.
<b>StarPower</b>	• The company has not disclosed SiC capex alone, around Rmb1.1bn SiC/IGBT fab capex for the construction stage	• targets to produce SiC chips in its own 6" fab in 1H23 • 6" fab total planned capacity at 30k wpm, with 25k wpm allocating to IGBT chips and 5k wpm to SiC chips
<b>CR Micro</b>	• The company has not disclosed SiC capex alone, around Rmb1.5bn power semi capex in 2022	• currently has 6" SiC wafer fab capacity of 1k wafer/month, and the future capacity expansion will depend on customers' demand
<b>Silan</b>	• The company has not disclosed SiC capex alone, around Rmb2.3bn power semi capex in 2023	• Capacity of 6" trial production line for R&D of SiC device at hundreds wafers per month, 1-2k wafers per month for mass production
<b>Wingtech</b>	• The company has not disclosed SiC capex alone, around Rmb2.3bn power semi capex in 2024	• No disclosure on SiC capacity expansion, but around 15% capacity expansion every year in factories in Europe, via 6" to 8" and production lines upgrade; new 12-inch factory in SH has 33k wpm planned capacity
<b>Sanan</b>	• The company has not disclosed SiC capex alone, around Rmb2bn power semi capex in 2022	• The company plans to expand its SiC capacity from 3k wafers/month currently to 30k in coming years

会社が開示した情報およびコメントに基づく。

出所：会社データ、ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部作成

### 3. 技術進化

SiC半導体の技術進化においては、(A)製品そのもののパフォーマンス(低On-抵抗や動作改善などの特性改善や、チップの小型化/One Chip化、プレーナ型からトレンチ型の設計への潜在的な移行など)と、(B)低コスト化のための生産プロセス効率化、の2つが重要となる。これら2つの技術競争が、競争力やスムーズな投資回収の有無に直結しよう。(B)においては、欧米日メーカーの多くが6→8インチウエハへのシフト(プロセスあたりのチップの取れ数上昇による低コスト化)を今後1-2年で進める方向にあり、その過程で競争力格差が生まれる可能性がある。また、SiCウエハにおいても、成膜の品質向上(低パーティクル)や均一性、応力コントロール(ウエハの反り対策)など、歩留りやコストに関する技術進化が重要なポイントとなっている。

製品パフォーマンスに関しては、主要顧客は抵抗特性、耐久性、デバイス設計、コスト効率などの分野で持続的な改善を支えられる確かな技術ロードマップを確認したいと考えるだろう。当社の調査によると、トレンチ型のデバイスは耐久性、信頼性、低抵抗特性に強みがある(エネルギー転換効率が高いほか、数年ベースで製品のリコールリスクが小さい)。またトレンチ型は小型化が可能のため規格の柔軟性にも優れるが、自動車やスマートフォンなどにとっては重要な特性ではないと考えられる。一部のメーカー(Infineonなど)はすでにトレンチ型の設計を用いており、他社(STMなど)も将来的な技術ロードマップにトレンチ型を盛り込んでいる。一部のSiC顧客(アジアのOEMなど)がとりわけ品質を重視していることを踏まえると、トレンチ型に移行できるかが長期的に成功要因となる可能性がある。一方で、業界関係者よれば、プレーナ型のデバイスを次世代へと進化させることでも、抵抗値を下げるができる(更にプレーナ型は歩留まりが良く市場投入までの時間の観点でも優位性を期待できる)。例えば、STMはプレーナ型の技術を向上させることで、近年大きく成功している。

更に、生産プロセスの効率に関して言えば、SiCウエハはSiウエハよりコストがはるかに高いため、大手半導体メーカーは単位当たりコストを抑えると同時に歩留まりを改善するために8インチへと移行する必要に迫られるだろう(Siチップは概ね8/12インチウエハを用いて生産されている)。よって、8インチへの移行は収益性の向上に大きく寄与する可能性がある。当社では想定している。Infineon、STMicro、ローム、ON Semi、Wolfspeedなどの企業は8インチウエハを用いたSiC生産を試験的に行っている。

図表 21: 技術進化(製品特性改善、生産プロセス)に関するSiC各社の状況

	Technology	Wafer Size (inch)
<b>Infineon</b>	<p><b>(related with cost)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Infineon plans to transfer from 6 inch to 8 inch SiC wafers, and Infineon's new tools for its Kulim capacity expansion plans will have the ability to switch to 8-inch. Infineon has also qualified its first product using its proprietary boule-splitting technology (Sillectra) faster than its initial expectations (May 2022)</li> </ul> <p><b>(related with performance)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Infineon has developed SiC devices using trench technology (vs most competition on planar), which could have advantages related to durability, reliability, and resistance (therefore allowing greater efficiency in energy conversion).</li> <li>Infineon expects its upcoming Gen 2 SiC trench product to improve power handling capabilities by 25-30% vs its Gen 1 product.</li> <li>We believe Infineon has a strong reputation for reliability and durability, which is critical to reach automotive-grade safety levels, alongside robust system-level knowledge given a long-standing history with automotive IGBTs.</li> <li>Infineon's ability to offer interchangeability between SiC and IGBT devices in autos offers attractive flexibility for OEMs in our view.</li> </ul>	6" → 8"
<b>Wolfspeed</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>WOLF's new 200mm SiC fab, Mohawk Valley, is outfitted with better automation and manufacturing efficiencies. These manufacturing advantages, over WOLF's current 150mm processes, are expected to drive lower processing costs.</li> </ul>	6" → 8" (2022~ in MVF)
<b>Rohm</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Device Generation FY21: Gen3 FY22: Gen4 (close to half) + Gen3 FY25: Gen4+Gen5(start)</li> <li>On-resistance reduction: Gen2: -50% Gen3: -40% Gen4: -30% Gen5: -30%</li> </ul>	FY22: 6" only FY23: 6"+8" (start) FY25: 6"+8" (less than half)
<b>STMicroelectronics</b>	<p><b>(related with cost)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>STM is using planar technology for its current 3rd generation of SiC devices. It is planning to shift to trench-based architectures at its 5th generation.</li> <li>STM is testing 8-inch manufacturing, and expects to complete a fully integrated 8-inch SiC wafer fab by 2023, which could reduce cost per unit.</li> </ul> <p><b>(related with performance)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>STM has improved (ie. lowered) resistance with each successive generation of planar-based SiC devices (currently on 3rd generation). ST expects upcoming 4th generation to also improve resistance.</li> <li>As such, STM has successfully evolved its planar technology and has not felt pressured to move to trench. Given trench is a more complex technology, we see scope for planar-based devices to have a time-to-market benefit</li> <li>While we see history in IGBTs as a potential success factor, we note STM's success (ie. #1 market share in auto SiC) in multiple generations of vehicles with large OEMs without having been as strong in IGBTs vs some others.</li> </ul>	6" → 8" (2024~)
<b>Fuji Electric</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gen1,2 are used for industry application.</li> <li>Gen 3 is under development with 15% lower loss, maintaining high Vth level</li> </ul>	6" → 8" (2024~ in Tsugaru Fab)
<b>ON Semiconductor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ON plans to transfer from 6-inch to 8-inch SiC wafers in the future as it scales production but currently uses 6-inch wafers</li> <li>ON has a wide portfolio of SiC products including SiC Diodes, MOSFETs and Modules for Automotive and Industrial applications (650V to 1700V)</li> </ul>	6" → 8"
<b>Mitsubishi Electric</b>		6"
<b>StarPower</b>	StarPower's SiC modules will be used on 800V platforms for EV main inverters	6"
<b>CR Micro</b>	SiC MOSFET for EV OBC in sampling	6"
<b>Silan</b>		6"
<b>Wingtech</b>	Currently in SiC Diodes, target to have SiC MOSFET product launch in 2022	6"
<b>Sanan</b>	SiC MOSFET for charging piles ready for product launch; SiC MOSFET for EV under R&D and testing; better cost structure given the vertical integration of the processes	6"

出所: 会社データ, ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部作成

#### 4. サプライチェーン/垂直統合

SiCのサプライチェーンは「装置～材料(ウエハ)～半導体素子(チップ)形成～モジュール」となっている。Siの半導体サプライチェーンと同様に装置メーカーは独立系が多いが、異なる点としてはSiCは、(1)ウエハなど材料のバリューチェーンを半導体素子メーカーが自社内に取り込んでいる(又はパートナーシップを結んでいる)、(2)チップ形成以降のモジュールもカスタム化において重要な役割を持つ、などである。

すなわち、(1)はSiに対するSiC材料そのものの安定性/技術改善余地、(2)はEVモータを6極で駆動するインバーター構造(複数のSiC半導体が搭載されたチップモジュールが、1つのEVモータにおいて6セット必要)、という特徴がサプライチェーンの特徴につながっている可能性がある。このため、既に完成形に近いSiのサプライチェーンに対し、SiCはどこまでのバリューチェーンを確保するのが戦略上重要なのかの各社の判断も違っている(又は今後も変わっていく)ように思われる。

当社はSiCウエハ供給とSiCチップ生産の両方に垂直統合の余地があるとみている。垂直統合を通して基材に関するノウハウを深め、Siより低いウエハの歩留まりなどSiCを生産するうえでの技術的な問題を軽減できると考えられる。したがって、ウエハ供給へのエクスポージャーを有することは、ラーニングカーブの加速を後押しし、材料の品質や生産歩留まりの改善とコスト低下を促進し得る。更に、社内で一定のSiC基板供給を保有していれば、予測不可能な事態や地政学的影響(垂直統合していないメーカーは相対的に大きな影響を受けかねない)が引き起こすサプライチェーンの混乱によるリスクを軽減できるほか、デバイスメーカーにとって投入コストのインフレによるリスクを抑えられる(内部供給を有することが条件だが、供給交渉に臨む際にSiCウエハ製造のコスト構造を理解していることも重要である)。

一方で、サプライチェーンの垂直統合は長期的な成功には不可欠ではなく、十分条件でもないと考える。Siウエハは比較的にコモディティ化しており、アナログ半導体メーカーにさほどシナジー効果をもたらさない。そのうえ、**ウエハ分割技術**(InfineonやSoitecなど)はコストの観点から垂直統合を行っていないことに対するヘッジとなり得る。Infineonは予定より早くウエハ分割技術を用いた生産が可能になったと発表した。SiCウエハ材料の廃棄量を大幅に減らせることを考慮すると、前述した一部リスクによる影響を抑える役割を果たす可能性も考えられる。

概して、STMicro、ローム、ON semiなどはSiCサプライチェーンの一部の垂直統合を進めている一方、Infineonなどは追従していない。当社は車載向けSiC市場が大規模で魅力的な機会になるとみているため、複数のメーカーと様々な事業モデルが市場内に存在する余地はあると考える。

図表 22: SiCのサプライチェーン

	Supply Chain
<b>Infineon</b>	<b>Supplier:</b> SiC wafer Supply agreements with GT Advanced technologies for SiC boules, Showa Denko for extensive range of SiC materials, including epitaxy. Cree/Wolfspeed for Silicon Carbide wafers <b>Client:</b> Hyundai, XPENG, US OEM and Asian OEM, Recent Wins include two Chinese autos makers for traction inverters and on-board chargers. (We believe Infineon has several hundred industrial and around a dozen automotive SiC customers) <b>Partnership:</b> 5 triple digit million EUR automotive SiC customer wins. Hyundai, XPENG, undisclosed US OEM, undisclosed Asian OEM, two Chinese autos makers
<b>Wolfspeed</b>	<b>Client:</b> WOLF's materials and device customers are geographically diverse and also cover a wide range of end markets. The majority of its design-ins have been for the auto industry.
<b>Rohm</b>	<b>Supplier:</b> SiCrystal (acquired in 2009), Showa Denko (Agreed on LTA for SiC epitaxial wafer in 2021) <b>Client:</b> Majority of client of Rohm are European and Chinese We estimate among the Japanese clients Honda has a relatively high share <b>Partnership:</b> Haimosaic (Power module joint venture) Geely (Strategic partnership on SiC for EV) LEADRIVE (Joint R&D center since 2020) UAES (Joint R&D center since 2020)
<b>STMicroelectronics</b>	<b>Supplier:</b> Agreement with Cree/Wolfspeed worth over \$800mn to supply 150mm SiC bare and epitaxial wafers over next several years. <b>Client:</b> We believe Tesla is STM's main automotive SiC customer. STM serves close to 80 customers, approximately 20 carmakers, with approx. 100 programs awarded (per 2022 CMD) Important customers also include BMW, Hyundai, XPENG and Huawei
<b>Fuji Electric</b>	<b>Supplier:</b> Based on long term supply contracts <b>Client:</b> Toyota and Denso are their main clients
<b>ON Semiconductor</b>	<b>Supplier:</b> Bought SiC wafer supplier GTAT in 2021. ON is the only SiC player in the industry with end-to-end capabilities encompassing modules, devices and substrates. <b>Client:</b> NIO: Recently announced NIO chose ON's latest VE-Trac™ Direct SiC power modules for its next-generation EVs (2022) Mercedes: Announced ON's SiC modules are powering the Mercedes EQXX research prototype EV platform (2021)
<b>Mitsubishi Electric</b>	<b>Supplier:</b> Based on long term supply contracts <b>Client:</b> Most of domestic OEMs are their customers. Toyota/Denso portion is relatively low.
<b>StarPower</b>	<b>Supplier:</b> SiC module products of StarPower are equipped with SiC chips of overseas suppliers to fulfill the module delivery <b>Client:</b> Majority of clients are Chinese EV players, as StarPower's SiC modules will be used on 800V platforms for EV main inverters <b>Partnership:</b> Yutong Bus (SiC module)
<b>CR Micro</b>	<b>Supplier:</b> CR Micro uses SiC substrates of overseas suppliers <b>Client:</b> Its SiCs are currently used in industrial and EV charging piles, and are under testing/qualification with EV customers <b>Partnership:</b> The company has been investigating/collaborating with local SiC substrate and epiwafer suppliers
<b>SG Micro</b>	<b>Supplier:</b> SG Micro uses SiC substrates of overseas suppliers <b>Client:</b> The company completed R&D on SiC MOSFET for automotive application and the sample is under its internal testing/evaluation
<b>Silan</b>	<b>Supplier:</b> Silan uses SiC substrates of overseas suppliers <b>Client:</b> The company completed R&D on SiC MOSFET for automotive application and the sample is under its internal testing/evaluation <b>Partnership:</b> BASIC semiconductor (SiC MOSFET and SiC diodes)
<b>Wingtech</b>	<b>Supplier:</b> Wingtech uses SiC substrates of overseas suppliers <b>Client:</b> Could leverage existing clients in mid / low-voltage Si MOSFET; Bosch, Continental, Delphi are existing clients for mid / low-voltage Si MOSFET <b>Partnership:</b> King Long (SiC power devices)
<b>Sanan</b>	<b>Supplier:</b> Sanan's SiC production line in Hunan covers a comprehensive SiC production line from substrate growth, epiwafer, device fabrication, to IC packaging <b>Client:</b> Sanan's SiC diodes are currently in mass production for customers in power supply, solar inverter, on-board chargers, charging piles, home appliances, etc. SiC MOSFET is under qualification with industrial customers, and under R&D and testing with automotive customers <b>Partnership:</b> King Long: SiC power devices

出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部作成, 会社資料

## 5. システムレベルの確かな知識

実用的なSiCデバイスを生産できるメーカーは複数存在するが、**自動車への搭載に必要な極めて高い基準を満たすシステムレベルの知識**を有するメーカーは、差別化ができるだろう。Infineon、STMicro、富士電機、三菱電機、ON Semiなどがこのシステムレベルの確かな知識を有する企業に含まれる。更に、大手自動車OEMは柔軟な対応が可能になる車載向けIGBTと、SiCデバイスをどちらも提供できる能力を魅力的と捉えるはずだ。同様に、大手自動車OEMはモジュールとパッケージング能力を提示できるSiCデバイスサプライヤーを好む可能性もあろう。

## 6. 信頼性と耐久性

既存の車載向け半導体メーカーは、顧客からの信頼と高い耐久性の観点で、優位性を持つ可能性があるとして当社ではみている。EV用のパワー半導体は**厳しい環境**(極端な気温や



圧力など)にさらされるうえ、自動車の長いライフサイクルを通して問題なく機能する必要があり、これができない場合は製品リコールの恐れがあるため、信頼性は重要な成功要因である。よってIGBTパワー半導体市場で長い歴史を持つ企業(Infineon、ON Semi、富士電機、三菱電機など)は高い評判を築き上げているほか、定評のある車載向け半導体メーカーは、既存顧客との関係から恩恵を受ける可能性もある(ただし複数の企業が既存企業に対抗するため資本を投じている)。しかしながら、STMicroは他社ほど車載向け半導体市場で強力なIGBTメーカーとしての地位を有していないにもかかわらず、大手自動車メーカーの数世代にわたるモデルで成功を遂げていることも注目される。

## 7. 成長顧客へのアクセス

EVの成長顧客へのアクセスは直接的に売上高に影響し、持続的な事業成長(自動車向けは民生機器と異なり頻繁にサプライヤーが変わる訳ではない)において重要となる。更に、早くに同分野に参入し、デバイス生産量をすでに増強できている企業は、SiCの技術を取得するにあたり優位に立っている可能性があるうえ、このSiベースのデバイスより新しく複雑な技術において評判と信頼性を築き上げている可能性がある。また、規模の経済を利用できる余地もある。

一方で、緩やかな出だしとなった後に進展を加速させた半導体メーカーも存在する。例えば、InfineonはSiC技術が台頭し始めた当初はより複雑なトレンチ型の技術に重点的に取り組んでいたことで他社より遅い出だしとなったと当社では推測しているが、その後大幅な進展を遂げている。そのうえ、長期的には大口顧客がサプライチェーンを多様化させ、安定的な供給を確保するために、2社以上からSiCデバイスの供給を求めるリスクがあり、急成長を遂げる顧客へのアクセスを有するメリットは徐々に小さくなり得る。

STマイクロはテスラに採用されて大きく事業展開を前進させ、市場で信頼性を確保するとともに、規模の経済による恩恵も受けていると当社では推定している。一方、中国EVメーカーからは貿易摩擦が継続する中、日本企業のロームが頼りにされる存在となってきた(同社は今後のSiC売上増分の多くが欧州と中国向けとしている)。逆に、トヨタ自動車はIGBTでの技術進化余地があり、SiC採用拡大タイミングは欧米中メーカーに対して相対的に遅いとみる。日系自動車向けが中心とする富士電機などの日系パワー半導体企業は、顧客スケジュールに沿ってIGBTとSiCを両立させていく方向にある。

今後、世界のEVメーカーにとってはSiC半導体の供給能力確保が重要な課題となってくる。SiC半導体の能力増強が整うにつれて、顧客は能力確保のために早い段階から長期納入契約などに動いており、今後もニュースが出てくる可能性もある。

## 8. 政府のサポート

SiC、広くはパワー半導体は社会インフラの性能の向上において重要度が高まってきているため、国策として事業を育成していく動きが出てきている。以下の図表に示すとおり、中国は最近、様々なサプライチェーンにおける半導体の重要な役割を踏まえてSiCの生産増強を支援する方針を明らかにしている。すでに半導体産業全体での研究開発を支援する複数の政府補助金が存在するが、新たな支援策の発表(米国/欧州の半導体法など)は生産拠点の建設を促し、SiC生産能力の拡大を更に後押しする可能性がある。一方で、企業が政府補助金を受け取るには数年を要する場合が多く、業界関係者たちとの議論によれば、複数の企業が補助金が最終決定される前にすでにSiC生産能力の拡大を進



めている(例えばSTMicroの欧州大型工場など)。このほか、米国ではWolfSpeedが政府の補助金を受け設備投資を実施しているほか、中国では複数の省でパワーデバイスに対する公共のプロジェクトが実施されている。

また脱炭素化にむけた各国政府による規制強化でEVへの移行圧力が強まる可能性があり、これはグローバルの観点から一部地域でSiC搭載EVの導入が広がるカタリストとなり得る。

図表 23: パワーデバイスに関する中国国家プロジェクト一覧

Name	Details
深圳市国民経済・社会発展第14次5ヶ年規画	ICの生産増強に加えて、IGBT、SiCパワーデバイスなどの開発に注力する方針である パワーデバイスの自立自強に向けて、2025年までに域内総生産を約4兆元まで拡大させていく
江蘇省 市政府関于加快集成电路産業発展的意見	2025年までに企業技術センター、重点実験室、技術研究センター、工程実験室など研究開発プラットフォームを構築し、 開発技術を向上させていく
上海市 上海臨港新片区發布集成电路産業專項規画	SiCパワーデバイスやGaNパワーデバイスなど次世代部材の6インチウェーハ、8インチウェーハ対応の生産ラインの構築を進め、 5G関連の需要、再生可能エネルギー、電動車などの用途に向けた販売を促進する
重慶市 重慶市半導体産業発展五年工作方案	「パワーデバイス、メモリーチップ、アナログ/デジタル混合チップ、人工知能とIoTチップ」の四台重点方向に焦点を当て、 ウェーハの生産規模の拡大、パッケージテストレベルの高信頼性、生産ライン技術の向上に向けた支援を進めていく
山東省 関于支持八大發展戰略的財政政策的通知	電動車の發展を推進しており、パワーデバイスの生産に対して補助金を提供していくほか、 パッケージテスト受託企業にも支援金の提供を進めていく
発改委 産業結構調整指導目錄(2019年)	電鉄車両に関する牽引伝道システム、ブレーキシステムおよびIGBT、SiCパワーデバイスの技術革新を図るほか、 電動車向けに750V耐圧・300A以上のIGBTの生産増強を支援していく
発改委 中華人民共和國国民經濟和車載發展第十四箇 五年規画2035年遠景目標綱要	IGBTやパワーMOSFETなどのパワートランジスタを中心に生産プロセス技術の工場を図るほか、 GaNパワーデバイスなどの次世代部材による技術發展に向けた取り組みも支援していく
国務院 中華人民共和國国民經濟和車載發展第十四箇 五年規画2035年遠景目標綱要	国は半導体の設計、装置、材料、パッケージング、テスト、ソフトウェアなどの企業に対して、 企業利益が発生した年から2年目までの企業所得税を免除する 3年目から5年目までは、法定25%の半額で企業所得税を徴収する

出所：富士キメラ、ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部作成

## EV用SiCの拡大を阻む要因

**供給ボトルネック・ウエハ生産能力の拡大を続ける必要性**：前述の通り、市場が急拡大する見通しにあるうえ、装置～材料～半導体～モジュールまで、サプライチェーンの垂直統合/水平分業のシステムがSiをベースとした半導体ほど効率的になっていないと当社ではみている。最近SiCウエハの供給力が不安視されているが、サプライチェーンの各段階で想定通りのアウトプットができるか注視する必要があるが、この1-2年では状況は著しく改善した。半導体メーカーとウエハサプライヤーの供給契約が環境の改善に寄与しており、STMやWolfspeedが最近ウエハ生産能力を拡大する意向を示したことが一段の追い風となっている。そのうえ、上記の通り、ウエハ分割技術も供給問題を緩和するもう1つの要因になるとみられる。

一方、長期的には中国ローカル企業の実力値に注目する必要がある。現時点でEV向けの供給は少なく供給過多の心配はないとみるが、10年単位での競争力/供給力の変化は見守る必要がある。今のところは欧州/米国企業による量産過程で最も高度な技術が用いられている。

**8インチ/トレンチ型技術への移行でコストダウンは期待もそのペースは鈍化するリスク**：Siと比べ、製造/加工難易度が高いのがSiCの特徴である。6→8インチへの切り替えにおいては、大幅なコストダウンが期待される一方、ウエハ～半導体素子形成の歩留りに至るまで、新たな克服課題がある。IGBTとのコスト差を更に縮小するためにも、SiCはIGBTを上回るスピードで技術変化やコストダウンを進める必要がある。ただ、トレンチ型の技術への移行をはじめとする一段の進歩(プレーナ型のSiCなどその他の技術革新も寄与する)は、自動車の効率改善や車内システムに寄与し、自動車OEMメーカーに恩恵をもたらす可能性がある。

**初期投資負担と収益改善遅れは利益率にリスクとなり得るが、規模の急拡大がコスト水準を抑制しよう**：当社推定ベースではSiC半導体の投資対生産高は1:1程度であり、一般的な半導体と大きな差はないとみている。しかし、急速な需要拡大に対応するために、大型設備投資が必要になってきており、投資負担が大きいために一部の企業は現状の収益性は低い。垂直生産立ち上げにおいて何らかの不具合が発生すれば、収益拡大シナリオが狂いやすい点は否めない。しかしながら、Infineonは車載および産業用におけるSiC事業の利益率が全社利益率を上回っていることを明らかにしているうえ、事業拡大に伴って規模の経済による恩恵も期待できる。ただ、同社は足元の半導体不足を踏まえて契約を慎重に選んでいる。一方、STMの利益率は業界平均を下回っていると推計されるものの、改善基調にある。SiC業界全体としては、顧客基盤が細分化されており、自動車市場より少ない量で運営されているため、法人顧客向けの高い利益率から恩恵を受けられると思われる。

**SiCを利用するうえでの大きな技術的課題**：更に業界関係者によればSiCを利用するうえでは、Siより低い歩留まりなど大きな技術的課題が存在する。したがって、生産プロセスの将来的な改善(8インチへの移行に伴う単位当たりコストの低下)には注視が必要と考える。

**SiCがすべての自動車(たとえばハイブリッドなど)に適さない可能性**：SiCが適する自動車と適さない自動車が存在し、技術の応用性が限定される可能性がある。SiCウエハはIGBTに比べてはるかに割高であるため、SiCはハイエンド車により適する一方、コスト

が重要で市内走行中心の小型車など、走行距離の観点から(スペースを取らないという点でも)その他の自動車にはIGBTの方が適している可能性も想定される。

## 材料メーカーへのインプリケーション

### SiCウエハー

現在、半導体基板材料としては、シリコンウエハーが主流であり、SiCの面積ベースの市場規模はSi対比で0.1%未満と推定される(2021年ベース)。高電圧領域の中でも、1MVA近い高電圧の電源対応のパワー半導体などではSiCが広く有望と考えられている。急速/高速充電のニーズが高まると、高電圧がポイントとなるため、SiCウエハーがより有利になる。一方、SiCウエハーの単価はシリコンウエハーの十数倍のレベルと推定され、非常にコストが高いことが問題となっている。また、コストダウンに重要な役割を果たす口径についても、現在6インチのSiCウエハーを量産可能なのは4社程度に限られると推定され、生産能力についても当面律速となる可能性がある。

シリコンウエハー世界トップの**信越化学**は21年度Q3決算カンファレンスコールにおいて、初めてSiCウエハーへの取り組みを言及。信越化学の経営陣は、今後高電圧領域において、市場全体でSiCが伸びる可能性があるものの、供給能力と品質の観点から課題が残っていると指摘。このため、市場の拡大は緩やかな伸びとなる可能性があるとのコメント。信越化学としてもかなり以前より研究開発を進めており、結晶は依然として課題があるものの、加工の顧客からの評価は高いとしており、今後量産化に向けて鋭意検討中としている。

**昭和電工**のSiCエピタキシャルウエハーの売上高は21年で85億円、営業利益は21年3Qに黒字転換し4Qは5億円強となった。SiCエピタキシャルウエハーの外販でグローバルシェア3割程度、生産能力は月産9000枚。東芝の子会社である東芝デバイス&ストレージ、ローム、Infineon Technologiesと複数年にわたる長期供給契約を持つ。昭和電工は窒素を均一に添加することや表面欠陥密度を下げる技術力が強み。

### フォトレジスト、CMPスラリー、SiCフォーカスリング

その他の材料において、SiCが拡大する場合の影響として注目されるのが、フォトレジストやCMPスラリーなどであろう。パワー半導体ではKrFやi線レジストが主に使用されるが、特にSiCはより高エネルギーによる加工が必要なため、高耐性の厚膜レジストが求められる。**東京応化工業**は、i線やKrFレジストで世界トップシェアを有し、幅広い製品ラインナップを擁する同社は、SiCパワー半導体市場拡大においても重要な役割を担うと判断される。

また、**フジミインコーポレーテッド**が手掛けるCMPスラリーの領域にも注目だろう。SiCは結晶の結合力が極めて強く、化学的にも物理的にも安定しているため、非常に加工が困難であり研磨にも時間がかかることが課題となっている。現状は、高純度コロイダルシリカ、高純度アルミナなどが用いられているが、更なるポリシング材の開発も進められており、今後の展開にも注目であろう。







**東海カーボン**はエッチング工程においてシリコンウエハーを固定することに用いるSiCフォーカスリングにおいてグローバルシェアを8割程度(売上高260億円程度)持つ。SiCフォーカスリングは必ずしもSiCウエハーの全エッチング工程に用いられる訳ではないものの、半導体全体の高積層化や微細化に伴い過去2年は売上高ベースで年率3割近い伸びを示し、今後も半導体市場全体を上回る成長を予想する。

## 装置メーカーへのインプリケーション

2022年に入りInfineon、STMicro、ロームなど主要SiC関連メーカー各社が設備投資計画を相次いで発表/増額するなど、SiC市場の成長拡大への期待とともに設備投資も足元で加速している。SiC市場が勃興期であり、各社が生産キャパシティを整備し市場シェアを維持/拡大させていく流れの中では、関連装置を手掛ける装置メーカーがその恩恵を受ける可能性が高い。

当社では、2021年の市場規模9億ドル(産業用も含む市場規模全体では約11.5億ドル)に対し2025年までには33億ドル(同49億ドル)に拡大すると見ており、その過程で関連メーカーの設備投資額は累計で6,000~8,000億円程度の規模感になる可能性があると考えている。

図表 24: ディスコ、アルバックのエクスポージャーが相対的に高い  
SPEカバレッジ各社のSiC関連売上エクスポージャー

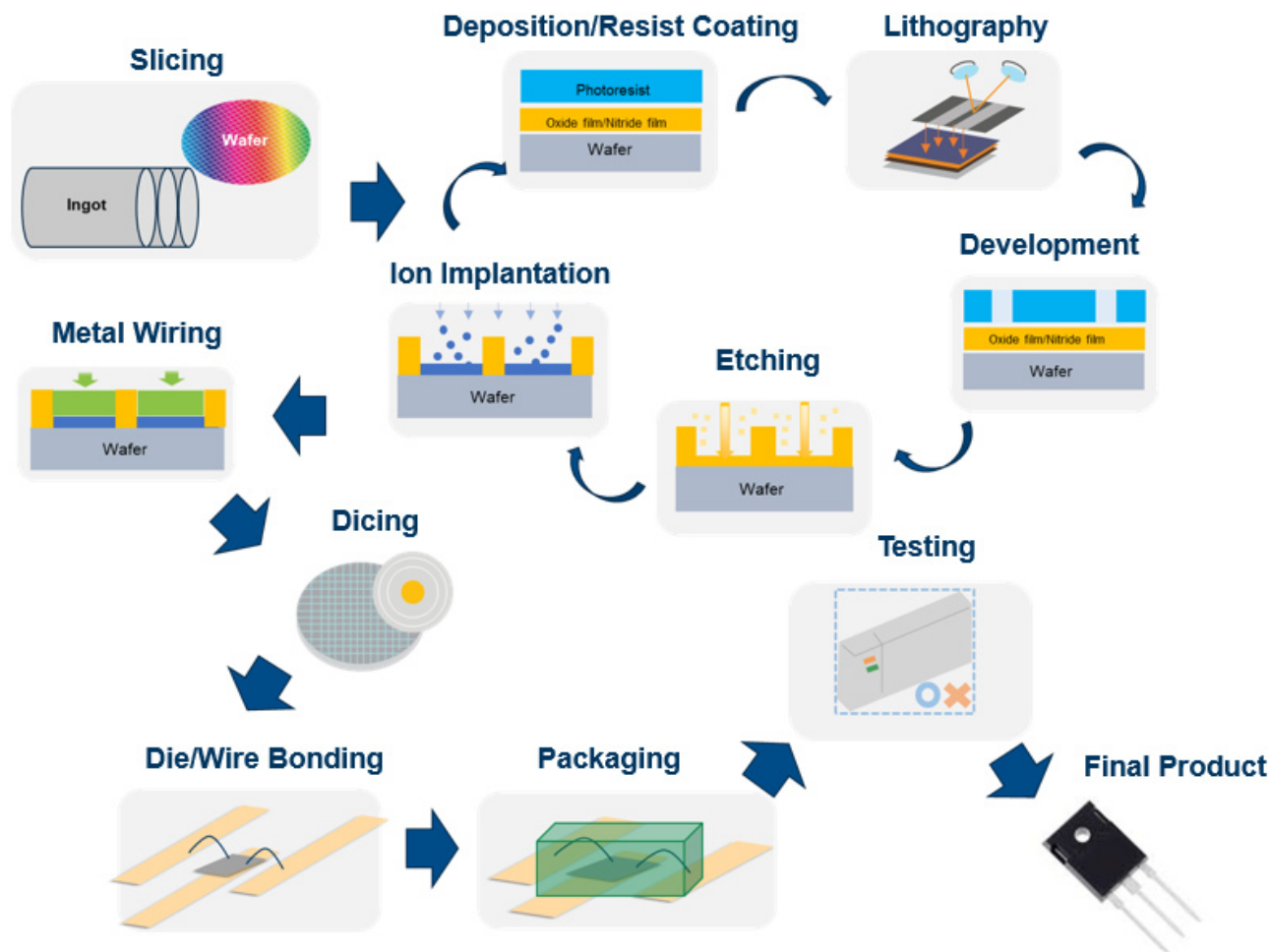
	SiC半導体関連 売上高構成比 (21年度、一部推計)	主要関連製品
ディスコ	 5-6%	ダイサ、グラインダ及びその消耗品
アルバック	 3-4%	イオン注入装置、スパッタリング装置
レーザーテック	 2-3%	SiCウェハー検査装置
東京精密	 2-3%	高剛性グラインダ
SCREEN HD	 1-2%	洗浄装置
東京エレクトロン	 <1%	SiCエピ成膜装置
アドバンテスト	0%	**CREA社の買収によりSiCを含むパワー半導体分野で新規参入を目指す
HOYA	0%	
日本電子	0%	

SiCエクスポージャーはすべて当社予想。

出所：会社資料、ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

シリコン(Si)も炭化ケイ素(SiC)も、全体で見れば結晶が形成されたインゴットを薄い円盤上のウェハーとして切り出し、その上に回路を加工、チップとして切断しデバイスに組み込むという一連の流れは同じだが、材料特性が異なることから各装置ごとに見るとSiとSiCでの違いも出てくる。以下ではカバレッジ各社ごとにSiCへのエクスポージャーを整理する(エクスポージャーが僅少と見られるHOYA/日本電子は除く)。

図表 25: 全体の製造プロセスはSiもSiCもそれほど変わらないが、材料特性の違いにより一部装置においては違いが出てくる一般的な半導体チップの製造プロセス



出所：会社資料，ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

## ディスコ

同社の新規装置におけるパワー半導体関連の売上エクスポージャー(22/3期)は、ダイサで15%程度、グラインダで20%程度。この中にはSiベース及びSiCベースのパワー半導体双方が含まれており、SiC向けのみを取り出した場合の全社売上高に占める構成比は5%前後であったとみられる(消耗品+その他装置の中にもSiC関連の売上が含まれる)。SiCはSiと比べ非常に硬い材料であることから、チップの個片化に使われるダイサ、ウェハーの薄化に使われるグラインダの付加価値が高まるほか、各々の消耗品であるブレード/ホイールについても消耗度合いが数倍~10倍程度となり台当たりの消耗品売上が増大する公算が大きい。また、レーザーを使ったウェハー切断プロセスによりSiCウェハーメークの生産性を大幅に改善可能な装置も手掛けるなど、SiCウェハーメーカー/デバイスメーカー向けに高い納入シェアを誇っている。

## アルバック

22/6期当社予想ベースで同社のパワー半導体関連装置の受注高は全社の7%弱、売上高は同6%程度となっており、概ね国内顧客向けが中心のSi向けスパッタリング装置と、中国



顧客向けが中心のSiC向けイオン注入装置が各々半分程度を占めていると見られる(ともに数億円の単価と推計)。Siパワー半導体では、ロジック半導体と異なり裏面にも電極を形成する特有の工程があり、このプロセスで使われるスパッタリング装置では高いシェアを有している。また、SiC向けのイオン注入装置(Siと異なり結晶欠陥を防ぐために高温での注入が必要となるため専用の装置が必要)については、中国市場において7割程度の高いシェアを誇っており、先行者メリットや日韓での納入実績に基づく高い信頼性を背景に優位なポジションを維持している。なお、スパッタリング装置、イオン注入装置ともともに主な競合はApplied Materialsや日新電機となるが、この2社とは主に顧客ごとに棲み分けが行われている。

## 東京エレクトロン

TELは世界のSPEメーカーの中でも幅広い製品ラインナップを有しているが、SiC関連の専用製品としてはSiCウェハー上にエピタキシャル膜(欠陥が少ない良質な単結晶の膜)と呼ばれる薄膜を形成する成膜装置を手掛けており、Siのエピ成膜と比べ高温プロセスとなるため専用装置が使われている。本製品は2010年に発売を開始、装置単価は1桁億円半ば〜後半、TELの新規装置売上高に占める構成比は1%未満と見られるが、欧州顧客向けを中心に過半の世界シェアを有している。競合としてはニューフレアテクノロジーやアイクストロンが挙げられ、ニューフレアは相対的に国内顧客への納入実績が多く、アイクストロンやSiCだけでなくGaN系デバイス向けのMOCVDなども手掛けているという特徴がある。

## レーザーテック

SiC関連製品としてはSiCウェハーの検査装置を手掛けており、市場シェアは90%程度と圧倒的なポジションを有している(競合は米国のKLA)。装置単価は1.5~2億円程度で、これまで年間の市場規模は20億円程度であったが、足元ではSiCウェハー各社の設備投資拡大に伴い市場規模も拡大基調にあり、同社の年間の受注規模は60~80億円程度まで急拡大している。会社側によれば同製品のスループットは1時間当たりウェハー10枚程度とのこと。レーザーテック全体で見ればEUVマスク検査装置の規模感が大きいことから、全社業績を牽引する製品となるとは考えにくい。SiCは化合物半導体であるとの特性から、結晶欠陥を完全にゼロにすることは難しく、ウェハーの生産量拡大に伴い同装置の需要も比例的に拡大していくことが期待される。

## 東京精密

SiC関連製品としてはSiCウェハー及びデバイスメーカー向けに高剛性グラインダを手掛けている。直近の決算説明会においては月3台程度の受注がコンスタントに入ってきていると会社側は説明しており、消耗品(Siと比べてSiCは難削材のため消耗度合いが激しく納入済みの装置に対し消耗品の売上が膨らみやすい)と合わせたSiC関連の売上高は年間20~30億円程度であると当社では推計している。SiC向け高剛性グラインダの売り先について会社側から明確な開示ないものの、主に中国メーカー向けの納入実績が大きいと当社では類推。今後、SiCウェハーの大口径化(6→8インチ)が進む場合には、新規投資が必要になることから新たな装置需要が生まれることが想定される。

## SCREEN HD

洗浄装置の大手メーカーである同社の22/3期のパワー半導体(Si + SiC双方を含む)向け

売上高は200億円弱で全体売上の5%程度と推計、そのうちSiCパワー半導体向けの洗浄装置については主に欧州顧客への納入実績がある。SiCの場合、ウェハーのサイズは足元6インチまでが主流であり、Siの8-12インチと比べ小口径であることからSi向けの洗浄装置と比べると単価はやや低めに設定されている。また、SiCへ材料が変化しても洗浄ニーズが特段変化していくわけではないと考えられるため、SiC普及拡大による直接的な恩恵は限定的であると考えられる。

### アドバンテスト

テスト大手である同社の現在の主戦場は最先端SoC及びメモリ向けのテストであり、これまで高電圧のパワー半導体向けのテスト(高温プロセスに対応した専用テストが求められる)については手掛けていなかったが、6月1日に公表されたCREA(Collaudi Elettronici Automatizzati)社の買収を足掛かりに、SiCなど化合物半導体も含めたパワー半導体向けのテストについてもラインナップを拡充していく方針。足元では高電圧のパワー半導体向けのテスト市場のTAMはCY21のSoCテスト市場43億米ドルの中で1%未満と僅少だが、会社側は2030年までに同市場が3倍程度に拡大することを見込んでおり、既存の幅広い顧客層や販売網の活用による相乗効果も期待される。

## GS SUSTAIN: SiCがグリーン設備投資目標を推進、ESGファンドによる保有も増加する可能性

当セクションはGS SUSTAIN  
チームが執筆

### グリーン設備投資は半導体とSiCの売上高の伸びを促す長期的なテーマ

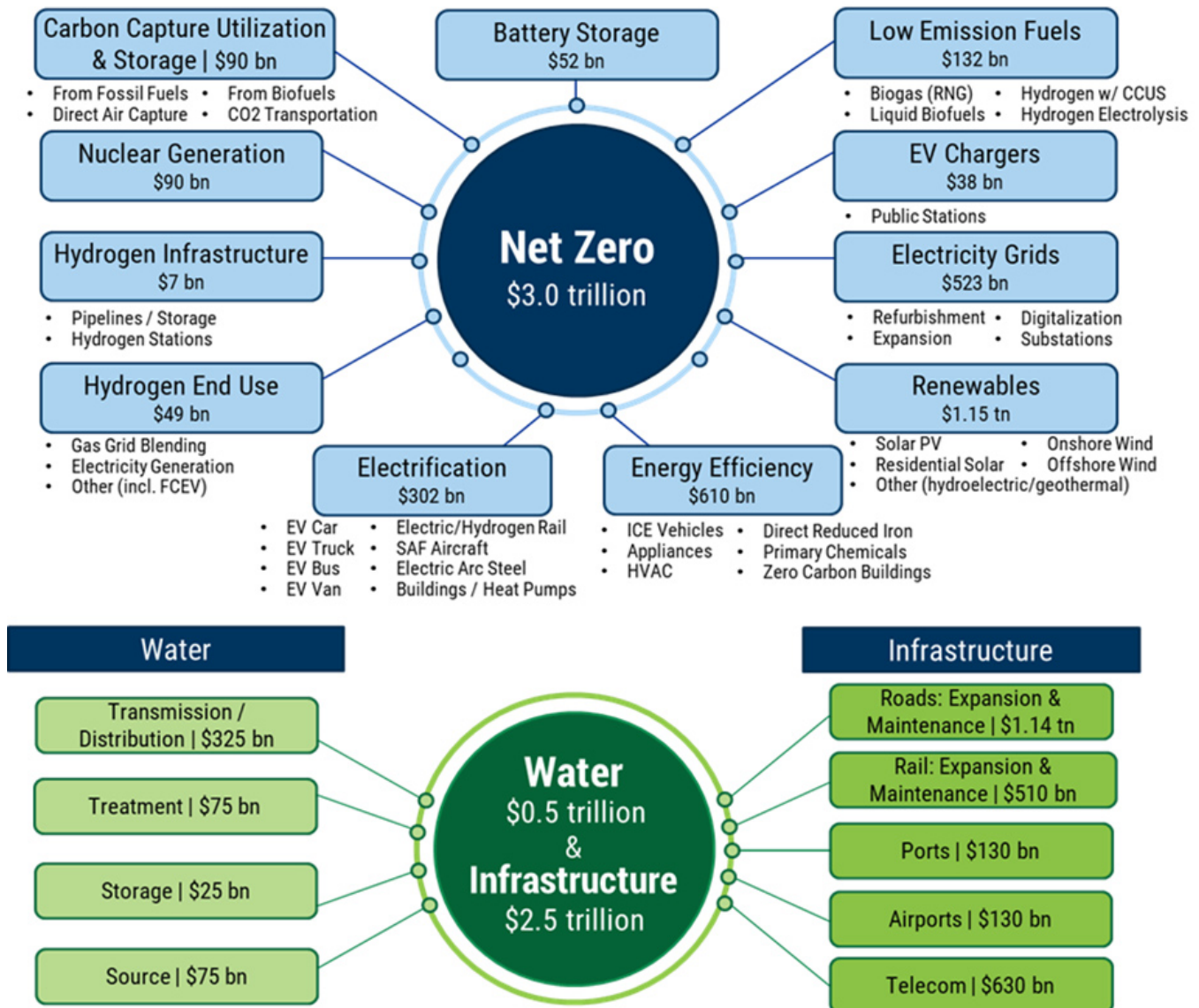
引き続き当社は、グリーン設備投資は複数年にわたる長期的なテーマになると考えており、世界の脱炭素化とクリーンウォーターおよびインフラストラクチャー目標の達成に対する関心が高まるにつれて、インフラストラクチャー実現に向けた次の波を牽引することになる。[Green Capex: Making infrastructure happen]で詳説した通り、脱炭素化、クリーンウォーターおよびインフラストラクチャー目標の達成のための投資ニーズは2020年代に年平均6.0兆ドルに達すると考えられる。これは、2016~2020年の実績値年間3.2兆ドルを2.8兆ドル上回る水準である。そのためには、さまざまな分野の技術を総動員した包括的なアプローチが不可欠と考えられる(図表#参照)。以前解説した通り、SiCは半導体デバイスの高効率化とパワースループットの向上を可能にし、従って電化、エネルギー効率、発電(特に脱炭素化)などグリーン設備投資の複数の構成分野に恩恵をもたらす可能性がある。電力転換および電力管理装置における役割を踏まえると、SiCは再生可能エネルギー分野でのグリーン設備投資の本格化にも貢献する可能性がある。

半導体は重要なGreenablerのひとつで、投資ニーズが高まっており、サステナビリティ重視の投資家の関心も更に集中すると予想される。当社はGreenabler、つまりプロジェクトのリードタイムが長くサプライチェーンのボトルネックを回避するためにより早急な投資の拡大が必要とされているセクターに対する投資家の関心が高まると予想している(詳細は図表#参照)。当社のグリーン設備投資に関するレポートでは、グリーン設備投資関連分野で特に必要不可欠あるいは極めて重要なセクターとして、次の4セクターを取り上げる(ただし重要なセクターはこれらに限定されない)：

- 半導体—電化、デジタル化、ファクトリー・オートメーションにおいて重要な役割を果たす
- 送電網—再生可能エネルギーの普及拡大が電力網の信頼性に影響しないよう防ぎ、また十分なサービスが行き届いていない地域やコミュニティの電力と電化へのアクセスを実現するために不可欠
- 銅/アルミニウム—グリーン設備投資関連分野全般における電化とエネルギー効率の改善において極めて重要な役割を担う
- サイバーセキュリティ—電化/デジタル化の流れの加速に伴いネットワークの脆弱な箇所が増加するなかで、サイバー空間の脅威から防御する核となる

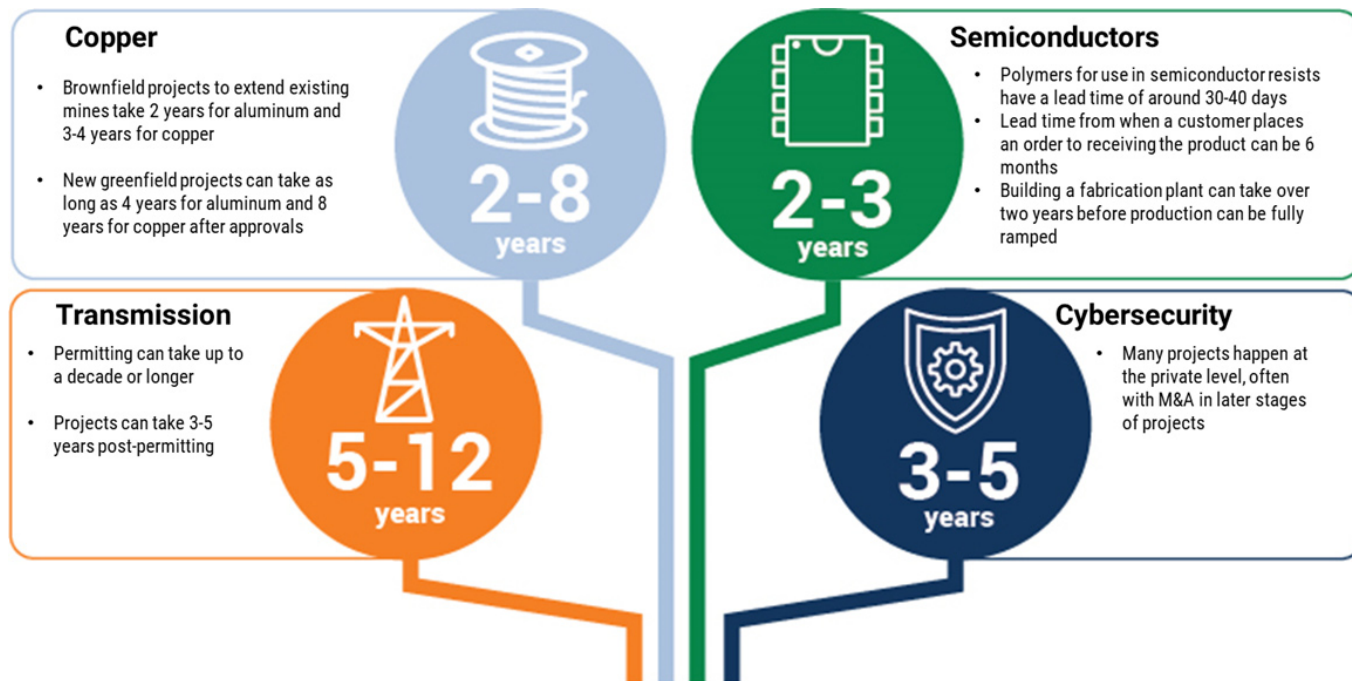
図表 26: ネットゼロ、インフラストラクチャー、クリーンウォーターの各分野の定義

ネットゼロ、インフラストラクチャー、クリーンウォーター・ニーズを満たすために不可欠な技術/重点分野と2020年代の年間投資額



出所: IEA, McKinsey, OECD, 会社資料, 会社資料, ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

図表 27: 当社の推定ではグリーンイネーブラーのプロジェクトのリードタイムは2-12年であり、特に半導体、銅/アルミニウム、送電網、サイバーセキュリティへの投資の緊急性/重要度が高まる見込み



出所: ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

## 二酸化炭素排出量削減における半導体の役割は過小評価されている

半導体はエネルギー効率改善と排出回避に寄与してきた。当社が「Greenablers: The critical role of Semiconductors towards a sustainable future」と題したリポートで述べたように、半導体は過小評価されてはいるが、エネルギー効率改善の推進とグリーンソリューションの実現支援において不可欠な存在であり、これらはともに気候変動緩和に重要な役割を果たしている。同リポートでは、半導体業界全体がスコップ1と2の1単位の排出量を生むごとに、エンドユーザーの排出量がその5倍回避されてきたと推計した。

パワー半導体とSiCは次の段階のイノベーションを促進する可能性がある。当社は半導体(特にロジックデバイス)のエネルギー効率改善に減速を窺わせる初期兆候が見られると指摘した。この兆候を受けて、効率改善をもたらす次のイノベーションの発見を業界全体で緊急に議論する必要性が高まっている。具体的な戦略としては、材料のイノベーション(SiCを用いたパワー半導体の進歩など)と設計・パッケージングのイノベーション(ロジックデバイスとメモリデバイスにおけるFinFET/三次元積層構造のトランジスタなど)がある。当社の半導体アナリストは、SiCがパワー半導体の次の効率向上を推進し、それが世界のエネルギー消費量の長期的削減に重要な役割を果たして、消費者の回避排出量拡大を促すと考えている。

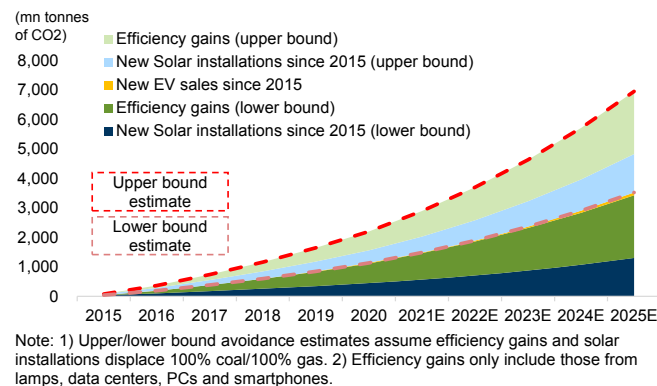
当社はパワー半導体に対象を絞った同様の分析は行っていないが、CDP(旧称:Carbon Disclosure Project)によると、パワー半導体大手のInfineonなどが報告しているネットの環境への貢献(40倍前後)は半導体大手のそれを上回っている。パワー半導体は他の半導体セグメントよりもクリーン技術製品への搭載が多いことがその理由と思われるが、企業の情報開示における回避排出量の推計は必ずしも一貫した方法で行われているわけではなく、同一条件での企業間の直接比較にはおそらく限界があることに留意する



必要がある。

回避排出量への評価が高まる可能性はあると当社はみているが、投資家は引き続き事業活動による排出量を重視するだろう。ネットゼロのイニシアチブにより、投資家と政府は絶対量ベースでも排出原単位ベースでも、事業活動による排出量に引き続き注目している。半導体セクターでは排出量を制限する規制は比較的少ないが、国連責任投資原則(PRI)主導のネットゼロ・アセットオーナー・アライアンスのようなネットゼロのイニシアチブ導入が拡大している。当社の欧州・中東・アフリカ(EMEA)エネルギーチームがカーボノミクスに関するレポートで示したように、世界の平均気温上昇を2.0℃より十分低く保ち、2060年までに全世界でネットゼロを実現するという当社シナリオの一環として、半導体企業は2030年までに排出原単位を35%削減する必要がある。パーフルオロカーボン(PFC)は気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第6次評価報告書で、地球温暖化への影響度がCO<sub>2</sub>の5,000倍以上とされているだけに、その事業活動による排出量も引き続き注目されるだろう。当社は、総合的に見て、排出回避のメリットは事業活動の環境フットプリントをめぐる懸念を補って余りあると考えている。後述するESGファンドの資産配分に基づくと、現時点で投資家は、当社の事業活動に関する環境・社会スコアを選別基準としているのではなく、製品のもたらす影響を重視しているようだ。

図表 28: 半導体は最終製品のエネルギー効率改善とクリーン技術の拡大を促進する気候変動緩和の重要なenabler  
LED、ソーラーパネルなど新たなクリーン技術導入と効率改善を通じて排出が回避されたCO<sub>2</sub>の総量(基準年:2015年)



出所: IEA, BNEF, 世界銀行, ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

## サステナビリティ投資家にとってはグリーン設備投資だけでなく企業リターンも重要、半導体はこの点で優位にある

グリーン設備投資関連分野のなかでも、一部のセクターにとっては価格上昇が必要不可欠な要素だが、他のセクターにとってはコスト上昇がリスクとなるため、特に投入コストの上昇を受けて市場がさまざまなセクターの収益性を一段と重視するようになるにつれて、企業リターンとその見通しに対する投資家の注目度が高まると考えられる。

「Green Capex: Greenflation, Returns and Opportunity」で詳説した通り、半導体は予想企業リターンが、(1)過去のレポートにおける水準から下方修正されておらず、(2)金融と不動産を除く全セクター平均を依然として上回り、(3)2023年あるいは2024年に2022年比で上昇すると予想される2つのセクターのうちのひとつである。



## サステナビリティ投資家がパワー半導体銘柄のウエートを引き上げ、「注視(CARE)」する可能性がある理由

新たな持続可能な用途による収益源に投資する企業をめぐる顧客との議論の多くは、サステナビリティ投資家が信頼を寄せ、投資ウエートを引き上げるためには何が必要か、という点に集中する傾向にある。投資家は、企業が以下の要素を備えているかどうかに基づいてグリーン設備投資を「注視(CARE)」し始めるようになると考えられる：

- Core competencies (追求する分野における核となる能力)
- Available capital (利用可能資本)
- Returns (良好な企業リターン)
- Execution (執行)

鍵となるのはタイミングで、当社アナリストが強調するようにパワー半導体の収益好転が転換点となろう。当社アナリストチームの分析によると、サステナビリティ投資家は当社の「CARE」の枠組みに基づきパワー半導体への評価を高める可能性があり、その起爆剤となるのが電化需要の拡大に牽引されたSiCの売上高/利益寄与の拡大で、これが「執行」に対する信頼度の高まりにつながる。グリーン設備投資の恩恵を受けてコンセンサスの設備投資予想が最も大幅に引き上げられている企業が出遅れていることも確かであり、これがリスクとなる可能性がある。しかしこれは当社アナリストが指摘している通り、年平均売上高成長率見通しが一段と明確になっていることにより相殺されるとみられる。

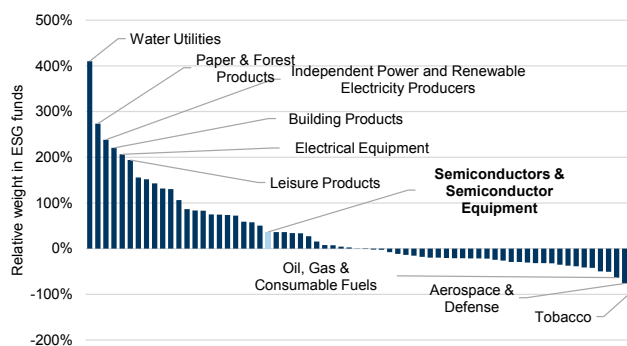
パワー半導体の保有状況は過去1年間拡大している一方で、半導体銘柄の保有状況はほぼ横ばいとなっている。ESGファンドにおける相対的な保有状況を見ると、パワー半導体銘柄については2020年から2021年前半の期間に比べて2021年10月～2022年3月までの期間に中央値ベースでみてオーバーウエートの度合いが高まっているが、より広義の半導体セクターは2021年前半以降、小幅なオーバーウエート(中央値ベース)の水準でほぼ安定している(詳細については図表#参照)。

### ESGファンドによるパワー半導体銘柄の保有比率の上昇を促す要因

1. 国連SDGsのほか、EUタクソノミーなど持続可能な事業活動を定義したESG関連規制の枠組みとパワー半導体の売上高の連関が高まること
2. エネルギー効率の一段の改善と並行して、グリーン設備投資目標の推進においてSiCが果たす役割の拡大に対する投資家の評価が高まること
3. バリューチェーン全般に電化の緊急性が高まり、グリーンソリューションの導入ニーズの拡大が続くことでパワー半導体需要に対する長期的な追い風が強まること

図表 29: ESGファンドは半導体セクターを小幅オーバーウエート：企業リターンが魅力的なGreenablerとしての評価が高まるにつれてウエートが引き上げられる余地がある

MSCI ACWと比較したESGファンドのGICS 3サブセクター別保有状況 (2022年3月時点)

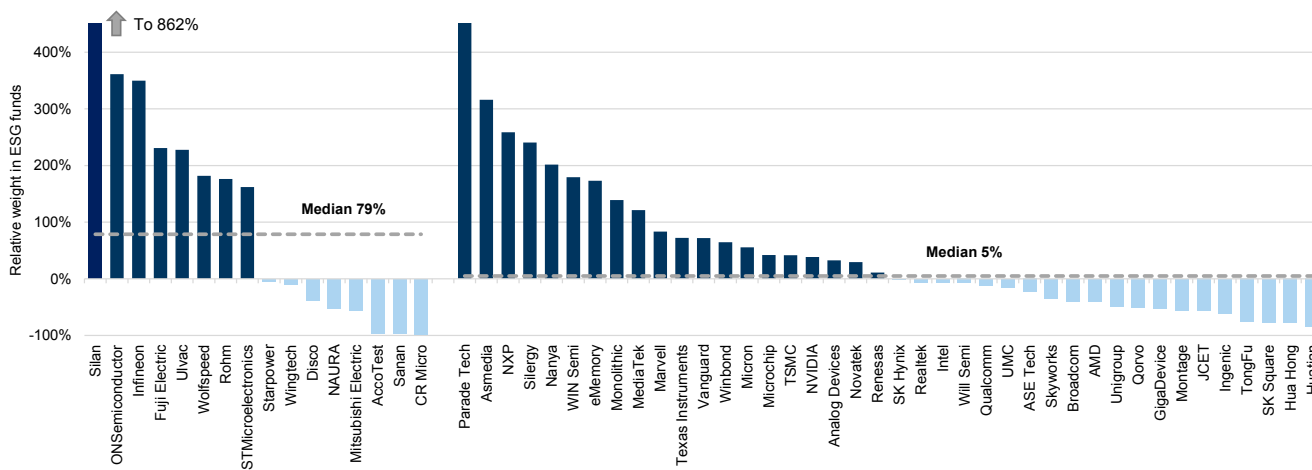


Note: The chart excludes Diversified Consumer Services, which is >1,000% relatively overweight.

出所：モーニングスター, Thomson Reuters, ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

図表 30: 分野別では本稿で取り上げたパワー半導体銘柄はESGファンドにおいて広義の半導体銘柄よりもオーバーウエートされる傾向

MSCI ACWと比較したESGファンドの銘柄別ウエート

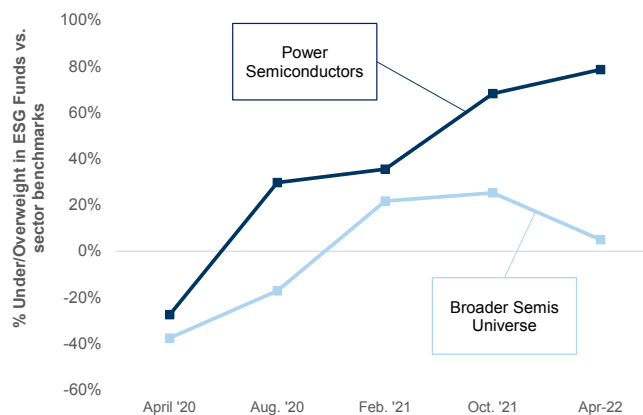


Note: We include the power semiconductor companies featured in this report and GICS 4 Semiconductor companies in the MSCI ACWI. We excluded selected Semiconductor Equipment and solar pure-play companies.

出所：モーニングスター, トムソン・ロイターEikon, ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

図表 31: 2020年以降、パワー半導体銘柄のセクター・ベンチマークと比べたオーバーウエートの度合いは広義の半導体銘柄に比べて大幅に上昇(中央値ベース)

パワー半導体銘柄と広義の半導体銘柄のアンダー/オーバーウエートの度合いの変化(2020年4月、2020年8月、2021年2月、2021年10月、2022年3月時点のデータに基づく)



出所: モーニングスター, トムソン・ロイターEikon, ゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部

## 付属開示事項

### レギュレーションAC

私達、高山 大樹、Alexander Duval、アレン・チャン、ジン・グオ、ブライアン・リー、CFA、播 俊也、Brian Singer、CFA、シャーミニ・チェットウォード、Ph.D.、中村 修平、池田 篤、原田 亮、御園生 彩花、ブルース・ルー、リン・ルオー、ヴェレナ・ジェン、鴨脚 光洋、Enrico Chinello、Ph.D.、キボム・キム、江原 真は、ここに本レポートで表明された全ての見解が、本レポートに含まれる一つ、または複数の企業、およびその発行有価証券に関する私達の見解を正確に反映したものであることを証明します。また、本レポートに示された特定の投資判断、または見解は、過去、現在、また将来的にも私達の報酬とは直接的にも間接的にも無関係であることを証明します

特に断りのない限り、本レポートの表紙に掲載されている個人はゴールドマン・サックスのグローバル投資調査部のアナリストです。

### 当社ファクタープロファイル

ゴールドマン・サックスのファクタープロファイルは株式の主要特性を市場(当社カバレッジ・ユニバースなど)や同業他社と比較することで当該株式の投資環境を評価することを企図しています。主要特性は成長性、財務リターン、バリュエーション、総合(成長性、財務リターン、バリュエーションの合成)の4項目から成ります。このうち成長性、財務リターン、バリュエーションは各株式固有の指標の正規化順位を用いて計算されます。その後、指標の正規化順位が平均され、指標と関係する特性のパーセンタイルに変換されます。具体的な計算方法は会計年度、業種、地域により異なる場合がありますが、各特性は基本的に以下のように捉えられます。

成長性は当該株式の将来の売上成長、EBITDA成長、EPS成長(金融株の場合はEPS 成長と売上成長のみ)で構成され、百分率(パーセンタイル)が高いことは、成長性が高い会社であることを示します。財務リターンは当該株式の将来のROE、ROCE、CROCI(金融株の場合はROEのみ)で構成され、パーセンタイルが高いことは、財務リターンが高い会社であることを示します。バリュエーションは当該株式の将来のPER、PBR、配当利回り(P/D)、EV/EBITDA倍率、EV/FCF倍率、EV/DACF(負債調整後キャッシュフロー)倍率(金融株の場合はPER、PBR、P/Dのみ)で構成され、パーセンタイルが高いことは、バリュエーションが高い会社であることを示します。総合パーセンタイルは、成長性パーセンタイル、財務リターンパーセンタイル、(100%-バリュエーションパーセンタイル)の平均値から計算されます。

財務リターンとバリュエーションには、会計年度末時点における少なくとも3四半期先の当社アナリスト予想を使用します。成長性には、少なくとも7四半期先の会計年度を少なくとも3四半期先の会計年度と比較して得たデータを使用します(すべての指標は1株当たりベースとします)。

当社ファクタープロファイルの詳しい計算方法は当社担当者までお問い合わせください。

### M&Aスコア

当社グローバル・カバレッジ全体で株式の分析にM&Aフレームワークを使用し、ある企業が買収標的となる可能性を織り込むため、(セクターや地域ごとに異なることのある)定性的要因と定量的要因の両方を考察します。続いてM&Aスコアを適用し、カバレッジ内のレーティングが付与された企業を1~3で評価します。1はその企業が買収標的となる可能性が高い(30%-50%)こと、2は中位(15%-30%)であること、3は低い(0%-15%)ことを示します。スコアが1または2の企業については、当社の標準的な部門ガイドラインにしたがい、当社目標株価にM&A価値を織り込みます。スコアが3の場合にはM&A価値は重要でないと思われ、当社目標株価に織り込まれないほか、リサーチで論じられないこともあります。

### クオンタム

クオンタムは詳細な過去の財務諸表や予想、レシオにアクセスできるゴールドマン・サックス独自のデータベースです。個別企業に関する徹底分析に利用できるほか、異なる業種、市場間の比較も可能です。

### 開示事項

#### Logo disclosure

Third party brands used in this report are the property of their respective owners, and are used here for informational purposes only. The use of such brands should not be viewed as an endorsement, affiliation or sponsorship by or for Goldman Sachs or any of its products/services.

## 会社に関する規制に基づく開示事項

開示事項については <https://www.gs.com/research/hedge.html> をご参照ください。本資料に記載された企業に適用される開示事項は当該企業に関する最新の発行済み調査資料でご覧いただけます。

## レーティングの配分と投資銀行業務との関連

ゴールドマン・サックス投資調査部のグローバル調査対象銘柄群

	レーティングの配分			投資銀行業務との関連		
	買い	ホールド	売り	買い	ホールド	売り
グローバル	50%	35%	15%	65%	57%	45%

2022年04月1日現在でゴールドマン・サックス・グローバル投資調査部がレーティングを付与した銘柄数は3,143となっております。ゴールドマン・サックスは、調査対象銘柄から地域の各種投資推奨リストの買いおよび売りを付与する銘柄を選定し、そのいずれにも該当しない銘柄を中立と見なしています。こうしたレーティングの付与はFINRA(米国金融取引業規制機構)の諸規則により義務付けられた上記の公表を目的とする、買い、ホールド、売りと一致します。下記の「レーティング、カバレッジ・ユニバースおよび関連事項の定義」をご参照ください。「投資銀行業務との関連」の表は、過去12ヵ月間に以内にゴールドマン・サックスが投資銀行業務を提供した調査対象銘柄の割合をレーティング・カテゴリー毎に表したものです。

## 目標株価とレーティングの推移

開示事項については <https://www.gs.com/research/hedge.html> をご参照ください。本資料に記載された企業に適用される開示事項は当該企業に関する最新の発行済み調査資料でご覧いただけます。

## 規制に基づく開示事項

### 米国法ならびに米国の規制に基づく開示事項

本資料に記載された企業に要求される以下の開示事項に関しては、上記の各会社に関する規制に基づく開示事項をご参照ください：主幹事会社または共同主幹事会社の役割；1%またはその他の持分；特定の業務に係る報酬の受領；顧客関係の種類；過去の証券公募における主幹事会社または共同主幹事会社の役割；役員の兼務；株式については、マーケット・メーカーおよび/またはスペシャリストの任務。ゴールドマン・サックスは本資料に記載された発行体の債券(あるいは関連する派生商品)の自己勘定売買を行います、あるいは行う場合があります。

追加の開示事項：証券の保有ならびに実質的な利害の対立：ゴールドマン・サックスの方針では、アナリスト、アナリストの下で業務を行うプロフェッショナル、およびその同居家族が、アナリストが調査対象としている企業の証券を保有することを禁止しています。アナリストの報酬：アナリストの報酬は、投資銀行部門の収益を含むゴールドマン・サックス全体の収益も考慮した上で決定されています。アナリストによる役員の兼務：ゴールドマン・サックスの方針では通常、アナリスト、アナリストの下で業務を行う者、またはその同居家族が、アナリストが調査対象としている企業の役員、取締役または顧問を兼務することを禁止しています。米国外のアナリスト：米国外のアナリストは必ずしもゴールドマン・サックス・アンド・カンパニーの外務員ではなく、したがって調査対象企業とのコミュニケーション、公の場への登場、保有証券の売買を規制するFINRAの規則2241あるいは規則2242の適用対象とならない場合があります。

レーティングの配分：レーティングの配分に関しては上記開示事項をご参照ください。株価チャート：前段に掲載された、レーティングと目標株価の推移を示した株価チャートをご参照ください。電子フォーマットによる株価チャート、もしくは本資料で取り上げられた複数の企業の株価チャートをご希望の場合は、<https://www.gs.com/research/hedge.html> のゴールドマン・サックス・ウェブサイトをご参照ください。

### 米国外の管轄地域の法律や規制に基づく追加の開示事項

以下の開示事項は、米国法ならびに規制に基づきすでに記載された項目以外に、各管轄地域で開示が求められているものです。オーストラリア：ゴールドマン・サックス・オーストラリアPty Ltdおよびその関連会社はBanking Act 1959 (Cth)で定義されるオーストラリアの公認預金受入機関ではなく、オーストラリアにおいて銀行サービスを提供することも銀行業務を営むこともありません。本資料および本資料の入手や利用は、ゴールドマン・サックスが別段に合意した場合を除き、Australian Corporations Actで定義されている”wholesale clients”のみを対象としています。調査資料の作成にあたり、ゴールドマン・サックス・オーストラリア投資調査部の社員が、調査資料で言及する企業およびその他の事業体が主催する会社訪問や工場見学、その他会合に出席することがあります。ゴールドマン・サックス・オーストラリアがかかる訪問や会合に関する状況に照らして適切かつ妥当と判断した場合には、その訪問や会合の費用の一部または全額を当該発行体が負担することがあります。本資料において金融商品に関してなんらかの意見が含まれる場合は一般的な見解であり、個々のお客様の投資目的、財務状況、もしくは必要性を考慮することなくゴールドマン・サックスが作成したものです。お客様は、これらの意見に基づき投資行動をとる場合、当該意見が自身の投資目的、財務状況、必要性に鑑み適切であるかを事前にご確認ください。オーストラリアおよびニュージーランドのゴールドマン・サックスにおける利益相反に関する開示事項並びにゴールドマン・サックスにおけるオーストラリアセールサイドリサーチの独立性に関するポリシーは

<https://www.goldmansachs.com/disclosures/australia-new-zealand/index.html> をご覧ください。ブラジル：ブラジル証券取引委員会(CVM) Resolution n. 20に開示に関する開示情報については、<https://www.gs.com/worldwide/brazil/area/gir/index.html> をご覧ください。CVM Resolution n. 20第20項が適用される場合、本文の最後に特に明記のない限り、本資料の初めに記載された最初のアナリストが、同項が定義する、本資料の内容に主たる責任を負う、ブラジルで資格登録されたアナリストとなります。カナダ：この情報は情報提供のみを目的として提供されており、いかなる状況においてもゴールドマン・サックス・アンド・カンパニーによるカナダの証券購入者へのカナダの証券を取引するための広告、募集売り出し、または勧誘として解釈されるべきではありません。ゴールドマン・サックス・アンド・カンパニーは、適用されるカナダの証券法上カナダのいかなる法域においてもディーラーとして登録されておらず、通常カナダの証券の取引は許可されていません。カナダの法域によっては特定の証券や商品の販売が禁止されている場合があります。カナダの証券またはその他の商品のカナダでの取引をご希望される場合は、ゴールドマン・サックス・グループ・インクの関連会社であるゴールドマン・サックス・カナダ・インクまたは登録されたカナダのディーラーに連絡してください。香港：本資料に記載された、当社アナリストが調査対象としている企業の有価証券に関し、さらに詳しい情報をご入力の際には、ゴールドマン・サックス(アジア)L.L.C.にお問い合わせください。インド：本資料に記載された企業に関しさらに詳しい情報をご入力の際には、ゴールドマン・サックス(インド)セキュリティーズ・プライベート・リミテッド、SEBIにおけるリサーチアナリスト登録番号INH000001493、951-A, Rational House, Appasaheb Marathe Marg, Prabhadevi, Mumbai 400 025, India, 法人登記番号U71410MH2006FTC160634、電話番号+91 22 6616 9000、Fax +91 22 6616 9001までお問い合わせく



ださい。ゴールドマン・サックスは本資料に記載された企業の(Indian Securities Contracts (Regulation) Act 1956第2項(h)で定義される)証券を1%以上実質保有している場合があります。 **日本**：金融商品取引法第37条に定める事項の表示をご参照ください。 **韓国**：本資料及びそのアクセスは、ゴールドマン・サックスとの別段の同意がない限り、韓国金融投資サービスおよび資本市場法の「プロフェッショナル投資家」に向けたものです。本資料に記載された企業に関しさらに詳しい情報をご入力の際には、ゴールドマン・サックス(アジア)L.L.C. ソウル支店までお問い合わせください。 **ニュージーランド**：ゴールドマン・サックス・ニュージーランド・リミテッドおよびその関連会社は(Reserve Bank of New Zealand Act 1989で定義される)「登録銀行」でも「預金受入機関」でもありません。本資料および本資料の入手や利用は、ゴールドマン・サックスが別段に合意した場合を除き、Financial Advisors Act 2008で定義されている”wholesale clients”のみを対象としています。オーストラリアおよびニュージーランドのゴールドマン・サックスにおける利益相反に関する開示事項は <https://www.goldmansachs.com/disclosures/australia-new-zealand/index.html> をご覧ください。 **ロシア**：ロシア連邦で配布される調査レポートは、ロシア法で定義される広告ではなく、商品の宣伝を主目的としない情報・分析に該当するものであり、ロシアの資産評価に関する法の意義の範囲内における評価を提供するものではありません。調査レポートは、ロシア法ならびに規制に基づく個人向けの推奨を構成するものではありません。また、特定のお客様に向けたものではなく、お客様の財務状況、投資プロファイルまたはリスクプロファイルを分析することなく作成したものです。本資料に基づくお客様やその他の投資行動について、ゴールドマン・サックスは一切の責任を負いかねます。 **シンガポール**：本資料に関するあらゆる事項については、シンガポール金融管理局の規制を受け、本資料の法的責任を負っているゴールドマン・サックス(シンガポール)Pte. (Company Number: 198602165W)までお問合せください。 **台湾**：本資料は情報提供のみを目的としたものであり、当社の承諾なしに転載することはできません。投資に際しましては、各自の投資リスクを慎重にご検討ください。投資の結果につきましては個々の投資家が責任を負うものとします。 **英国**：英国金融行動監視機構の規則において個人投資家の定義に該当するお客様は、本資料を本資料で取り上げた、当社アナリストが調査対象としている企業に関する過去のゴールドマン・サックス・レポートと関連してお読みいただき、ゴールドマン・サックス・インターナショナルから送られたリスク警告を参照して下さい。これらのリスク警告の写しや本資料で使用した金融用語の用語解説をご希望の方は、ゴールドマン・サックス・インターナショナルまでお問い合わせ下さい。

**欧州連合ならびに英国**：投資推奨または投資戦略を推奨、提案するその他の情報の客観的な提示、および個人の利益の開示または利益相反の表明の技術的な手続きに関する規制技術基準についての欧州議会および理事会規則(EU) No 596/2014を補足する欧州委員会委任規則(EU) (2016/958)の第6条2項(英国の欧州連合および欧州経済領域からの離脱後に英国の国内法や規制に組み込まれる委任規則も含む)に関連する開示情報は、欧州での投資調査に関する利益相反管理方針を記載した<https://www.gs.com/disclosures/europeanpolicy.html>をご覧ください。

## レーティング、カバレッジ・ユニバースおよび関連事項の定義

**買い(B)、中立(N)、売り(S)**アナリストは地域の各種投資推奨リストに採用する買わないし売り銘柄を推奨します。投資推奨リストで買わないし売りの推奨が付与される銘柄はカバレッジ・ユニバース相対の潜在トータルリターンにより決定されます。買わないし売りの推奨のいずれにも該当せず、かつレーティングがアクティブの状態にある銘柄(すなわち推奨レーティング中断[RS]、投資見解保留[NR]、調査中断[CS]、投資見解なし[NC]以外の銘柄)は中立とみなされます。各地域のインベストメント・レビュー・コミティはリージョナル・コンピクシオン・リストを管理しており、それぞれの所管地域における潜在トータルリターンの大きさ、リターンの実現可能性のいずれかまたは両方に基づいた推奨を目的とします。ある銘柄がコンピクシオン・リストに採用された場合、またはコンピクシオン・リストから除外された場合、そのことは担当アナリストによる当該銘柄の推奨レーティングの変更を意味するものではありません。

**潜在トータルリターン**は、株価が現行水準から対象期間に見込まれる目標株価(実績および予想ベースの配当を全て含む)まで上昇または下落する幅に相当します。目標株価は全ての調査対象銘柄に設定されます。投資推奨リストへの追加ないし採用を強調する際には、各レポートに潜在トータルリターン、目標株価およびその対象期間が記載されます。

**カバレッジ・ユニバース**：各カバレッジ・ユニバースに含まれる全企業名が記された、主要担当アナリスト別、銘柄別、カバレッジ・ユニバース別のリストは<https://www.gs.com/research/hedge.html>をご覧ください。

**投資見解保留(NR)**：推奨レーティングと目標株価及び業績予想(関連する場合)を保留する。当該保留は、ゴールドマン・サックスが当該企業に係る合併または戦略的な取引上、その関与により、法、規制、若しくは方針上の制約が存在するとき、およびその他の一定の状況において投資銀行業務に携わっている場合に、ゴールドマン・サックスの社内規定遵守の見地からなされる。 **推奨レーティング中断(RS)**：ゴールドマン・サックス調査部は、対象銘柄につき、推奨レーティングまたは目標株価の決定に十分なファンダメンタルズ上の根拠がないため、推奨レーティングと目標株価の提示を中断している。従前の対象銘柄に関する推奨レーティングと、もしある場合は目標株価は現在無効であり、投資判断に利用すべきではない。 **調査中断(CS)**：推奨レーティング、業績予想、目標株価などの提示を中断する。 **投資見解なし(NC)**：ゴールドマン・サックス調査部の主要調査対象銘柄ではない。 **表示すべき情報なし、または適切な情報ではない(NA)**：この情報を表示するには適切ではない。 **適切な意味を持たない(NM)**：この情報は意味がないため、除外する。

## グローバル調査資料：配布機関

ゴールドマン・サックスのグローバル・インベストメント・リサーチ部門は、全世界でゴールドマン・サックスのお客様向けに調査資料の発行と配布を行っています。世界各地のゴールドマン・サックスのオフィスに勤務するアナリストは、業界および企業、マクロ経済、為替、市況商品、ポートフォリオ戦略に関する調査資料を発行しています。本資料の配布については、オーストラリアではゴールドマン・サックス・オーストラリアPtyリミテッド(ABN 21 006 797 897)が、ブラジルではゴールドマン・サックス・ドゥ・ブラジル・コレトラ・デ・ティツロス・エ・ヴァロレス・モビリアリスS.A.が、パブリック・コミュニケーション・チャネル・ゴールドマン・サックス・ブラジル：0800 727 5764 および/または [contatogoldmanbrasil@gs.com](mailto:contatogoldmanbrasil@gs.com) (平日の午前9時から午後6時にお問い合わせください)。Canal de Comunicação com o Público Goldman Sachs Brasil: 0800 727 5764 e/ou [contatogoldmanbrasil@gs.com](mailto:contatogoldmanbrasil@gs.com)。Horário de funcionamento: segunda-feira à sexta-feira (exceto feriados), das 9h às 18h、カナダではゴールドマン・サックス・アンド・カンパニーが、香港ではゴールドマン・サックス(アジア)LLC が、インドではゴールドマン・サックス(インド)セキュリティーズ・プライベート・リミテッドが、日本ではゴールドマン・サックス証券株式会社が、韓国ではゴールドマン・サックス(アジア)LLC ソウル支社が、ニュージーランドではゴールドマン・サックス・ニュージーランド・リミテッドが、ロシアでは000ゴールドマン・サックスが、シンガポールではゴールドマン・サックス(シンガポール)Pte(Company Number: 198602165W)が、米国ではゴールドマン・サックス・アンド・カンパニーが、これを行います。ゴールドマン・サックス・インターナショナルは英国国内での本資料の配布を承認しています。

英国が欧州連合ならびに欧州経済領域を離脱した日(「離脱日」)からは、配布機関に関する以下の情報が適用されます。

英国ブルーデンス規制機構(「PRA」)により認可され、英国金融行動監視機構(「FCA」)ならびにPRAの監督を受けるゴールドマン・サックス・インターナショナル(「GSI」)は、英国国内における本資料の配布を承認しております。

**欧州経済領域**：PRAにより認可され、FCAならびにPRAの監督を受けるGSIは欧州経済領域内の以下の管轄地域で調査資料を配布します：ルクセンブルク大公国、イタリア、ベルギー王国、デンマーク王国、ノルウェー王国、フィンランド共和国、キプロス共和国、アイルランド共和国；フランスでは、離脱日よりフランス健全性監督破綻処理機構(「ACPR」)が認可し、ACPRとフランス金融市場庁(「AMF」)が監督することになるGS - Succursale de Paris(パリ支店)が調査資料を配布します；スペイン王国では、スペイン証券取引委員会に認可されたGSI - Sucursal en España(マドリッド支店)が調査資料を配布します；GSI - Sweden Bankfilial(ストックホルム支店)はSwedish Securities and Market Act (Sw. lag (2007:528) om värdepappersmarknaden)第4章4項に基づきSFSより「第三国支店」として認可されており、スウェーデン王国国内で調査資料の配布を行います。ドイツで法人化された金融機関であり、単一監督メカニズム内で欧州中央銀行の直接のブルーデンス規制の対象となり、その他の点ではドイツ連邦金融監督庁(Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, BaFin)およびドイツ連邦銀行の監督を受けるゴールドマン・サックス・バンク・ヨーロッパSE(「GSBE」)が、ドイツ連邦共和国内および欧州経済領域内でGSIが認可されていない管轄地域で調査資料を配布します；また、デンマーク王国では、デンマーク金融監督庁の監督を受けるGSBE コペンハーゲン支店(filial af GSBE, Tyskland)が調査資料を配布します；スペイン王国では、(限られた範囲で)スペイン銀行の国内での監督対象となるGSBE - Sucursal en España(マドリッド支店)が調査資料を配布します；イタリアでは、関係する適切な範囲内でイタリア銀行(Banca d'Italia)およびイタリア証券取引委員会(Commissione Nazionale per le Società e la Borsa “Consob”)の国内



での監督対象となるGSBE - Succursale Italia(ミラノ支店)が調査資料を配布します；フランスでは、AMFとACPRの監督対象となるGSBE - Succursale de Paris(パリ支店)が調査資料を配布します；スウェーデン王国では、限られた範囲でSwedish Financial Supervisory Authority (Finansinspektionen)の国内での監督対象となるGSBE - Sweden Bankfilial(ストックホルム支店)が調査資料を配布します。

## 一般的な開示事項

本資料はお客様への情報提供のみを目的としています。ゴールドマン・サックスに関する開示事項を除き、本資料は信頼できるとされる現在の公開情報に基づいて作成されていますが、当社はその正確性、完全性に関する責任を負いません。本資料に記載された情報、意見、推定、予想等は全て本資料発行時点のものであり、事前の通知なしに変更される場合があります。当社は本資料中の情報を合理的な範囲で更新するようにしていますが、法令上の理由などにより、これができない場合があります。定期的に発行される一部の業界レポートを除いて、大部分のレポートはアナリストの判断により変則的な間隔を置いて発行されます。

ゴールドマン・サックスは、投資銀行業務、投資顧問業務および証券業務を全世界で提供する総合金融会社です。当社はグローバル・インベストメント・リサーチ部門が調査対象としている企業の大部分と投資銀行その他の業務上の関係を持っています。米国のブローカー・ディーラーであるゴールドマン・サックス・アンド・カンパニーは証券投資家保護公社(SIPC) (<https://www.sipc.org>)に加盟しています。

当社のセールス担当者、トレーダーその他の従業員は、口頭または書面で、本資料で述べられた意見と異なる内容の市場に関するコメントや投資戦略を、当社の顧客およびプリンシパル取引部門に提供することがあります。当社の資産運用部門、プリンシパル取引部門、投資部門は、本資料で示された投資見解や意見と整合しない投資決定を下すことがあります。

本資料に記載されたアナリストは、本資料で議論された株式の株価に短期的な影響を及ぼす可能性がある、また、それによる影響が当該株式に対するアナリストの公表済み目標株価と方向性を異にする可能性がある株価材料や事象に言及した投資戦略について、時として当社セールス担当者、トレーダーを含む当社顧客と議論を行っている、または本資料で議論を行うことがあります。その種のいかなる投資戦略も当該株式に関するアナリストの基本的な株式レーティングとは別個のものであり、また、それに対して影響を及ぼしていません。本資料に記載の通り、レーティングは当該株式の属するカバレッジ・ユニバース相対での当該株式の潜在リターンを反映しています。

当社および当社の関連会社、役員、エクイティおよびクレジット・アナリストを除く社員は、本資料に記載された証券または派生商品(もしあれば)の買い持ちや売り持ち、および売買を時として行うことがあります。

当社主催のコンファレンスで、当社の他の部門の従業員を含む、サードパーティのスピーカーが示す見解は、必ずしもグローバル投資調査部の見解を反映したものではなく、また当社の公式見解でもありません。

ここで述べるサードパーティは、セールス担当者、トレーダー、その他プロフェッショナル、およびその同居家族を含み、本資料で言及された金融商品について、本資料を執筆したアナリストの見解と相反するポジションをとることがあります。

本資料は売却・購入が違法となるような法域での有価証券の売却もしくは購入を勧めるものではありません。本資料は個人向けの推奨を構成するものではなく、また個々のお客様の特定の投資目的、財務状況、もしくはは要望を考慮したものではありません。お客様は、本資料のいかなる意見または推奨に基づき投資行動をとる場合でも、その前にそれらがお客様の特定の状況に当てはまるか否かを考慮に入れるべきであり、必要とあれば税務アドバイスを求めて専門家に助言を求めて下さい。本資料に記載されている投資対象の価格と価値、およびそれらがもたらす収益は変動することがあります。過去の実績は将来のパフォーマンスを約束するものではありません。将来の収益は保証されているわけではなく、投資元本割れが生じることはあり得ます。為替変動は特定の投資の価格と価値、およびそれがもたらす収益にマイナスの影響を与えることがあります。

先物、オプション、およびその他派生商品に関する取引は大きなリスクを生むことがあり、すべての投資家に適切な取引ではありません。投資の際にはゴールドマン・サックスの担当者もしくはウェブサイト<https://www.theocc.com/about/publications/character-risks.jsp>および[https://www.fiaadocumentation.org/fia/regulatory-disclosures\\_1/fia-uniform-futures-and-options-on-futures-risk-disclosures-booklet-pdf-version-2018](https://www.fiaadocumentation.org/fia/regulatory-disclosures_1/fia-uniform-futures-and-options-on-futures-risk-disclosures-booklet-pdf-version-2018)を通じて入手可能なオプションおよび先物に関する最新の開示資料をよくお読みください。オプションの買いと売りを組み合わせるスプレッドなどのオプション戦略では取引コストがかなり高くなる場合があります。関連資料をご希望の方はお申しつけください。

**グローバル投資調査部が提供する異なるレベルのサービス：**当社グローバル投資調査部が提供するサービスのレベルならびに種類は、コミュニケーションを受け取る頻度や手段に関するお客様のご要望、お客様のリスク特性や投資の重点分野ならびに大局的な投資観(市場全体、セクター固有、長期、短期等)、当社との顧客関係全体の規模や範囲、法律や規制による制約といった様々な要因により、当社の社内顧客および社外の他の顧客に提供されるサービスと異なる場合があります。一つの例として、特定の有価証券に関する調査資料の発行時に通知を依頼されるお客様もいれば、当社顧客向け内部ウェブサイトでも入手可能なアナリストのファンダメンタル分析の基礎となる特定のデータの、データフィードその他手段による電子配信を依頼されるお客様もいます。アナリストの根本的な調査見解の変更(株式の場合はレーティングや目標株価、業績予想の大幅な変更など)については、かかる情報を含む調査レポートが作成され、当社顧客向け内部ウェブサイトへの掲載という電子的発行または必要に応じてその他手段により、当該レポートがそれを受け取る資格のあるすべての顧客に広範に配布されるまでは、いかなる顧客にも伝達されることはありません。

すべての調査資料は電子的発行手段により当社の顧客向け内部ウェブサイトですべての顧客に一斉に配布され、閲覧可能となります。調査資料のすべての内容が当社顧客向けに再配布されたり、第三者のアグリゲーターに提供されたりするわけではなく、ゴールドマン・サックスは第三者のアグリゲーターによる当社の調査資料の再配布に責任を負っているわけでもありません。一つ以上の有価証券や市場、資産クラス(関連サービス含む)に関してご利用可能な調査資料やモデル、その他データについては、当社の営業担当者にお問い合わせいただくか、<https://research.gs.com>をご覧ください。

その他の開示事項については、<https://www.gs.com/research/hedge.html>をご参照いただくか、200 West Street, New York, NY 10282のリサーチ・コンプライアンスから入手することができます。

## 金融商品取引法第37条に定める事項の表示

本資料とともに、金融商品取引をご案内させていただく場合は、各金融商品取引の資料をよくお読みください。金融商品取引を行われる場合は、各商品等に所定の手数料等(たとえば、株式のお取引の場合には、約定代金に対し、事前にお客様と合意した手数料率の委託手数料および消費税、投資信託のお取引の場合には、銘柄ごとに設定された販売手数料および信託報酬等の諸経費、等)をご負担いただく場合があります。また、すべての金融商品には、関連する特殊リスクがあり、国内外の政治・経済・金融情勢、為替相場、株式相場、商品相場、金利水準等の市場情勢、発行体等の信用力、その他指標とされた原資産の変動により、多額の損失または支払い義務が生じるおそれがあります。さらに、デリバティブのお取引の場合には、弊社との合意により具体的な額が定まる保証金等をお客様に差し入れていただくこと、加えて、追加保証金等を差し入れていただく可能性もあり、こうした取引についてはお取引の額が保証金等の額を上回る可能性があります(お取引の額の保証金等の額に対する比率は、現時点では具体的な条件が定まっていないため算出できません)。また、上記の指標とされた原資産の変動により、保証金等の額を上回る損失または支払い義務が生じるおそれがあります。さらに、取引の種類によっては、金融商品取引法施行令第16条第1項第6号が定める売付けの価格と買付けの価格に相当するものに差がある場合があります。なお、商品毎に手数料等およびリスクは異なりますので、当該商品等の契約締結前交付書面や目録書またはお客様向け資料をよくお読みください。

権利行使期間がある場合は権利を行使できる期間に制限がありますので留意が必要です。

期限前解約条項、自動消滅条項等の早期終了条項が付されている場合は、予定された終了日の前に取引が終了する可能性があります。

商号等：ゴールドマン・サックス証券株式会社 金融商品取引業者 関東財務局長(金商)第69号

加入協会：日本証券業協会、一般社団法人金融先物取引業協会、一般社団法人第二種金融商品取引業協会

© 2022 ゴールドマン・サックス

本書の一部または全部を、ゴールドマン・サックス・グループ・インクの事前の書面による承諾がない限り、(i) 複写、写真複写、あるいはその他のいかなる手段において複製すること、または(ii) 再配布することを禁じます。