

Q シリーズ：車の次世代開発

コード化された車-自動車バリューチェーンの準備はできているか？

Apple のスマートフォンでの成功からの教訓

iPhone が既存の携帯電話市場に革命を起こしたように、テスラ型のソフト設計が自動車産業に変革をもたらす可能性がある。UBS で行った Model3 分解調査を通じて、多岐に渡る電気制御、EV の中核特性となる BMS (バッテリー管理システム) などテスラが先行していた。このソフト化の潮流は、自動車、ソフト、半導体など広く影響を与えよう。一方で既存の自動車企業も追従しており、どの会社が優位性を確立できるかは未だ不透明である。

ソフトありきの設計

将来の車は、ソフトウェア技術を通して全電子機器を監視・制御し、データを集積、走行性能や車内快適性の改善を逐次行う仕組みが強化されよう。この仕組みは、現在のスマホと共通点が多く、同様の設計思想が車の次世代開発には求められる。中核技術は OS、半導体、データセンター・クラウドで、ビッグデータの保存・分析が必須。これらの技術を強化しない既存自動車企業は、かつての携帯電話企業のように、苦しむことになる。

ソフトで差別化できる

ソフト技術が差別化に繋がる領域は、(1) 走行性能・効率を高める、(2) 完全自動運転の実現、(3) 完全自動運転に伴う新サービスの創出、など。最初の二要因は、自社製品の強化に繋がり、三つ目は、将来の成長や利益率改善に繋がろう。本稿は特に(1)に注目している。テスラの BMS は、従来型の思想を捨てて、ビッグデータ解析やソフト技術を最大限活用するためにゼロから設計が見直されている好例と我々は考える。

カバー銘柄への影響

ソフト分野では、Alphabet 傘下の Waymo が先行している。そして VW、GM、Ford は、自社技術開発で追従している好例である。この一方で日本企業は、自動運転化、サービスなどで残念ながら出遅れている。パナソニック、東芝、三菱電機、ルネサスのような日本の OEM 企業やテック企業はいずれも価値を上げることが一層難しくなるだろう。事業リスクが相対的に小さいのは、IT サービス分野で強い日立や富士通である。

Equities

グローバル
半導体

安井 健二

アナリスト

kenji.yasui@ubs.com

+81-3-5208 6211

Patrick Hummel, CFA

アナリスト

patrick.hummel@ubs.com

+41-44-239 79 23

Colin Langan, CFA

アナリスト

colin.langan@ubs.com

+1-212-713 9949

David Mulholland, CFA

アナリスト

david.mulholland@ubs.com

+44-20-7568 4069

高橋 耕平

アナリスト

kohei.takahashi@ubs.com

+81-3-5208 6172

Paul Gong

アナリスト

paul.gong@ubs.com

+852-2971 7868

Nicolas Gaudois

アナリスト

nicolas.gaudois@ubs.com

+852-2971 5681

Eric J. Sheridan

アナリスト

eric.sheridan@ubs.com

+1-212-713 9310

Timothy Arcuri

アナリスト

timothy.arcuri@ubs.com

+1-415-352 5676

Tim Bush

アナリスト

tim-d.bush@ubs.com

+852-2971 6113

Taewoo Lee

アナリスト

taewoo.lee@ubs.com

+852-2971 6873

土 雄一朗

次席アナリスト

yuichiro.tsuchi@ubs.com

+81-3-5208 6241

内容

エグゼクティブサマリー	3
iPhone は既存企業を駆逐した	3
自動車産業でも同じことが起こりうる	3
関係各社への影響	4
画面で見える機能は一部に過ぎない	6
集中制御の導入	7
ドメインコントロール	7
バッテリーマネジメントシステム (BMS)	11
(ビッグ) データ集積で何が出来るか?	21
シンプルなソフトを搭載した複雑な車から、複雑なソフトを搭載したシンプルな車へ	23
OS/アプリ	23
半導体	24
デーセンター	25
スマホ経済圏とパラレル	27
勝ち組は半導体と OS 技術保有	27
iPhone の強みはソフト+ハード垂直統合	29
関係各社への影響	33
捕捉資料：Model3 の BMS 詳細	38
Chevy Bolt との比較	49
テスラ BMS とその今後	51
テスラ型 BMS についてのその他留意点	55

UBS' s Q-Series products reflect our effort to aggressively anticipate and answer key investment questions, to help drive better investment recommendations. Q-Series is a trademark of UBS AG.

エグゼクティブサマリー

本稿では、次世代の自動車開発では、付加価値が物理的実体のあるハードからアセット・ライト要素であるソフトウェアに移行する可能性を指摘する。具体的には、(1) モバイル機器と携帯端末で起こったコード、特に OS への付加価値移行と、(2) 自動車に使用されるソフトウェアの高度な統合が付加価値向上に重要になっていること、が同時に進行する点を示す。このような具体例は自動車産業で数多く見られるが、本稿ではテスラの例を特に取り上げた。

iPhone は既存企業を駆逐した

携帯電話市場は iPhone の登場により、既存プレーヤーのノキア、モトローラ、HTC、ブラックベリー等のビジネスモデルを破壊した。アップルはスマートフォン事業で OS とハードの両方を席卷して唯一利益の上げているのに対し、他社は OS を Android に依存しながら製品を設計している。成功要因の一つとして、OS ・半導体・基幹部品を全てアップルが自社で設計している点は見逃せない。ただしアップルの自社設計能力は、一夜で実現されたものではない。アップルがスマートフォンに参入した当初は既製部品を使っていた。実際に自社プロセッサを搭載したのは、iPhone3G や 3GS を販売してから二年後であった。

自動車産業でも同じことが起こりうる

iPhone が既存の携帯産業に革命を起こしたように、テスラ型的设计思想が自動車産業の構造を大きく変える可能性がある。Model3 の分解分析 ([Lap1](#)、[Lap2](#)、[Lap3](#)、[半導体](#)、[バッテリーセル](#))を通して、ソフト技術を活用する具体例として、ビッグデータ解析を活用している BMS や、通信で機能をアップグレードする機能(OTA)、ドメインコントロールなどの独自技術が確認された。EV 化、自動運転化の流れから次世代の自動車開発で重要度が増すのは、IT 技術であろう。そして「IT 技術」を「自動車関連企業」が自社開発出来るかどうかで差別化要因となる。つまり、IT 技術を自社開発できる自動車関連企業であるか否かが差別化要素となる。

購入後に「機能が成長する」好例は、テスラのバッテリーシステム(BMS)である。テスラのバッテリー容量はなかなか劣化しない。更には残っているバッテリー容量を効率よく使っているため、バッテリーの性能、電力効率の両面で差別化に成功している。これが業界トップの航続距離実現に繋がっている。Model3 とバッテリーの分解結果から、Model3 のバッテリー制御(BMS)の特徴は、深層学習・AI を最大限活用する設計にあると我々は考えた。細かいバッテリーを多数搭載しておき、実際の走行データからビッグデータを獲得し、機械学習した AI でバッテリー制御アルゴリズムを強化している。更にあらゆる電子機器で電力消費を極力抑制するように連動させ、電力効率の高い運転を実現している。これを実現するためには 200 以上の電子機器の動作を管理・最適化し、自動車と 4,416 の低容量バッテリーの状態に適合させなければならない。

ソフト技術がより重要に

スマートフォンでは少数のプレーヤーだけが残った

iPhone の成功要因が、車の次世代開発でも通じる

バッテリーシステムには「成長する」仕組みが盛りだくさん

ただしテスラには、欠点がある点を忘れてはいけない。過去の UBS レポートで、各 부품の納まり感と仕上がり感で、劣位している点を指摘した ("[Lap3: Fit & Finish-The Revolution is Over](#)")。

テスラは「完璧」ではない

関係各社への影響

スマホ産業と同様に、自動車産業で不可欠となる技術は、OS、半導体、データセンター/クラウドなどである。自動車設計は、従来まではそれぞれの部品の機能改善する部分最適が主体であったが、今後は複数機能を一括りにしたシステム全体の機能改善をめざす全体最適設計がより重要になろう。例えばテスラが、自動車産業のアップルのような存在になれば、他の自動車企業は既製のソフトウェアを調達することになる。アルファベット傘下の Waymo が提供する OS が好例である。

今はテスラが先行している

図表 1: 次世代の車開発に必要な技術一覧

	トヨタ	ホンダ	日産	デンソー	Tesla	Ford	GM	日立	Panasonic	三菱電機	ルネサス	富士通	東芝
自動運転													
OS	○	○	○	○	○	○	○	○					
走行BigData	◎	○	○	○	○	開発中	○						
走行制御ECU						○	○						
画像認識半導体				○						○	◎		○
走行制御ソフト	○	○	○	○	○	○	○			○			
走行画像認識ソフト	○	○	○	○	○	○	○						○
カーナビ・コックピット				○	○	○	○			◎	◎		
通信(OTA)	○			○	○	○	○		○				
クラウド			○	○	○	○	○	◎					
BigData解析	○			○	○	○	○	○				◎	
道路・信号・交通	○							◎					
地図	○									◎			
モビリティサービス	○		○		○	○	○	◎				◎	
BMS										◎			
電池	◎												○
BigData	○			○	○								
ソフト	○	○	○	◎	○			○	○	○			○
マイコン				○	○						○		○
冷却システム				◎	○								
EV化													
モーター	○	○	○	◎	○			○		○			○
インバーター	○			◎	○			○		○			○

出所：会社資料、UBS

確かにスマホと車は大きく異なる。既存のサプライチェーン構造、法規制、経済・国家戦略への影響度合い、保険などの関連市場、部品点数、製品価格、社会的意義、生命に与える影響度、などにおいて規模と仕組みが全く違うとの反論は正論である。しかしそれでも最高の「ユーザーエクスペリエンス」を実現して次世代車の開発競争を勝ち抜くには、テスラ型の設計思想が主流となる可能性がある。

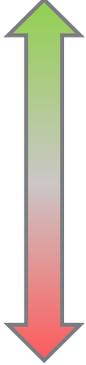
それでも車とスマホは、色々な点で大きく異なるのも事実

バリューチェーンの他の分野を見ると、ソフト分野では、Waymo が先行しているが、VW、GM、Ford は、ソフトを自社開発している好例である。このようなソフト技術分野で、グローバル競争をする基準、自動運転化、モビリティサービス化で対等に渡り合える日本のテック企業は少ない。このため日本のコングロマリットの自動車部品事業(日立、三菱電機、東芝、パナソニック)の利益率は、低下・低位横ばい、になると UBS では予想している。大型投資などで大きなリスクは取らずに、集中制御 OS で管理できない・管理するが必要ない部品分野で着実に利益を創出する企業が、自動運転の恩恵を受けやすいと我々は考える。具体的には、IT サービス分野で強

殆どの日本企業は、自動車部品で利益を出すのが難しくなりそう

い日立や富士通であろう。一方でソフトウェアによる集中制御型が主流となった際に付加価値を上げにくくなるのは、パナソニック、東芝、三菱電機、ルネサス、などになると我々は考える。

図表 2: UBS カバー銘柄への影響

影響	会社	Ticker	投資判断	影響	アナリスト	コメント
	Alphabet	GOOG	Buy	プラス	Eric Sheridan	ソフト技術で圧倒的優位
	Tesla	TSLA	Sell	プラス	Colin Langan	ソフト技術力既に高い
	VW	VOWG	Buy	中立	Patrick Hummel	自社OS、MEB、構築中
	GM	GM	Buy	中立	Colin Langan	CruiseとOnStar買収
	Ford	F	Buy	中立	Colin Langan	自社のソフト技術強化に注力
	日立製作所	6501.T	Buy	中立	安井 健二	自動運転普及で、ITサービスに商機
	富士通	6702.T	Buy	中立	安井 健二	自動運転普及で、ITサービスに商機
	ルネサス	6723.T	Buy	中立	安井 健二	ドメインコントロールで成長率鈍化へ
	デンソー	6902.T	Neutral	マイナス	高橋 耕平	自動化技術への移行が遅い
	トヨタ	7203.T	Neutral	マイナス	高橋 耕平	自動化技術への移行が遅い
	日産	7201.T	Sell	マイナス	高橋 耕平	自動化技術への移行が遅い
	ホンダ	7267.T	Buy	マイナス	高橋 耕平	自動化技術への移行が遅い
	東芝	6502.T	Buy	マイナス	安井 健二	自社でソフト技術足りない
	三菱電機	6503.T	Neutral	マイナス	安井 健二	ガソリン車向けやカーナビがリスク要因
最もマイナス	パナソニック	6752.T	Neutral	マイナス	安井 健二	BMSへの貢献度が低く、カーナビもリスク要因

出所：UBS

画面で見える機能は一部に過ぎない

付加価値が物理的なアセット(ハードウェア)から軽いアセット(コードあるいはソフトウェア)へ移行する先鞭をつけた民生機器はパソコンだろう。この技術的な変化は通信機器、メディア、金融など他産業に大きく波及した。表面的には製品を生産する際の原材料コストの違いとみることができるかもしれない。しかし、この変化はバリューチェーン全体の構造変化を意味している。本稿では、自動車産業を取り上げ、こうした変化を探っている。具体的には、(1) モバイル機器と携帯端末で起こったコード、特に OS への付加価値移行と、(2) 自動車に使用されるソフトウェアの高度な統合が付加価値向上に重要になっていること、が同時的に進行する点を示す。このような具体例は自動車産業で数多く見られるが、本稿ではテスラの例を特に取り上げた。

Model3 に乗車にしてまず驚くのが、殆ど全ての情報が中央画面に表示される点である(図表 3)。図表 4 は車体コントロール画面である。ドライバーが操作できるのは中央部分に示されている 8 項目(Quick Control, lights, Lock など)・28 種類である。さらに画面左から底部にかけて、ワイパー、リア画像、デフォグガー、シートヒーターなど設定・制御機能が具備されている。非常にシンプルな仕組みに一見すると見える。

シンプルな運転席

図表 3: Model3 の運転席



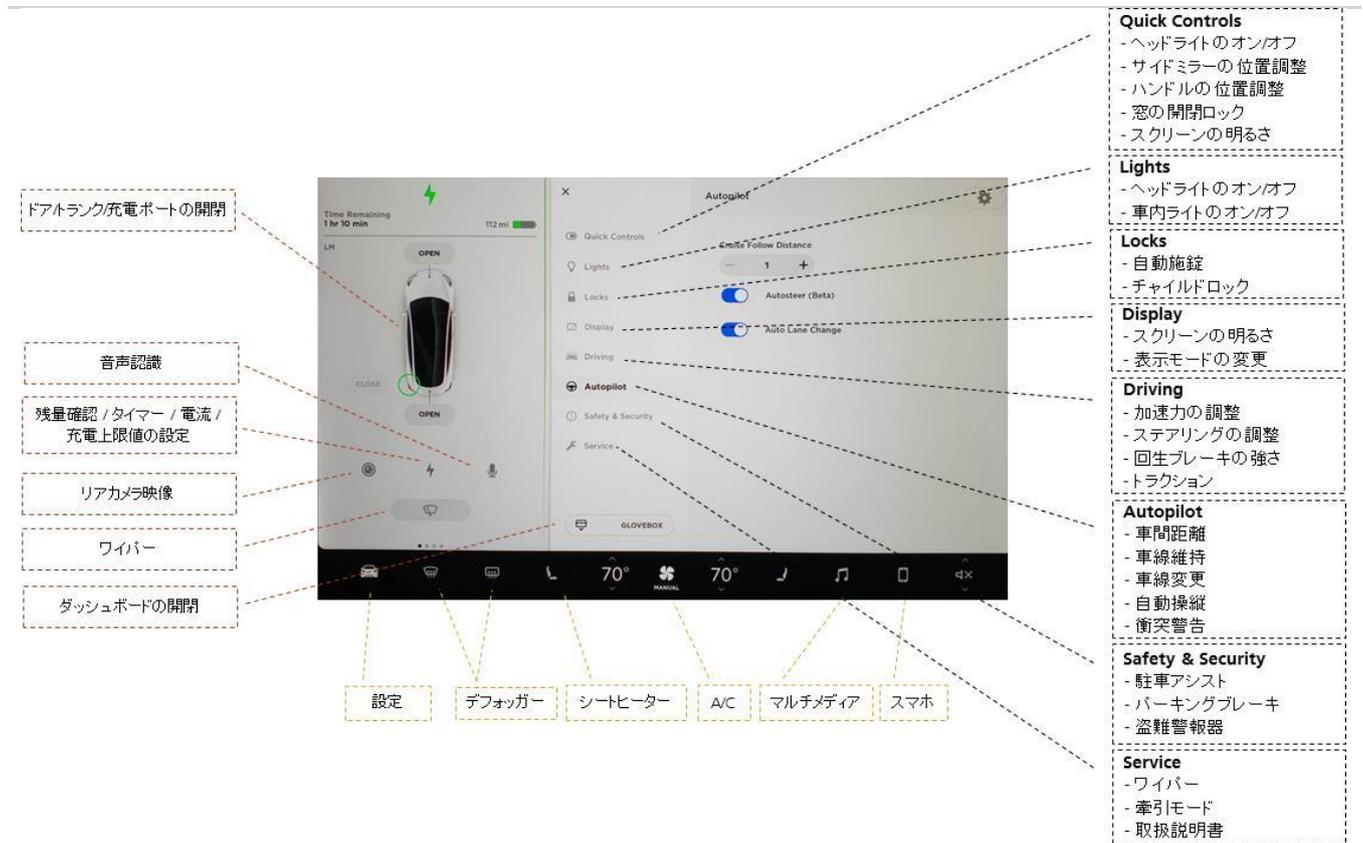
出所: UBS Evidence lab

ドライバーから入力信号を送るデバイスが少ない点も特徴の一つであろう。多くの入力が中央画面内のボタンからで、Autopilot 時の走行速度、車間距離、車線変更に始まり、エアコン、音楽・ラジオ再生、照明の調整、などの指示が出せる。他の目立った入力装置はハンドルを握る親指側に設置されている回転ホイールと、ハンドル奥側にあるウィンカー・ワイパーのレバー程度である。そしてこれらの入力機器から送れる指示方法や指示内

入力デバイスも少ない

容は、ソフトが更新される度に直感的に使いやすくなる。そうした単純な外見とは裏腹に、機器間の極めて複雑な連携が集中制御によって管理されている。

図表 4: 中央スクリーン画像



出所: UBS Evidence Lab

集中制御の導入

重要なシステムを三つ説明する。これらの設計思想が、次世代車の開発でより重要になると我々は考えている。その三つは、(1) ドメインコントロール、(2) バッテリーマネジメントシステム (BMS)、(3) (ビッグ) データマネジメント、である。

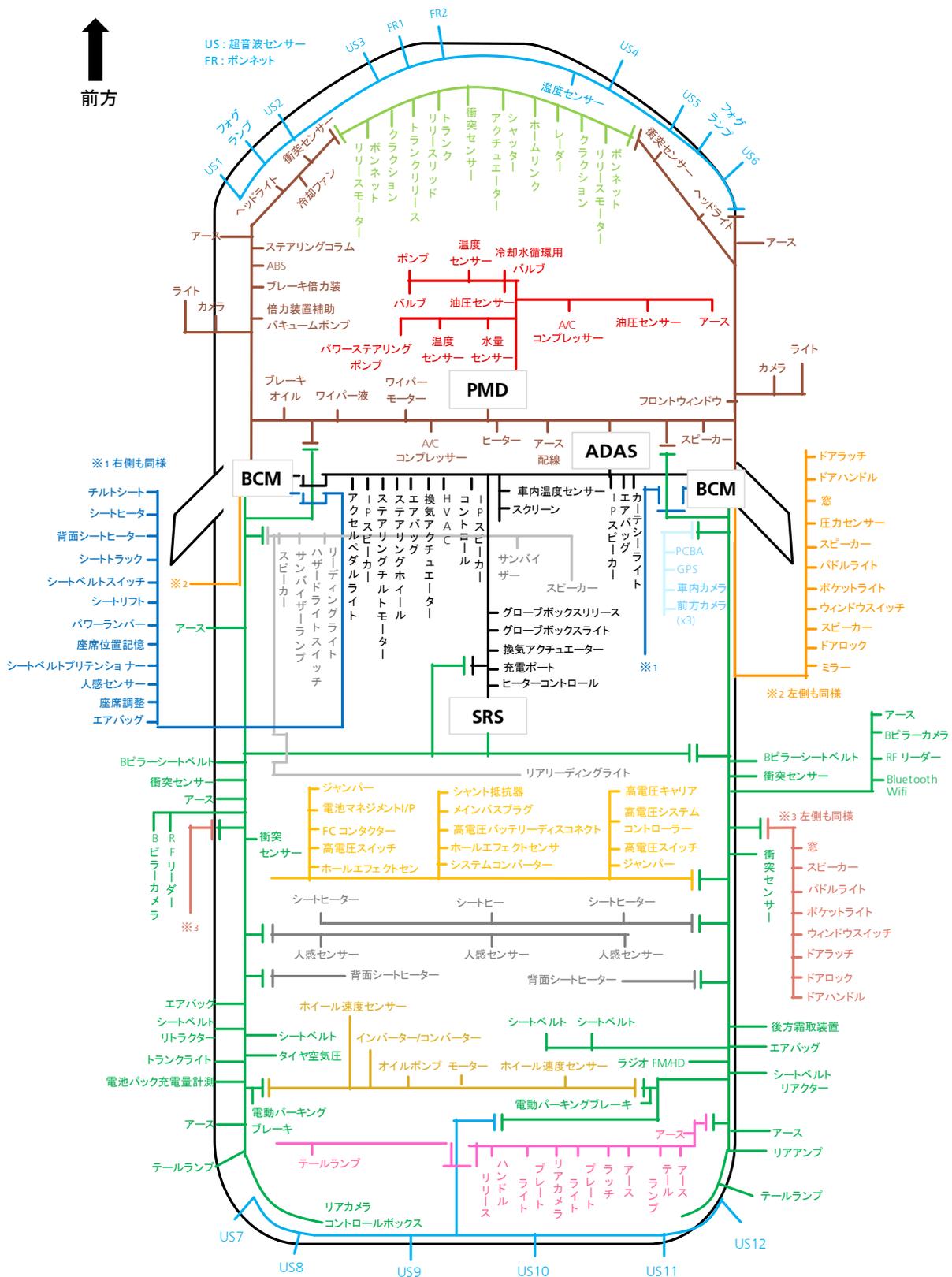
ドメインコントロール

Model3 の車体分解から電子機器が 200 個以上も見つかっており (図表 5)、これら全ての状況を詳細に把握・制御できる点が判明した。ドライバーがディスプレイ上で制御する機能はほんの一部で、実際にはもっと細かく制御できると我々は考える。

しかし搭載されている電子機器は 200 個を超えている

全ての電子機器部品の状態把握が出来ている一例として、保守サービスがある。前方ミラーなどの電子機器に不具合が起こった場合に、テスラの保守部隊は物理的に車両を確保する前から、故障部品がどのような状況にあるかをデータセンター側で把握する。そして準備して、実際に保守サービスを実行する。

図表 5: 低圧帯での接続機器俯瞰図

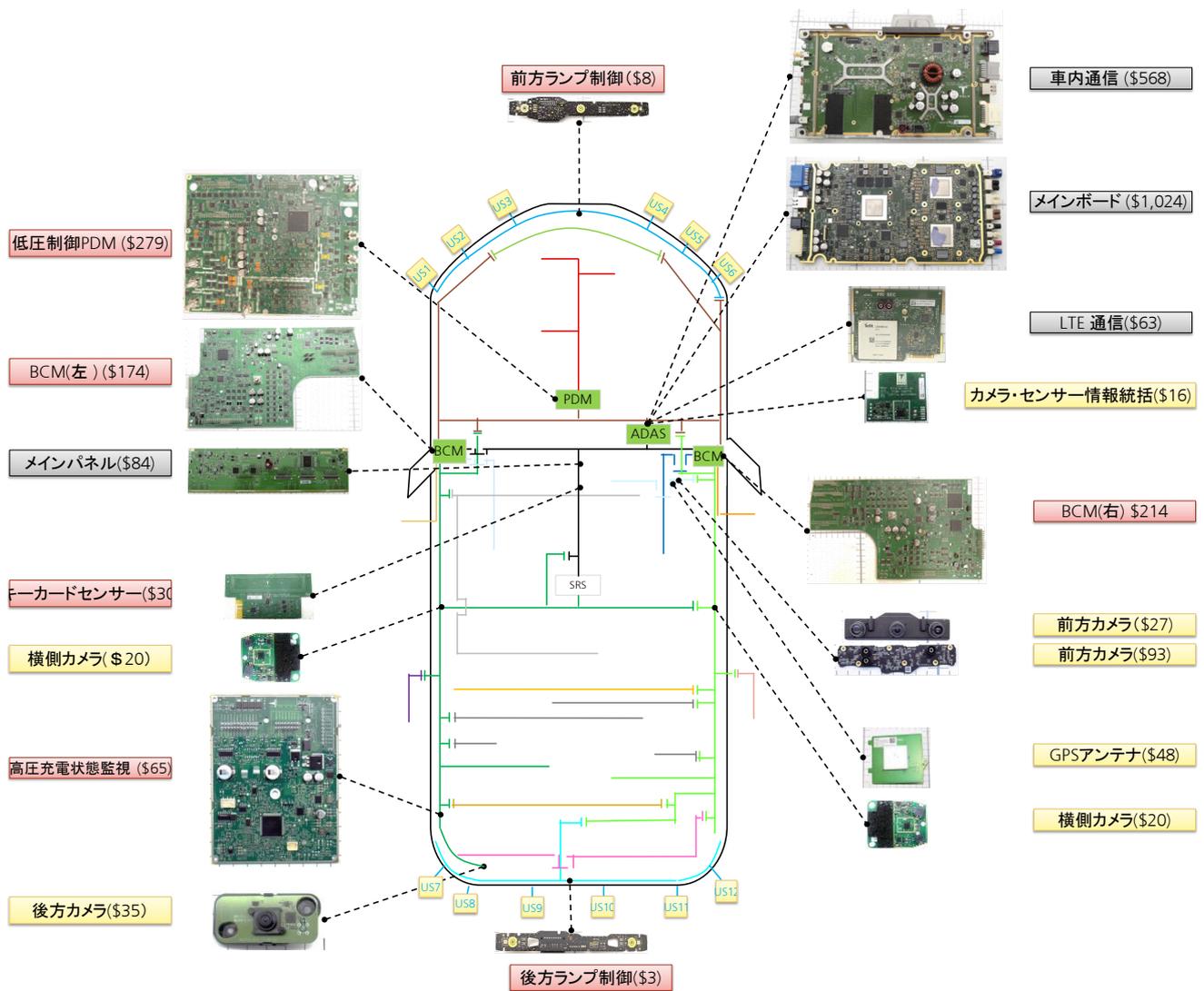


出所 : UBS Evidence Lab

図表 5 の 200 を超える電子機器を、一体どのように制御しているのだろうか？ Model3 では、多数の機器を大枠にまとめる「ドメイン制御」が採用されている。図表 5 中に含まれている電子基板だけを図表 6 で示し、機能別に色分けした。黒文字は ADAS 系、赤文字が制御系、黄文字がセンサー基板である。制御基盤は 4 つで、(1) 低圧制御 PDM、(2) BCM(左)、(3) BCM(右)、(4) バッテリーの高圧充電状態監視、である。特に PDM と左右の BCM 基盤で、殆どの機器を監視・制御している。この様な一括管理の仕組みを取り入れ、重要部分でソフトとハードを自社開発している。そしてあらゆるデータを吸い上げて、このデータを「情報」に変えて運転者に提供するシステムになっていると見られる。

制御基板はたったの 3 つに集約されている

図表 6: 低圧帯での接続ボード(黒: ADAS、赤: 制御、黄色: センサー)



出所: UBS Evidence Lab

少ない部品、高度な技術

従来型の車載設計は、部品モジュールを組合せるのが中心であった。それぞれのモジュールが独立に設計され、各々に制御ソフトと半導体が搭載されていた。このため機能が追加される毎に、電気的制御を司る MCU の数が劇的に増加した (MCU : Micro Controller Unit、別名 : マイコン)。

現在の平均的な車には約 40 個の MCU が搭載されており、10 年前の 30 個から増加した。更に高級車では、MCU が 100 個を超えている例もある。これらの複数のシステムは車内通信バス (CAN や LIN) を通して接続可能である。しかし現実には、一旦製品が出荷されると MCU にインストールされたソフトを更新したり、100 を超える MCU 全てを精緻に管理したりするのは難しい。このため所謂ドメイン制御、複数機能をまとめたサブシステムを制御して車全体を管理する考え方に移行する動きが明確化している。

ドメイン集中制御により、高級車の MCU 搭載数が大幅に減少する可能性がある。現在の 100 以上から、Level2/3 の ADAS で 60~80 個に、Level4/5 では 20~45 個にまで減少しよう。このトレンドを後押しする要因が二つあり、(1) 自動車 OEM 企業がソフトの煩雑さを削減するために 16bit-MCU 数を削減して主だった MCU 供給社への依存度を上げる、(2) 自動車 OEM 各社はドメイン制御の仕組みを採用する、方向性にある。

集中制御化で MCU の搭載数量が減少する方向性にあるが、残る MCU はより多くの演算量や制御を負担することになる。このため安全性を担保するため、マルチコア化へのシフトが起こると予想される。そしてボディや、シャーシ、インフォテインメントでの MCU 数は削減される方向となろう。その一方で、エアバッグバッグなど安全性が求められるシステムではデータ遅延が許されないため、従来通りの MCU 搭載数量は大きく変わらないと予想される。

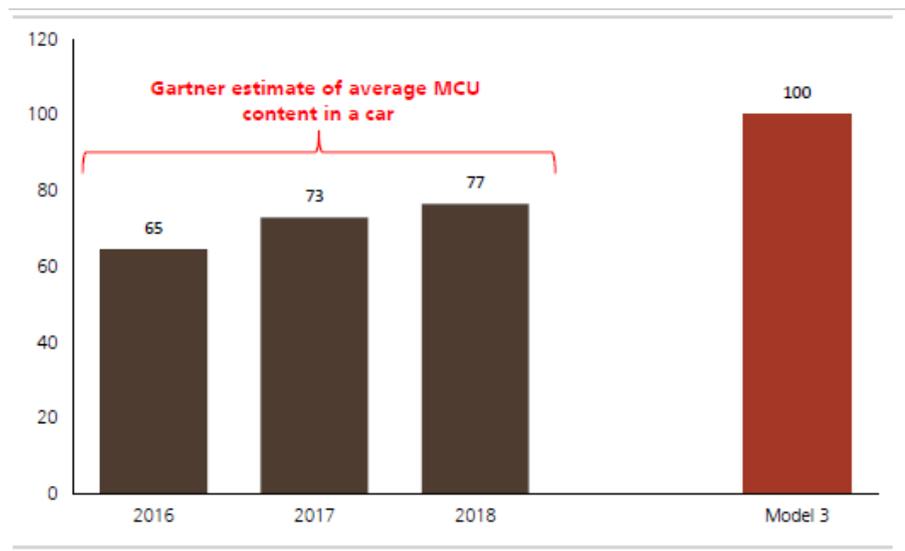
従来型設計はパーツの組み合わせ

従来型の設計では、高級車に MCU が 100 個以上

ドメイン集中制御導入加速で、MCU 搭載数量は減少に向かう

MCU 市場は数量↓単価↑で、高機能化が進みそう

図表 7: MCU 搭載金額(\$)



出所 : Gartner, UBS

ドメイン分割での集中制御システムを採用している Model3 の分解分析を例にとると、MCU の数量減少を確認出来る。残念ながら Chevy Bolt の分解では ADAS とパワートレイン部分だけに留まっているため直接の比較はできないが、Model3 の MCU 搭載金額は約\$100 と推察される。今回分解できなかったが RADAR 部分などを含めると、もう少し増える可能性もある。更に Model3 では、32bit-MCU が殆どを占めており、8/16bit-MCU は少なかった。

Model3 で確認出来た MCU は\$100

バッテリーマネジメントシステム (BMS)

電気自動車製品コストのうちバッテリー比率が最大であるため、1kWh で走れる航続距離はコストに直結する重要指標である。航続距離改善のために従来とられていた工夫は、車体の空気抵抗を減らしたり、車両重量を削減したりするのが中心であった。

パワートレインの効率

UBS では、電気自動車のパワートレインの効率を分析するモデルを作成した。端的に述べるなら、この効率指標は充電ステーションで送り込まれて充填された電子が、車の加速のためにどれくらい消費されているかを示す。電力損失は充電ボード、伝送ケーブル、インバーター、モーター、ギアボックス、等で発生する。

効率測定モデル

学術的に標準モデルとして知られている公式に航続距離とバッテリー容量をあてはめて指標を試算した(図表 9)。この公式の変数には、車体の形、重量、タイヤの大きさなど、航続距離に影響を与えるあらゆる変数が含まれており、指標値が高い程、良い車と言える。

Battery to wheel レシオは、車両重量と空気抵抗を除いた内部設計でのエネルギー効率を示す

変数にはエネルギーを消費する要因を大きく 4 つに分け、1) 摩擦抵抗、2) 回転抵抗、3) 地形、4) 内部効率、としている。重量削減は 2)、3) の改善に繋がり、エネルギー密度あるいは先進的バッテリーパック設計が重量削減に寄与する。エアロダイナミクスは 1) に影響する。最先端のパワーエレクトロニクスが 4) に繋がる。

変数は 4 つ

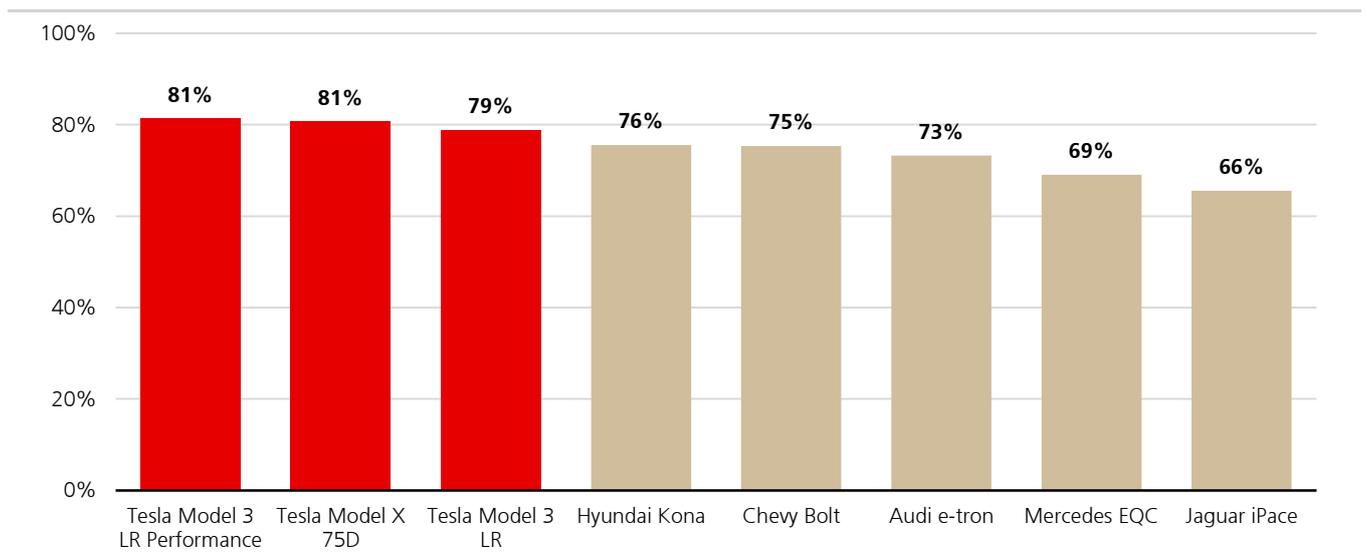
この公式を単純化して説明できる点は、kWh 当たりの航続距離は先述の 4 項目の組み合わせから試算され、車の形、車の重量、内部設計(Battery to wheel)で決まると言える。例えば Model3 の例では、空気抵抗係数ではわずか 0.23 を実現しており、ガソリン車を含めても新しい業界標準となっている。さらにテスラは車両重量にたいするバッテリー容量が最も多い車となっており、車体重量の軽さが強みとなっている。

一定距離を走行するために必要なエネルギー量(kWh)を示す

それでは内部設計 Battery to wheel が優れているかどうかは、どのように分かるであろうか? UBS では、Model3 と、アウディの E-Tron、メルセデス EQC、現代自動車 Kona EV と最近のガソリン車としてジャガー I-Pace、既に販売開始から 3 年が経っている Modex と比較した。その結果(図表 8) Model3 が最も効率が高い点が判明した。この差異が、何処から来ているのかは明確には分からないが、Model3 の分解からインバーターに [SiC](#) が搭載されたり、[e-Motor の設計](#) に独自技術を採用したりしている。これとは別にアウディの e-Tron でも、メルセデスやジャガーと比べて高い指標となっており、回生エネルギーを効率よく回収できるブレーキシステムの特性を確認出来た。

テスラは業界最高の効率を達成している

図表 8: 内部設計 (Battery to wheel) 効率の差異 (高い程良い)



出所: UBS

図表 9: Battery to wheel 指標の計算式

$$E_p = \left[\frac{\left(\frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v_{rms}^3 + C_{rr} \cdot W_T \cdot g \cdot v + t_f \cdot W_T \cdot g \cdot v \cdot Z \right)}{n_{bw}} + \frac{1}{2} W_t \cdot v \cdot a \left(\frac{1}{\eta_{bw}} - \eta_{bw} \cdot \eta_{brk} \right) \right] \left(\frac{D}{v} \right)$$

ρ = 空気密度 ($\frac{kg}{m^3}$)

g = 重力 ($\frac{m}{s^2}$)

A = 車体の前方面積 (m^2)

n_{bw} = 内部設計効率 (Battery to wheel)

n_{brk} = ブレーキ効率

C_d = 空気抵抗係数

C_{rr} = タイヤの転がり抵抗

W_T = 空車重量と乗客 (70kg) 二人の重量

v_{rms} = 速度の二重平均平方根 ($\frac{m}{s}$)

v = 平均速度 ($\frac{m}{s}$)

Z = 道路勾配 ($\frac{r}{100}$)

t_f = 道路勾配%

a = 加速・減速度の平均 ($\frac{m}{s^2}$)

D = 走行可能距離 (m)

E_p = バッテリー容量 (kWh)

出所: UBS

自動車の高機能が進めば、電力を消費する装置が増える。電気自動車は、システム全体でバッテリー容量 60～100kWh を共有する。電力消費は、車の動力源であるモーターだけではなく、車内で快適に過ごすためのエアコン・シートヒーター、安全性を高めるセンサー、自動運転機能での画像認識など複数に渡る。例えば Model3 の連続航続距離は、高速道路で 476km、街中で 513km とされている。時速 60km/h の走行をイメージすると、約 8 時間で 75kWh のバッテリー容量を使い果たす試算となる。

電力を分け合う

Model3 のモーター以外の電力消費は 1,400～3,000kWh もあると概算される。その内訳は以下の 6 項目で示した通りである。8 時間走行を想定すれば 75kWh のうち 11～24kWh も消費すると試算される。そして駆動モーターで消費される電力量は 50～65kWh と逆算される。駆動モーターでの電力消費量は、加速抵抗、空気抵抗、勾配抵抗、転がり抵抗の 4 つ予想から試算できる。そしてこれら 4 項目すべてが自重と比例するため Model3 の自重 1,730kg (=3,814kg) に乗客の重さだけ、例えば二人で 120kg とすれば、7%分だけ消費するエネルギーが増加する。

駆動モーター以外の電力消費は 20～40%も占める

高圧帯 300V

駆動モーター	車両・搭載重量に比例増加する
エアコン	200～300W
シートヒーター	今回は含めない

12V 低圧帯

一般機器	500～1,500W
ADAS	250～500W
センサー機器その他	400～750W

テスラのバッテリー寿命は長い

既に販売されている電気自動車の中でテスラのバッテリー特性実績は素晴らしく良い。特にバッテリー劣化が遅い点においてその違いは顕著である。通常の電気自動車は 4～5 年も乗れば、バッテリー容量は購入時の 80%以下となり、これに伴い連続航続距離も低下する例が殆どである。一方でテスラの実績では、20 万～30 万キロ走行したり、4～5 年走行したりしても、バッテリー容量は購入時から 90%以上を維持出来ている例が殆どである。この電気容量保持特性がテスラの差別化要因の一つとなっている。

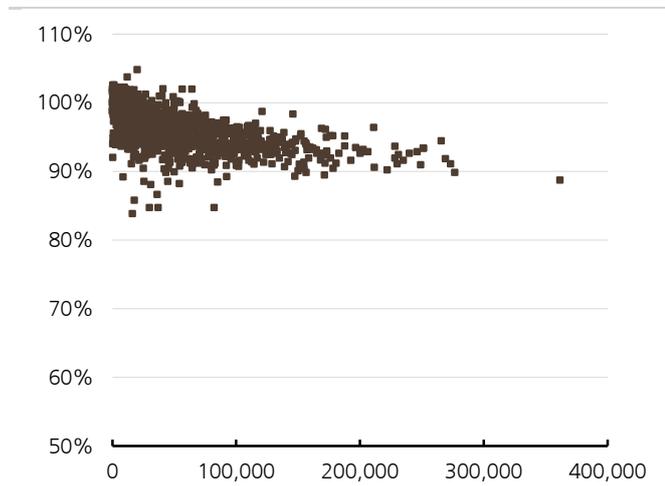
5年使っても、バッテリー容量は購入時の 90%を維持出来ている

図表 10、11 は、テスラ(殆どが Model S)の保有者が集まり、走行データやバッテリー残量を自発的に集計したものである。図表 10 は横軸に累積距離を取り、縦軸にバッテリー容量の変化を示したものである。購入時を 100%として 10 万 km に到達するまでに 90～95%に低下するが、それ以降 20～30 万 km に延びても、90%以上を維持出来ている。図表 11 は同様のデータで、

ユーザーが自発的にデータを集計している

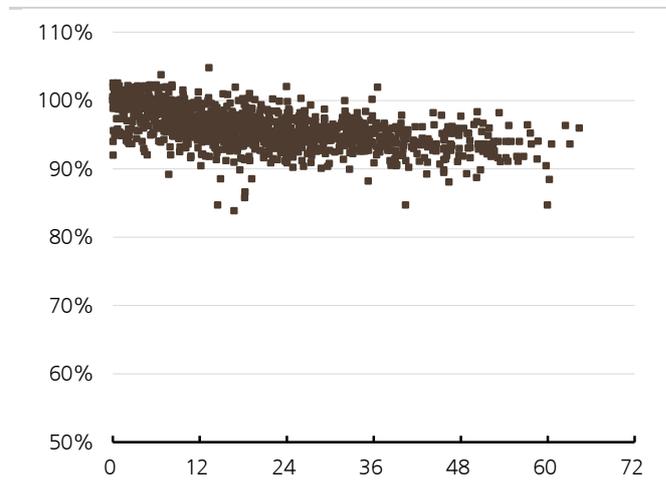
購入から何年経過したかでバッテリーの容量変化を示したものである。こちらを見てもほぼ一直線に低下してはいるものの、低下するスピードは緩やかである。

図表 10: 累積航続距離(X軸:km)とバッテリー容量(Y軸:購入時100%基準)



出所: Dutch-Belgium Tesla Forum サイトから UBS 作成

図表 11: 購入後時間(X軸:月数)とバッテリー容量(Y軸:購入時100%基準)



出所: Dutch-Belgium Tesla Forum サイトから UBS 作成

バッテリー劣化速度の違いは、単にバッテリーの素材特性や品質だけでは説明できず、バッテリーを制御するシステム全体での優位性に起因すると我々は考える。今回の Model 3 の分解から、この差を生んでいる要因として考えられるものは、(1) ビッグデータを最大限生かしたバッテリー制御システム、(2) バッテリーを制御しやすくするためのバッテリーモジュールの組み方、(3) 自社で重要部品・重要ソフトを開発する、等があると我々は考える。

テスラのバッテリーの特徴は、小さい丸型のバッテリーを多数敷き詰めている点にある。統計データを基に特性が微妙に異なる丸型バッテリーを、ソフトウェアで細かく制御して、システム全体として均質な挙動になるように設計されている。今回分解した Model 3 では、バッテリーが 4,416 個搭載されている。このバッテリーの数量が多い設計がテスラの強みに繋がっていると推察される。小さいバッテリーを多数組み合わせる利点は、(1) システム全体としてバッテリー特性が安定しやすくなる、(2) 将来的な設計や材料変更へ柔軟に対応できる、(3) 材料特性のマイナス点を補完できる、等が想定される。

テスラのバッテリー制御システムの設計は、ビッグデータを最大限活用する思想が反映されている点が、先駆的であると我々は考える。テスラ型の設計思想は「間違いを受け容れる」ものである。同じ部品を多数搭載するシステムで、誤差や不良が同じ確率で発生する前提に設計され、この不良の影響が小さくなる様に、または不良自体のばらつきが小さくなる様に工夫される。これに対して従来型の設計思想は「間違いを許さない」もので

バッテリー単体ではなく、システム全体として優れている

無数の小さいバッテリーを搭載している

「不良を排除する」のではなく「不良を受け容れて」発生確率を一定に揃える哲学

ある。これまでの自動車企業や製造業の哲学では、この不良確率を限界まで削減するのが追及される傾向が強かった。

個数が多いと制御するのが大変そうに見えるかもしれない。しかし、統計学的にはバラつきを抑えられる結果となりやすい。例えば極端に電圧が低くなる不良バッテリーが、生産品質の問題から 1%の確率で含まれるとする（この不良率を 0%まで目指すのが従来型のビジネスモデルと言える）。バッテリーが 10 個と少ないシステムを考えた場合、10 システムで 100 個のバッテリーが使われる。9 システムでは問題がないが、不良品を含むシステムは 10 個のうち 1 個が不良で 10%分の致命的な問題を抱える。万が一不良バッテリーが 2 個も含まれてしまえば、問題はさらに深刻である。一方でバッテリーが 1,000 個と多数のバッテリーを含むシステムの場合は、各システムで不良品が 1%、約 10 個含まれることが設計上で既に前提となる。これが 9 個でも 11 個でも、全体から見れば 0.1%の誤差に留まる。先ほどの 10 個のシステムが 1 個の変化で大きな影響を受けるのと比べて、多数のシステムの方が安全性を確保しやすい。更に先ほど 10 個のシステムのように 10%程の影響が、1,000 個のシステムで出るには、不良品 100 個が含まれる必要がある。

この「同じ確率」の発生条件や相関関係を見つけ出すのが深層学習で、その相関関係を基に確率統計に基づいて正解に最も近い判断するのが AI である。バッテリーは、エネルギーを充填したり、放出したりする化学反応と物理法則を利用したデバイスである。そして化学反応や物理法則の正しさは、統計学的な実験データから証明されている。テスラが志向しているバッテリー制御システムが、今後のバッテリー制御システムの将来像を示している可能性は、十分に高いと我々は考える。

数が多い程バラつきは小さくなる

バラつき抑制の考え方が、深層学習と相性が良い

Model3 の BMS

Model3 では、バッテリー制御 (BMS) により 4,416 本のバッテリー全ての状態把握が可能となっている。具体的に計測されているのは、電流、電圧、充電量、温度、フル充電時の容量などがリアルタイムで計測可能、もしくはモデル化されて計測されている。これらのデータを集積して「情報」に加工し、バッテリー残量、現速度での航続距離と残り時間、目的地までに何処で充電するかを運転ルート推奨、次のスーパーチャージャーまでの距離、外気温も含めて試算したフル充電時間を含めた到着時間、をドライバーに提供できる。

データを情報にする仕組み

Model3 バッテリー制御 (BMS) での物理的特徴は下記の五つ。

- (1) 一つ当たりの容量が大きいラミネート型バッテリーではなく、小さい容量のバッテリーを 4,416 個も組み合わせることで 75kWh のシステムを形成している
- (2) 細かく制御するために重要になる半導体とソフトを自社設計している
- (3) 直列接続で重要なセルバランスを二段階で実行している

- (4) 相対的に燃えやすい弱点をもつ NCA バッテリーを、熱伝導性の低い材料で覆ったり、温度計を組み込んだりして、弱点を補っている。
- (5) 走行データ、充電データ、バッテリーの温度データ、バッテリーの容量変化データ、などバッテリー制御のインフラ全てに関して情報を蓄積できる

本稿巻末に、BMS やバッテリーセルの詳細分析を、捕捉資料に掲載している。

これらの特徴での利点は下記の通り

- (1) 通常は購入後 3~4 年で、電気容量は購入時の 80%以下に低下するが、テスラは 90%以上を維持出来ている。劣化スピードも遅い。
- (2) 不良バッテリーが「ある程度含まれる」前提で元々設計されており、不良品による影響が小さい。従来のように間違いを「許さない」設計ではなく「受け入れる」システムで、リスク許容度が高い
- (3) 同じバッテリーの異なる組み合わせで、セダン、トラック、スポーツカー、SUV など異なる特性の車に対応できる。
- (4) NCA バッテリーは燃えやすい材料であるが、ビッグデータを活用すれば、金属析出したり、温度が上がったりしにくい利用環境を整えられる。更には通常のとられる安全マージンを小さくして、同じ容量のバッテリーでも限界ぎりぎりまで容量を高められる
- (5) 全固体バッテリーの採用では「セルバランシング」技術での差別化が重要となる。Model 3 で採用している、自社設計の制御 IC とソフト、更には二段階でのセルバランシング制御、などの技術が今後差別化要因と成る可能性がある。
- (6) 細かい制御を実現しているハードとソフトを自社開発しているため、市場変化に対応しやすい。自動車 OEM 競合が、ソフト会社や半導体会社に外部委託しているのに対して、変化の規模とスピードへの対応で優位であろう。

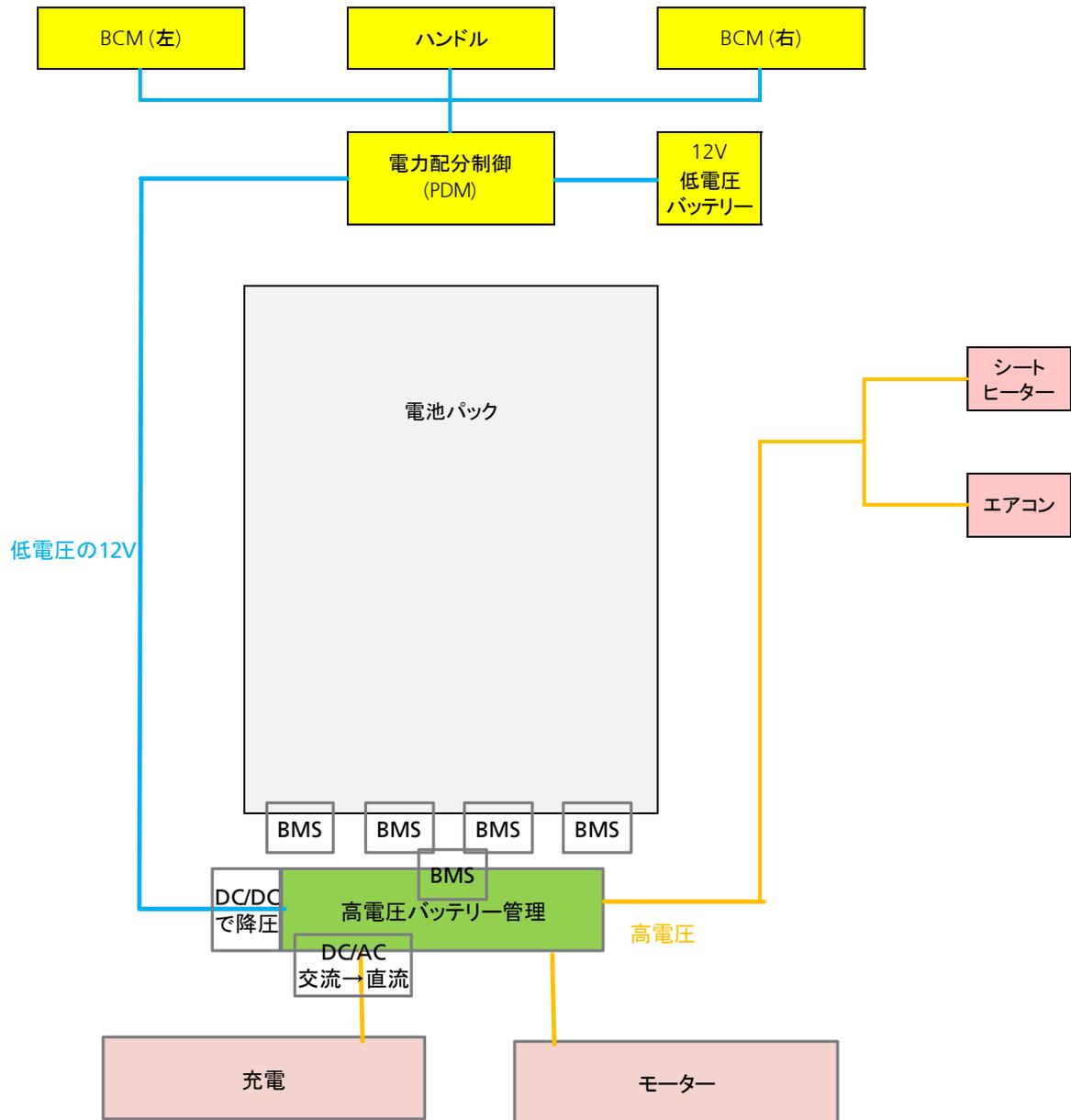
今回の分解分析から電圧制御は大きく二分野に分けられる。一つ目は BMS から直接に接続されている 300V 以上の高圧帯で、図表 12 中でオレンジ色の配線・赤色の機器で示されている。300V 以上の高圧帯に接続されている部品は単純で、(1) 車の動力源となるモーター、(2) エアコンのコンプレッサー部分(送風するためのファンは高圧帯ではない)、(3) 座席のヒーター、の 3 つである。例えばエアコンのコンプレッサーの消費電力は、急激に温めたり冷やしたりすると最大 3,000~7,000W も消費する。連続走行では常に稼働するわけではなく、平均的では 200~300W 程度。座席ヒーターは使い方に依存するため、今回の試算には含めない。

高圧帯ではエアコンのヒートポンプが主体

二つ目は DC/DC インバーターで 300→12V に降圧された低圧帯で、図表中では青色の配線・黄色の機器群で構成される。高圧帯がシンプルであった一方で、低圧配線は接続機器数が多く、今回の分解分析から実に 204 もの機器が接続されていた(図表 5)。自動運転機能などを具備していない必要最低限の機能に絞った電気自動車であれば、電力を消費するのは主に 20 機器ぐらいで電力消費量は 500~1,500W と試算される。自動車部品会社 Advance が開示している、主要な車載電子機器の消費電力量の平均値を図表 13、14 に示している。ランプ、エアコン、オーディオ、カーナビ等全ての機器が常時オンと成っているわけではなく、夜間・昼間、天候状況、乗客数、等に左右される。それでも夜間であれば 500~750W、さらに冬となれば 1,100~1,500W が消費される。エアコンの消費電力が大きいのが、ここで示されているのはコンプレッサーを含まない、送風する部分だけで消費される電力である点を注記する。

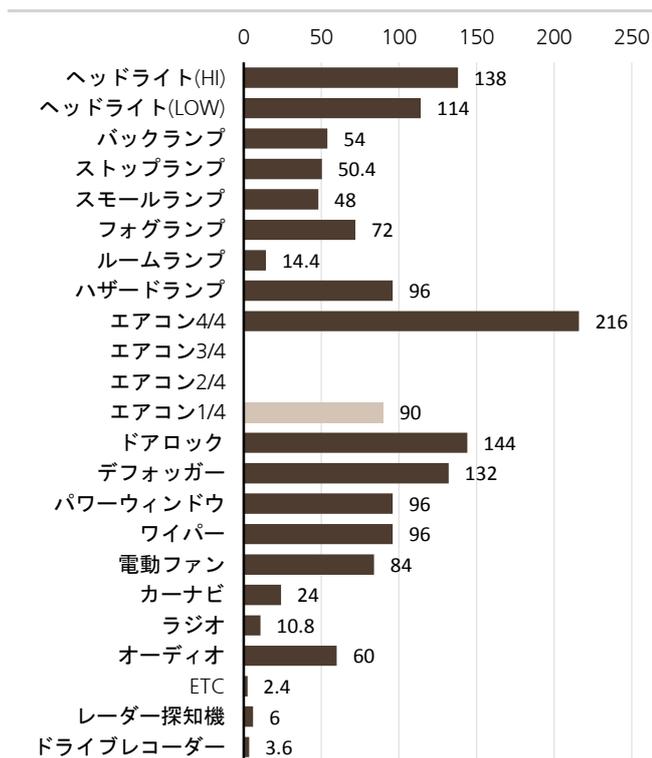
低圧帯では実に 204 個の機器が接続されており少しずつ電力を消費している

図表 12: 高圧帯と低圧帯での電力接続俯瞰図



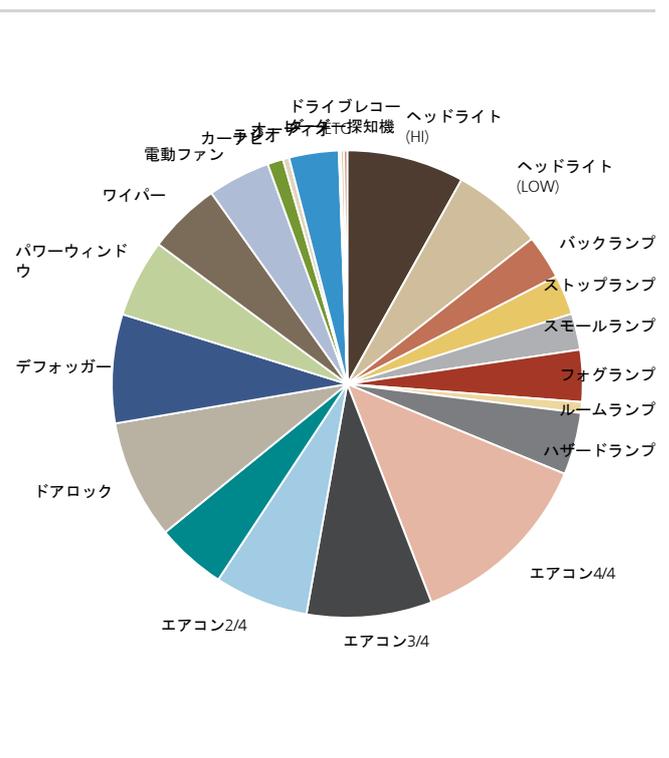
出所 : UBS

図表 13: 車載機器の電力消費量 (W)



出所: Advance、UBS

図表 14: 車載機器の電力消費量比率

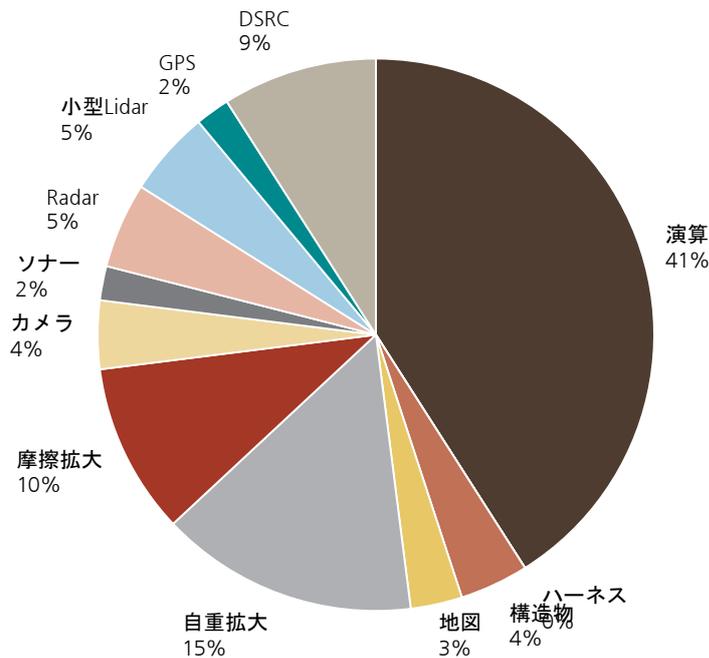


出所: Advance、UBS

Model 3 に搭載されている Nvidia の Driver PX2 は、消費電力は 250~500W と、画像認識・運転判断演算だけでこれ程大きな電力を消費する。更に Nvidia の画像処理分野だけではなく、画像センサー、カーナビ機能、各製品の自動制御などを考慮する必要がある。今回の分解分析では、全ての搭載機器の電力消費量を測定するには至らなかった。しかしミシガン大学の試算では(図表 15)、ADAS 実現に必要な電力は演算装置だけで 41%と試算されている。この試算を活用すると、Driver PX2 の 250~500W を基準にして、センサーなどの周辺機器は 400~750W と試算される。

ADAS システムとしての電力消費削減が今後の目標へ

図表 15: 電力消費量のイメージ



出所： ミシガン大学

BMS は垂直統合での開発が重要に

EV バッテリー開発での差別化要因は、垂直統合型での開発力となる。バッテリー単体だけではなく、システム全体での能力を最大限引き出す全体最適設計が求められるからである。バッテリーを構成する陽極・陰極・電解液の材料組成を変化させることで、様々な異なるバッテリー特性が発揮される。しかし「完璧な」バッテリーは存在していない。このため使えるバッテリーの殆どが、安全性を重視すればエネルギー密度が下がったり、重量を重視すればコストが高くなったりするため、必ず容量・安全性・重さ・電圧/電流密度・コスト等の間で取捨選択するトレードオフが発生する。この結果、システム全体で優先した特性を最大限引き出し、一方で優先順位を低くした犠牲となった特性を補完する全体最適型の設計が求められると我々は考える。

システム全体での最適化が大事

Model 3 の分解結果から、そのバッテリー制御(BMS)の特徴は深層学習・AIを最大限活用する設計にあると我々は考える。細かいバッテリーを多数搭載しておき、実際の走行データからビッグデータを獲得して、深層学習で強化されたAIでバッテリー制御アルゴリズムを強化していると推察される。その結果、テスラのバッテリー寿命は相対的に長くなっている。現在のEV普及への課題の一つが航続距離であり、ここで差別化に成功している。この背景には、先駆的な設計思想を導入した同社の強みが見える。他の自動車OEM各社が、今度同じような設計思想を導入する可能性は十分にあらう。

ビッグデータ解析が有効

バッテリーセルだけに留まらず、バッテリーを含めたパワートレイン全体の関連部品の大半を独自開発している。具体的には、制御ソフト、主要マイコン設計、冷却システム、インバーター、電気モーター、監視ボード、バッテリーの形状・材料選定などである。図表 16 で各社の自社設計比率を比較した。テスラの内製比率の高さは、一目瞭然であろう。

パワートレインの大半を自社設計

図表 16: バッテリーシステムの内製・外注比較

	Battery Cap (kWh)	Battery Cells	Battery Pack	BMS	Charger	Power Distribution	DC-DC Converter	Inverter	E-Motor	Gearbox	Cooling
Tesla Model 3 (2017) LR	75	Panasonic									Various
Tesla Model S (2013) 100D	90	Panasonic									Various
BMW i3 (2014) Ext Range	22	Samsung SDI		Preh	N/A	N/A		N/A			Various
Nissan Leaf (2017) LR	40	AESC	AESC	Calsonic Kansei	Panasonic	N/A	N/A	Calsonic Kansei		Aichi Machine	N/A
Chevy Bolt (2017)	60	LG Chem	LG Chem	LG Innotek/LG Chem	Various	LG Innotek/LG Chem	LG Innotek/LG Chem	LG Innotek/LG Chem	LG Electronics	LG Electronics	Various
BYD E6 LR (2016)	75									N/A	
Hyundai Kona Electric	64	LG Chem	HL Green Power*	Hyundai Mobis	Hyundai Mobis	N/A	Hyundai Mobis	Hyundai Mobis	Hyundai Mobis	N/A	N/A
Kia Niro EV	64	SK Innovation	HL Green Power*	Hyundai Mobis	Hyundai Mobis	N/A	Hyundai Mobis	Hyundai Mobis	Hyundai Mobis	N/A	N/A

External
In-house

出所： 各社資料、UBS

(ビッグ) データ集積で何ができるか？

自動車に搭載されている電子機器からのデータを集めて、どのような新機能を実現出来るであろうか？自動運転以外で考えられるものは二つあり、(1) 単なる「データ」を意味のある「情報」に転換する、(2) 膨大なデータ集積から機械学習による全体最適で走行性能を改善させる、などである。データ集積で実現可能な技術と言われて最初に思いつくのは、自動運転の精度向上であろう。昨今の機械学習技術は、膨大なデータから統計学的なパターンを見出す。データが集まれば集まるほどそのパターン認識の精度が高まるため、自動運転の精度も高まる。しかしこの点は既に数多くの有識者が議論をしているため、本稿では深く議論しない。

データを情報に変える

全体最適で運転効率を上げる

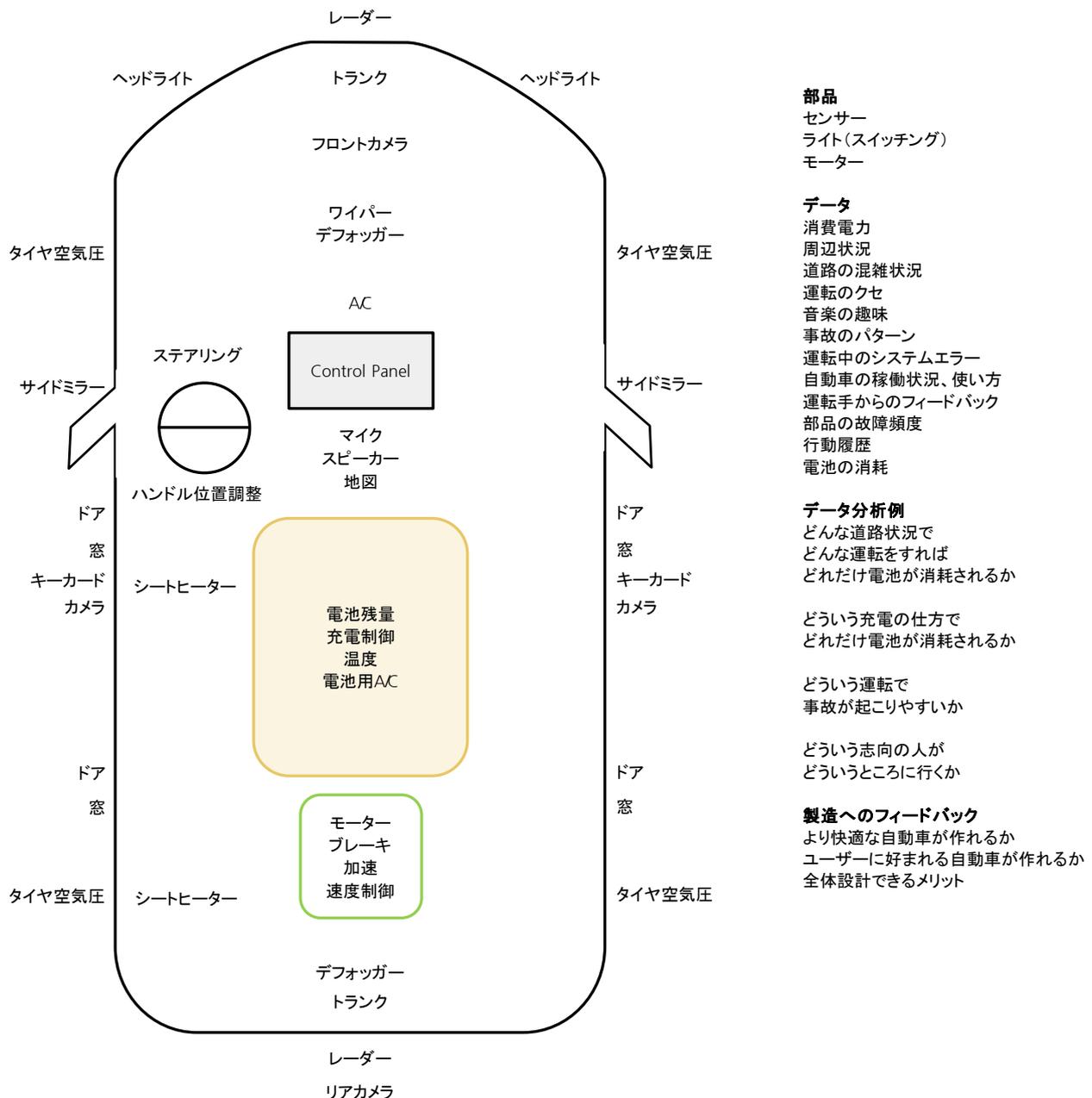
「データ」から「情報」への転換で、実現出来そうな例を図表 17 で列挙した。具体的には、運転者の性格特性を学習して運転上の安全性を高めたり、部品が壊れる前に交換したり、事故の過去事例から危険を回避したり出来るであろう。更にはバッテリー消耗を極力抑制するためには、カーブの曲がり方、ブレーキの掛け方、渋滞での速度を一定に保つ、車線変更、空気抵抗削減のために大型トラックの後方追尾を優先する、など細かい調整が可能となる。更には GPS の位置情報を使えば、天候、渋滞状況、近くの電気ステーションまでの距離、残っているバッテリー残量などから、快適な走行ルート設定も可能となる。これらの組み合わせで「楽しい運転」が実現出来る。

データを組み合わせれば「楽しい運転」を実現できる

データ集積により走行性能を改善させている例が、今回の分解分析からも明らかとなっている。具体的には、バッテリーの効率利用(出来るだけ消費しないように工夫する)、バッテリーの長寿命化(出来るだけ劣化しないようにする)、バッテリーの温度制御(出来るだけバッテリーが良い環境で使用される)について、興味深い発見があった。これらの点を以下で詳細説明するが、大枠での内容は下記の通りである。

細かい工夫の積み重ねでシステム全体の機能を向上させる

図表 17: データ集積で実現出来そうな「機能」一覧



出所 : UBS Evidence Lab

シンプルなソフトを搭載した複雑な車から、複雑なソフトを搭載したシンプルな車へ

テスラは、ソフトウェアを頻繁にアップデートすることで機能が「成長する」仕組みを実現している。Autopilot 機能が日々進化している点は、周知であろう。しかし機能成長はこれだけに留まらず、寒冷地でドアノブが出てこなくなる不具合を修正したり、入力デバイスのレバーがより直感的な操作に変更されたり、納車以降も柔軟な変更が実行される。テスラの捉え方を「電気自動車」として捉えるのではなく、「運転が楽しい車」として捉えると、この様なソフト的な技術や設計思想が重要になると我々は考える。さらに自動運転や電気自動車が増えてくると、運転する体験そのものが変化する可能性がある。正確に言うと運転する時間が減少し、「移動する」体験に変化する可能性である。これこそがトヨタが説明している MaaS (Mobility as a service) の一側面と我々は考える。

「機能を成長させる」ソフトの力がより重要に

そしてこれらの変化を実現するためには、ソフトがより重要になると我々は考える。従来型の「複雑な車と単純なソフト」から、「単純な車と複雑なソフト」の時代に移行しよう。単機能部品を詰め込んだシステムから、安くて単純なセンサーと actuator をソフトで制御するシステムに移行する。これら全てを連携させて「最高の移動体験」を提供できる会社が、相対優位となる。そしてソフトウェアへの依存が情報する近未来には、半導体や大規模なデータセンター技術やクラウド活用が差別化要因となる。

強いソフトの実現に、半導体・クラウド・データセンターが重要に

OS/アプリ

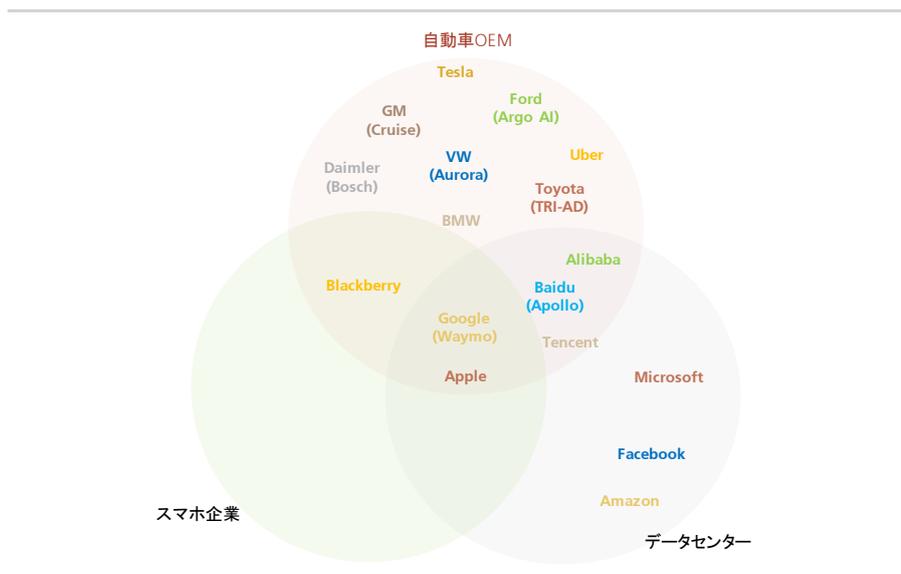
車は部品点数が多い。これらの複数部品を効率よく運用する OS がより重要になろう。電気自動車になれば使用できるエネルギー量に制限があるため、エネルギー効率の高い制御も必要なる。ハードを効率的に使いながら、異なるアプリを複数同時に効率よく動かす役割が OS である。将来的には、データセンター、車体、スマホで、共通 OS を構築出来れば、リアルタイム処理などで優位性を発揮できる可能性が高い。

OS がコア

自動車向けの OS 開発は百花繚乱の状態、あらゆる産業から参入社が出てきている。この状況からも、如何に OS が重要かを伺えよう。例えば自動車 OEM 企業では、トヨタ、GM Cruise、Daimler、BMW、Ford、VW が、クラウド企業では Google (Waymo)、Baidu、Tencent、Uber である。更に単独開発に留まらない提携関係も広がっている。この関係は社数が多い上に重複しているため、図表を参照されたい(図表 18、19)。

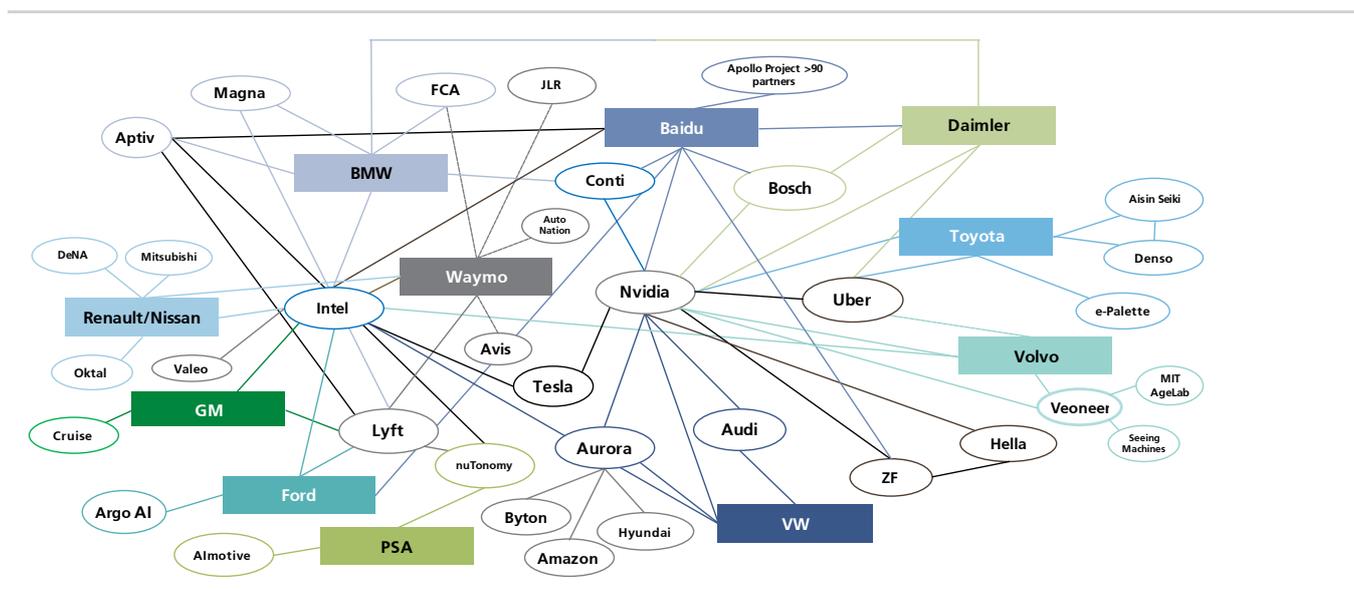
各社 OS 開発を加速

図表 18: OS 開発の産業別分布



出所: UBS

図表 19: 各社の提携関係一覧



出所: UBS

半導体

先述の「機能を成長させる」仕組みを実現するためにはアプリ・OS が重要で、これをストレスなく実現する半導体も差別化要因となろう。今後 MaaS の形が標準化されて OS の統一化・標準化が進めば、半導体に求められる機能も標準化される可能性が高い。車載半導体市場の成長は継続するが、その一方で業界再編により給社数は減少に向かう可能性がある。現在の車向けの半導体主要者数は数が多い(図表 20)。現在のスマホ市場のように、3 種類の OS に対して主要デバイスの供給社数は 3~4 社に絞り込まれる可能性

ソフトを実現する半導体もより重要に

が車載半導体産業でもあろう。車載半導体で成長が期待される分野は 3 つで、(1) パワー半導体、(2) ADAS 向けの CPU/GPU、(3) 各種センサーなどのアナログデバイス、である。

図表 20: 自動車の業界地図 (2017 年)

車載	VW	ルノー 日産 三菱	トヨタ	GM	Hyundai KIA	Ford	Honda	FCA	PSA	Daimler	Others
OS	Apple / Google (Waymo) / Microsoft / Baidu / Alibaba				VW / Renault, Nissan, Mitsubishi / Toyota / GM / Daimler					Others	
半導体 \$40bn	Memory	Micron			Cypress	Samsung	Others				
	MCU	Renesas		NXP		Infineon	TI	STMicro	Microchip	Cypress	Others
	Logic	Others									
	Analog	TI		Analog Device		ON Semi	Maxim	Others			
	Discrete	Infineon	ON Semi	Renesas	Rohm	Nexperia	三菱	トヨタ	東芝	デンソー	Others
	Optro electronics	Osram		Sony	ON Semi	Lumileds	Nichia	Stanley	Others		
	Non-optical sensors	Infineon	Bosch		Sanken	NXP	デンソー	Others			
	ASIC	STMicro		ON Semi	Melexis	デンソー	Others				
ASSP	NXP	STMicro	TI	Infineon	Bosch	Renesas	Nvidia	Qualcomm	Others		

出所: Gartner、UBS

データセンター

データが大きくなれば、相応の処理と記憶の必要が生じる。規模面から見てもトップ 7 社が強い。具体的には Amazon、Microsoft、Google、Facebook、Alibaba、Tencents、Baidu である。これら 7 社合計でのサーバー購入金額は、全世界の約半分を占めると推察される。これらの会社はソフト技術力が高い。大量のサーバーを一括管理し、どのサーバーにどれくらいの処理を負擔させるか決めるソフト Hypervisor を自社設計している。この Hypervisor の性能差異が、ハードの利用効率に直結する。全世界に設置されているサーバーの稼働を監視し、稼働状況のビッグデータから深層学習を行い最適な運用アルゴリズムを適用する。

MaaS 普及時に重要となるソフト処理の大半で、クラウド企業は強い。自動運転で求められる認識・判断・制御に加えて、走行データ、事故情報、渋滞情報、位置情報、地図情報などのリアルタイム処理技術を有している。車とスマホ連携でも、技術的な障壁は少ないであろう。スマホのアプリの演算の一部は、データセンターが負擔しているからである。更には、画像認識 AI、音声認識 AI などのインターフェイス技術でも先行している。

クラウド企業のソフト力は圧倒的

このソフト力はデータセンター技術で支えられている

Alphabet のピチャイ CEO は、Google I/O 2017 基調講演で、機械学習に基づく AI が最も威力を発揮するのは、「画像認識」「自然言語認識」と説明している。画像認識技術は、自動運転での根幹となり得る要素で、自然言語認識では車のユーザーインターフェイスなり得えよう。

これらのハイパースケーラーの一部では、自社開発し多半導体を自社のデータセンターに搭載し始めている。Google は自社クラウドの機械学習ソフト TensorFlow 向け半導体 TPU を自社設計(生産は TSMC に外部委託)し、Alpha GO を開発した DeepMind 等のサービスでも活用している。Amazon は 2015 年にイスラエルの半導体設計会社 Annapurna Labs 社を買収した。そして独自開発した半導体を発表しており、ARM コア搭載の汎用演算向けに「AWS Graviton」、機械学習の推論用に「AWS Inferentia」を 2018 年 11 月から AWS のインスタンスに加えた。Microsoft は、全ての設計を完全に自社で行っているわけではないが、半導体の配線を自社で自由に設計できる FPGA を、自社検索エンジン Bing 向けで採用している。

半導体も自社設計し始めている

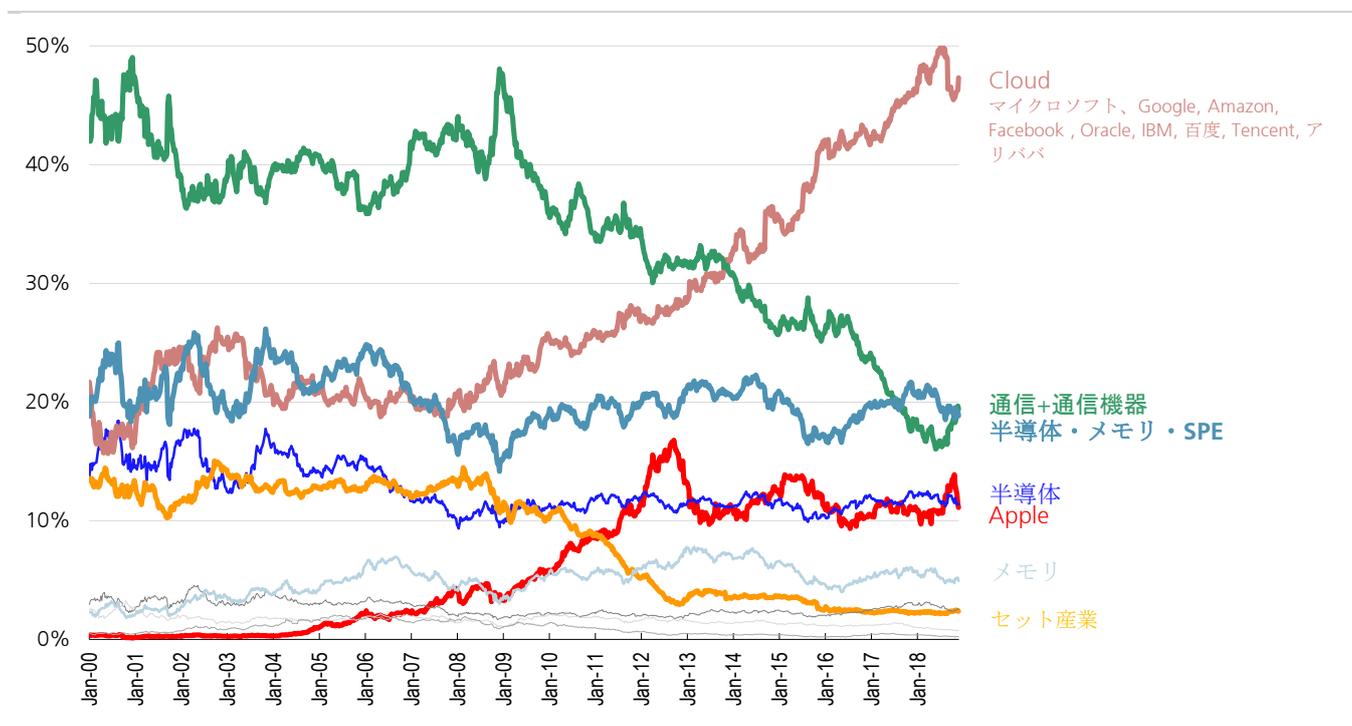
スマホ経済圏とパラレル

勝ち組は半導体と OS 技術保有

スマホ経済圏を過去 20 年間で振り返ってみると、結局 OS と半導体を有している企業が相対優位となっている。OS とスマホを中心とした産業圏の時価総額構成比を歴史的に俯瞰した図表 21 を見ると、2005 年頃から Apple が台頭し、その後 2010 年頃からはクラウド企業が台頭している。半導体・半導体製造装置の構成比は概ね横ばいで推移している。構成比が大きく低下したのは、PC・携帯電話などのセット産業(図中オレンジ色)、通信・通信装置産業(同：緑色)である。図表 22 では、これら産業別の時価総額を構成している銘柄を中心に、各層でのシェアを比較している。

ソフト会社が圧倒的優位に

図表 21: 産業別時価総額構成比



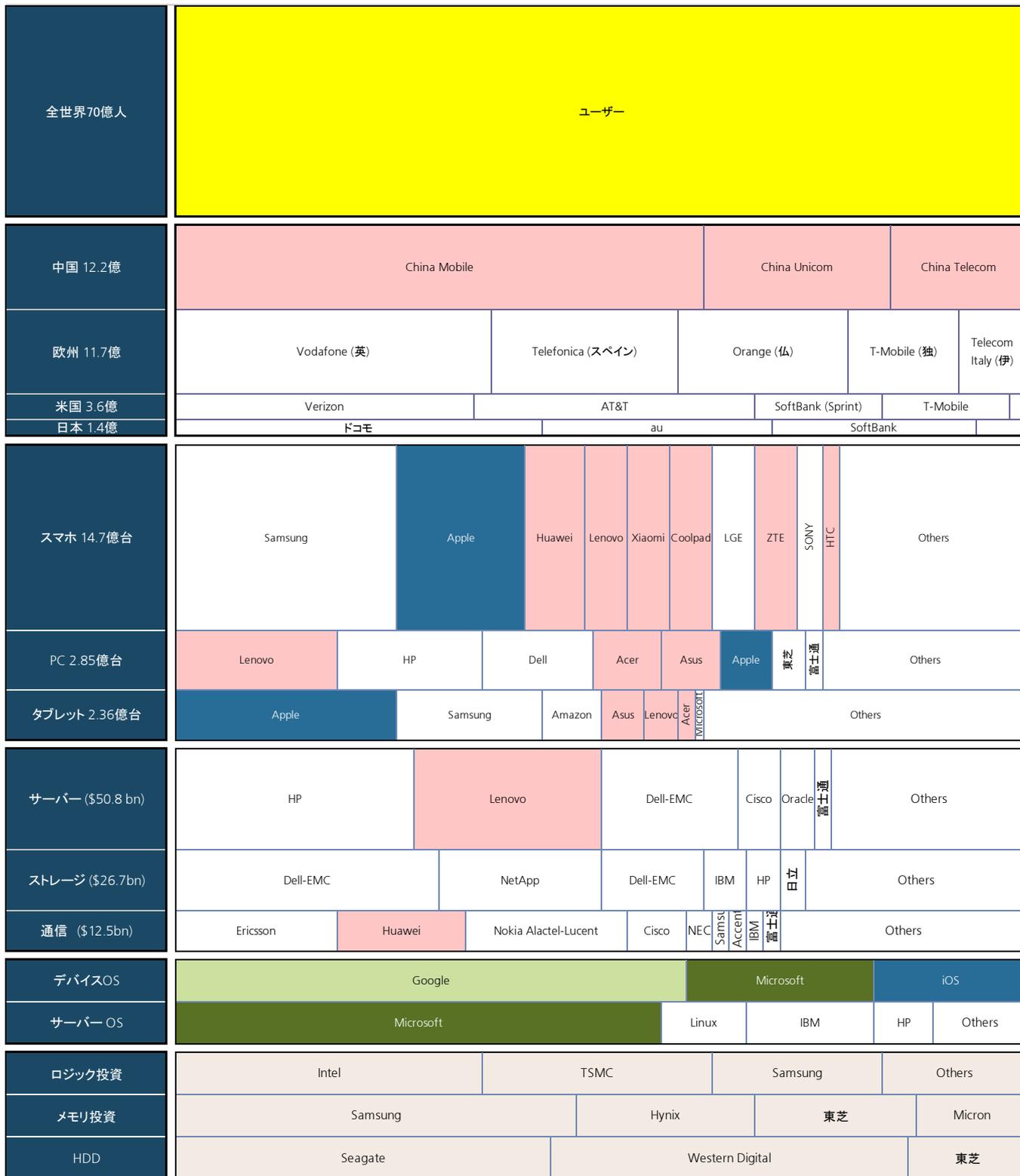
出所： データストリーム

注* **Network + Telecom:** China Mobil, Verizon, Vodafone, AT&T, Telefonica, NTT Docomo, Deutsche Telekom, Orange, Sprint Nextel, KDDI, Softbank, China Unicom, Ericsson, ZTE, Cisco. **Semiconductor:** ARM, Advanced Micor Devc., Broadcom, Infineon, Intel, Marvell, MediaTek, Nvidia, Qualcomm, Renesas, Rohm, Skyworks, STMicro, TI, TSMC. **SPE:** AMAT, ASML, Tokyo Electron, Lam Research, KLA-Tencor, Screen, Hitachi High-tech, Hitachi Kokusai, Advantest, Teradyne. **Memory:** Samsung Electronics, SK Hynix, Toshiba, Micron, Seagate, Western Digital. **SET:** HP, Lenovo, ACER, ASUS, Research in motion, HTC, Nokia, Sony, Panasonic.

OS と半導体が相対優位になって来た背景には、ユーザーエクスペリエンスの改善に直結する技術となった点が考えられる。ユーザーが「使っている」と感じる部分は、アプリであろう。そしてアプリの使い勝手を良くしているのが OS と半導体の親和性にあると推察される。どの通信会社を使おうが、どのような接続方法であろうが、どのような作り方をされていようが、どの企業がスマホの筐体を作っていようがあまり気にならないが、使

いながらスマホを所有して、いつでもどこでも情報を検索し、家族や友達とつながれることが、ユーザーにとっては重要になってきたとも言える。

図表 22: スマホ経済圏の業界地図



出所: Gartner、会社資料、UBS 推定

iPhone の強みはソフト+ハード垂直統合

スマホの特徴の一つは、購入してからアプリをダウンロードすることで機能を拡張したり自分に様にカスタマイズで出来たりする点にある。スマホ市場での Apple 社の成功は、このように既存の携帯電話の使い方を根本的に変えてしまった点に由来している。iPhone が既存市場に変革をもたらしたように、テスラ型の自動車設計思想が、現在の自動車設計の在り方を破壊する可能性がある我々は考える。テスラの捉え方を「電気自動車」として捉えるのではなく、「運転が楽しい車」として捉えると、Apple 社の iPhone と、Tesla 社の設計思想は類似点が多い。確かにスマホと車は大きく異なり、既存のサプライチェーン構造、法規制、経済・国家戦略への影響度合い、保険などの関連市場、部品点数、製品価格、社会的意義、生命に与える影響度、などにおいて規模と仕組みが全く違うとの反論もあろう。しかしそれでも最高の「ユーザーエクスペリエンス」を追求する点においては、Apple 社と Tesla 社の類似点が多い

Apple が実現しているもの

直感的なユーザーインターフェイス

説明書の要らないシンプルな使い方

ソフトを頻繁に更新して機能を強化し続ける

iPad、Mac Air、iPhone のどれを使っても同じ感覚

どんなアプリやソフトを使っても、遅延などのストレスが少ない設計

これらを実現する要素技術での Apple 社の特徴は、殆どソフト・ハードを自ら設計している点にある。この中でも OS と半導体設計の親和性が見事で、他社にはなかなか真似が出来ていない。下記で OS、半導体、メモリコントローラー、特許などの各種技術の詳細説明を行う。これらの要素技術が、システム全体を効率よく設計するためには、いかに重要かがわかるであろう。しかしスマホの筐体は小さいが搭載部品は多く、これらを複雑に組み合わせると同時にストレスなく使えるようしている仕組みこそが Apple の強みであり、ソフト・ハードの両方で全体最適がとても上手である。

OS:

Apple は iPad、iPhone 全機種で自社設計の iOS を採用している。電子機器における OS が、アプリケーションとハードを連携させている。CPU やメモリの物理的資源を最適利用し、地図、インターネット、動画閲覧などの複数の異なる機能を同時に処理できるようにしている。次々とんてくる命令コードを、どの CPU コアで、どれくらいのメモリを占有して、どの順番で処理するかを決めている。アプリが固まって動かなくなったり、遅すぎたり、ソフトが何度も落ちたりしない様に、ユーザーにストレスが無いように制御している。更にはユーザーからの入力を司るユーザーインターフェイス制御も役割の一つである。

Tesla は、スマホ市場の iPhone のような革命を起こせるか？

Apple は重要技術を全て自分で開発し、iPhone のシステム最適化に成功

ハードとソフトを繋げる中核技術

半導体 (AP) 設計:

Apple は省電力性能で強みを有していた P. A. Semi 社を 2008 年に買収し、この技術を礎にして自社設計の Application Processor (AP) を 2011 年の iPhone から搭載するようになった。これ以降全ての iPhone の AP 開発を自社で行っている。演算コアの基礎技術とは ARM コアであるが、この ARM コアの命令セットからカスタマイズしている。このように ARM コア IP を自社技術でカスタマイズできているのは、Apple、三星、Huawei の三社で、スマホの上位もこの三社で占められるようになった。上記 AP は汎用的な演算を担っているが、画像処理や AI 部分を担う GPU 領域でも、Apple は自社設計に移行しつつある。従来までは英国 Imagination が iPhone の GPU 開発を行っていたが、2017 年 4 月にこの契約が打ち切れ、Apple は自社開発に移行した。

自社開発領域がどんどん増える

メモリコントローラー:

他社のスマホ製品と比べた iPhone メモリの特徴は、DRAM 容量が少な一方で、NAND 容量は業界一大きい点にある。そして NAND 容量が大きくなる毎に価格も高くなる。Apple は 2012 年に NAND メモリのコントローラー設計会社 Anobit を買収して以来、NAND のインターフェイスは Apple が設計するようになった。DRAM のコントローラーやプロトコルでは汎用的なものを採用しているが、NAND では独自技術が採用されている。

NAND で差別化を図っている

DRAM に比べて NAND のセルは、元々壊れやすい、もしくは出荷時点で既にいくつかのセルが壊れている。ある特定のセルだけに集中して電子を注入したり、データを読み出したりすると簡単に壊れる。このため壊れやすいセル位置には、データの読み書きが集中したり、物理負荷の大きいデータ書き込み処理を少なくしたりするソフトを組み込んだコントローラー性能がストレージ機能差に直結する。

コントローラーもソフト制御

様々な特許:

Apple が予想技術を自社開発しているのは、上記の OS、半導体だけではなく。ディスプレイ、各種センサー、半導体パッケージ、画像処理、無線給電、バッテリー、無線通信など様々な分野で特許を保有している。このため生産の大半を外部委託しているが、必要な要素技術は自社で「保有」している例が多い。

重要技術の根幹を抑える

従来のセット企業の事業価値を全て奪い取った

スマートフォンの出現で付加価値が破壊されたのは、既存の PC、携帯電話などのセット企業であった。図表 23 で示したのは、各産業の代表銘柄群で構成されている時価総額構成比である。iPhone で市場を席卷した Apple の時価総額の増加分が、既存のセット企業(ノキア、モトローラ、HP、Dell、HP、ソニー、パナソニック、HTC、ブラックベリー、Asus)の時価総額の低下分とほぼ同じで、一社で既存企業の価値を破壊したと言える。

iPhone の出現で、既存企業の多くが窮地に追い込まれた

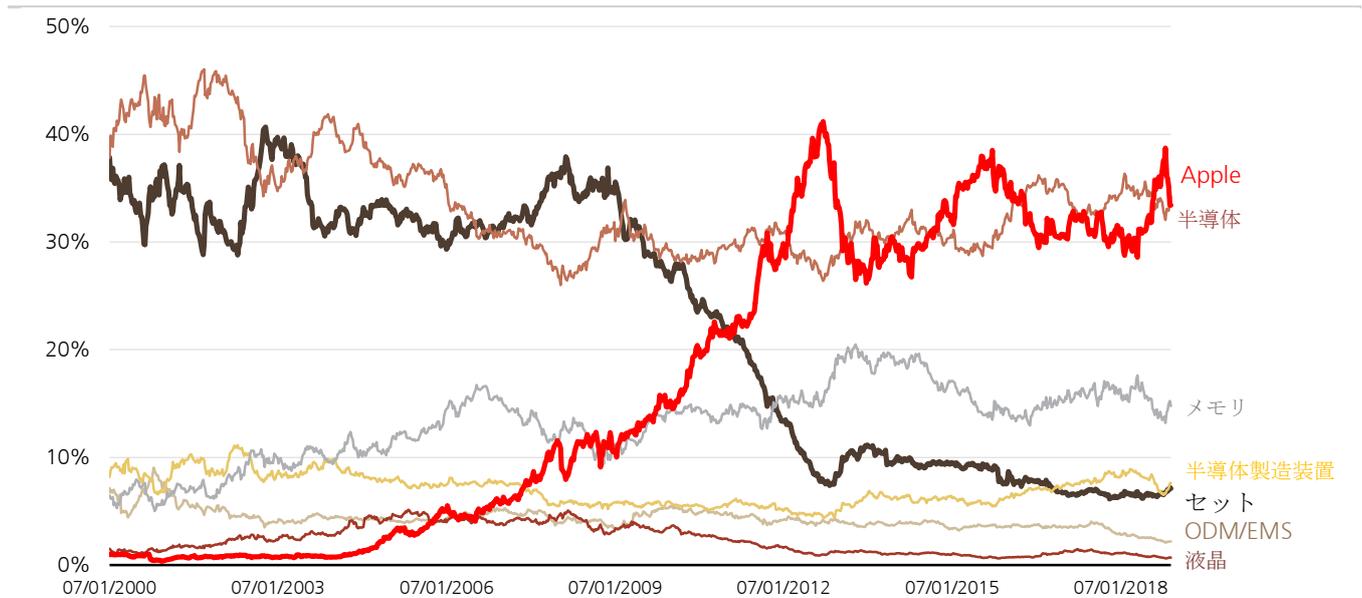
スマホの出現により、図表 24 で示される従来の「携帯電話と PC」が主体であった市場から、図表 25 で示される「スマートデバイス」市場に統一された。この市場統一は、Apple による iPad/iPhone の iOS 共通化が影響している。従来型市場ではセット企業数が少なかったのに対して、部品企業数が多い。しかしスマートデバイス市場に転じてからは OS の種類が iOS、Android、Windows の三つに統一され、主要部品の供給社数は 3 社程度に絞り込まれた。未だに液晶産業では参入社数が多いが、そのほかの CPU、メモリ、CMOS センサー、HDD では市場の寡占化がほぼ完了している。

スマホ出現により、セット企業数が増えて競争が加速し、デバイス企業数は減少して寡占化が進んだ

図表 24、25 中で、中国企業のシェアを赤色で示している。確かに中国政府の国家戦略での支援から、中国企業が育ってきている側面は否めない。しかしオープンソース OS と、部品供給社数が絞られ電子機器を設計開発する地盤がグローバル規模で構築され、世界中でスマホを設計するベンチャーが生まれた結果とも言える。これによりセット企業側の社数が増えやすい環境下で、コスト競争力と迅速な経営判断で中国の新興企業が台頭している。

開発環境が整えば中国企業は強い

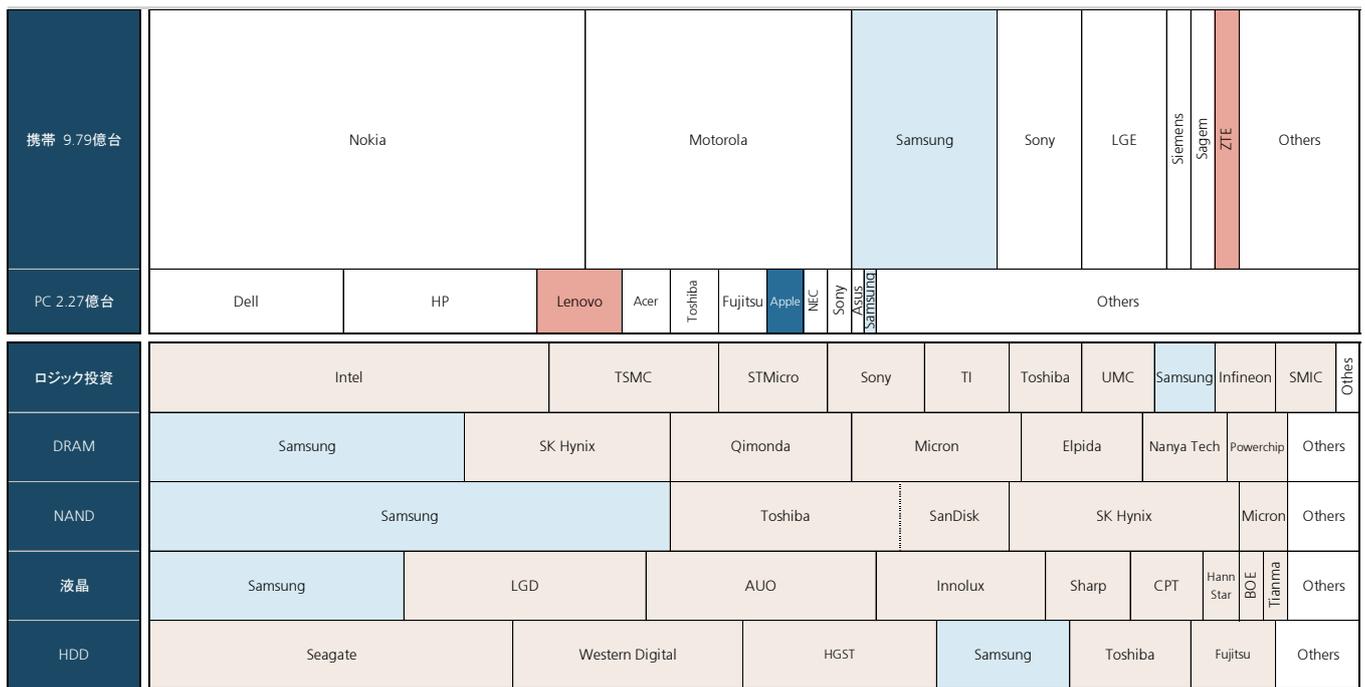
図表 23: 時価総額構成比



出所: データストリーム

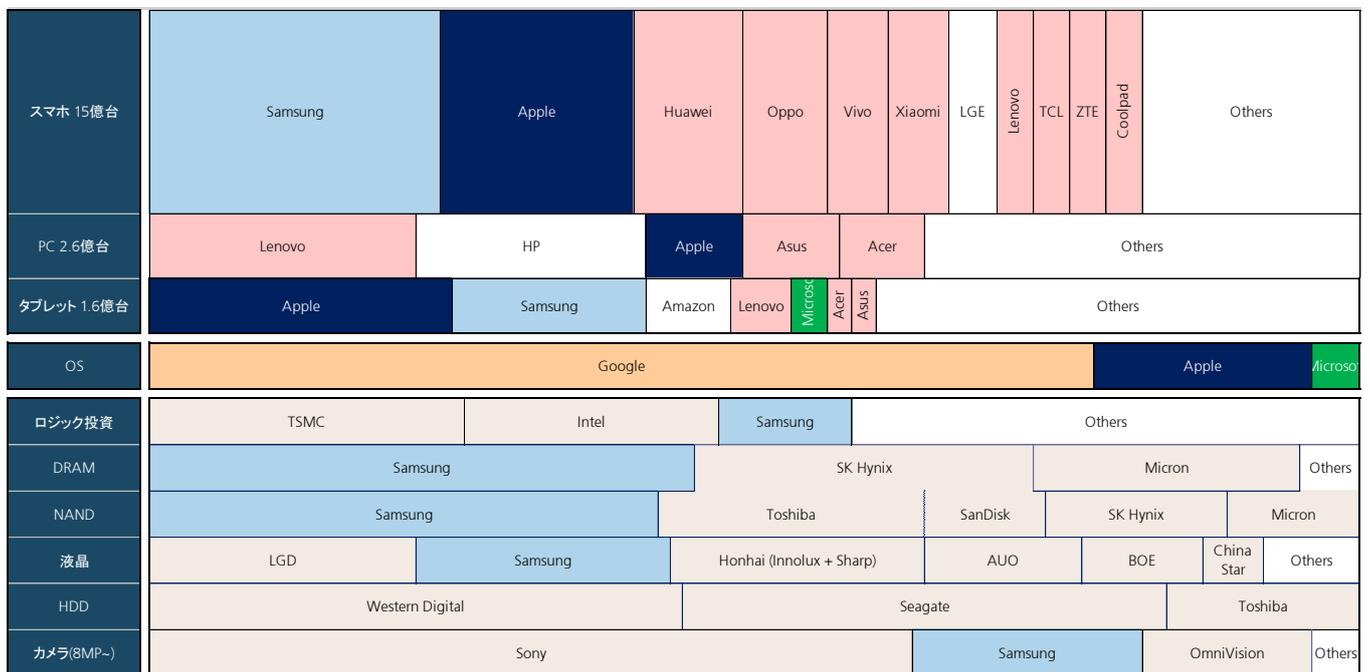
注* **Semiconductor**: ARM, Advanced Micor Devc., Broadcom, Infineon, Intel, Marvell, MediaTek, Nvidia, Qualcomm, Renesas, Rohm, Skyworks, STMicro, TI, TSMC. **SPE**: AMAT, ASML, Tokyo Electron, Lam Research, KLA-Tencor, Screen, Hitachi High-tech, Hitachi Kokusai, Advantest, Teradyne. **Memory**: Samsung Electronics, SK Hynix, Toshiba, Micron, Seagate, Western Digital. **SET**: HP, Lenovo, ACER, ASUS, Research in motion, HTC, Nokia, Sony, Panasonic. **ODM/EMS**: Compal, Quanta, Inventec, Wistron, Hon Hai, Jabil circuit, Celestica, Sanmina, Benchmark, Plexus. **LCD**: LG Display, AUO, Chunghwa picture tubes, Sharp.

図表 24: 2006 年の業界地図



出所: Gartner、TSR、UBS 推定

図表 25: 2017 年の業界地図



出所: Gartner、TSR、UBS 推定

関係各社への影響

自動運転技術で、今後さらに重要となるのは部品供給だけに留まらず優れたソフトウェアを開発できるかどうかとなる。特に OS とビッグデータ解析は、自動走行を制御するため根幹をなす技術であるため、異なる産業で多数社が競争している。ここで存在感を強めているのが、Waymo、Aptiv といったテック企業である。これらのテック企業は多数の部品をソフトウェアで集中制御型する設計思想を採用し、既に高度な自動運転を実現している。一方の既存自動車メーカーは、多数の電子部品を組み合わせる従来型の設計思想から完全に脱却できていない会社が多く、根本的な技術差異は大きい。そして現在の技術トレンドは、Volkswagen group を筆頭に既存自動車メーカーがテック企業に追従して集中制御型に移行する流れにある。

ソフトでの集中制御が主流になりそう

このようなソフト技術分野で、グローバル競争をする基準、自動運転化、モビリティサービス化で対等渡り合える日本のテック企業は残念ながら少ない。このため自動車部品事業の利益率は、今後低下するか、低位横ばいとなる。大型投資などで大きなリスクは取らずに、集中制御 OS で管理できない・管理するが不要な部品分野で着実に利益を創出する企業が恩恵を受けやすい。具体的には、IT サービス分野で強い、日立や富士通、ダイナミックマッピングで先行している三菱電機などであろう。特に日立は、バッテリーとカーナビ事業を売却し、過当競争を回避した点を好感できる。一方でソフトでの集中制御型が主體的になった際に付加価値を上げにくくなるのは、パナソニック、東芝、ルネサス、などになると我々は考える。

日本の総合電機企業の自動車事業は、恩恵を受けにくい

図表 26: 次世代の車開発に必要な技術一覧

	トヨタ	ホンダ	日産	デンソー	Tesla	Ford	GM	日立	Panasonic	三菱電機	ルネサス	富士通	東芝
自動運転													
OS	○	○	○	○	○	○	○	○					
走行BigData	◎	○	○	○	○	開発中	○						
走行制御ECU				○		○	○	◎					
画像認識半導体				○						○	◎		◎
走行制御ソフト	○	○	○	○	○	○	○	○		○			
走行画像認識ソフト	○	○	○	○	○	○	○	○					○
カーナビ・コックピット				○	○	○	○		◎	◎			
通信(OTA)	○			○	○	開発中	○	◎	○				
インフラ													
クラウド	◎		○	○	○		○	◎				◎	
BigData解析	○			○	○	開発中	○	○				○	
道路・信号・交通	○						○	◎				○	
地図	○				○		○			◎		○	
モビリティサービス	○		○		○	○	○	◎				◎	
BMS													
電池	◎								◎				○
BigData	○		○	○	○								
ソフト	○	○	○	◎	○			○	○	○			○
マイコン				○	○						○		○
冷却システム				◎	○								
EV化													
モーター	○	○	○	◎	○			○		○			○
インバーター	○			◎	○			○		○			○

出所：会社資料、UBS

日本の自動車企業

既存の強固な経営基盤が、かえって課題となりそうである。現在の複雑なサプライチェーンや、膨大な開発費用から、日本の自動車企業は思い切った改革よりも、比較的穏やかな変化に注力しつつある。これはサプライチェーン全体の利益率を確保する施策であり、過去 50 年に亘り実行されてきた方法である。従来型開発の日本の自動車企業は、既存のシステムの穏やかな変更を段階的に行っており、ソフトウェアでの集中制御型に一気に移行する気配はない。現在の強固なビジネスモデルが、次世代型の開発体制構築を阻んでいると我々は考える。

変化が遅い

日立製作所（安全走行制御・サービス）

自動車の主力事業部は、日立オートモティブシステムズである。売上高約 1.0 兆円のうち、安全 40%、環境 40%、情報 20%で構成されている。安全が自動運転関連となりそうで、全方位で外界を認識するシステムや、走行制御システムが含まれている。具体的な製品は、ADAS-ECU、ステレオカメラ、自動駐車システム、セキュリティゲートウェイ、などである。環境分野に、エンジン制御や電気自動車・ハイブリッド車のパワートレイン制御が含まれている。具体的な製品は、モーター、インバーターなど。

ADAS・IT サービスで強み

一方で 2018 年に、カーナビのクラリオン社、バッテリーの日立ビークルエナジー社の売却を決定している。このため日立製作所として保有している事業は、ADAS-ECU などの車両制御と、データセンター、通信システムなど、Connected 領域に傾注する形となろう。集中制御型設計を想定すると、ADAS-ECU などで中核ソフト提供では、自動車企業と競合するというよりも、日立が主導権を握ってソリューションを提供できるかどうか注目したい。一方で IT サービスでは、交通インフラやソフト・サービスで成長事業を創出できる可能性が高いであろう。

バッテリーとカーナビは売却

パナソニック（BMS・カーナビ拡張）

バッテリーの生産能力ではグローバル規模で高い競争力を誇る。しかし肝心のソフト分野では、技術はあるがパナソニックの BMS が活用されている例は、現時点では少ない。このため営業利益率は、今後も 5%程度に留まると UBS では予想している。今後の契約形態が、バッテリーを提供するだけに留まらず、ソフト制御である BMS 提供を含めるものが主体となれば、利益率が今後完全しよう。

バッテリーの営業利益率は 5%と低位に留まると予想

自動運転領域では、次世代コックピットとセンサー（カメラと LiDAR）に注力している。ソフトでは、安全運転支援システムに対応した統合コックピットの OS 開発を目指している。2016 年にはコックピット向け組み込み OS 開発企業の OpenSynergy 社を買収し、百度のアポロ計画にも参画。カーナビと社内エンタメシステム（音楽、スピーカーなど）では、既に高い競争力を有している。同分野の直接競合はハーマンを買収した三星であろう。

カーナビ・エンタでは競争熾烈化へ

ルネサスエレクトロニクス（マイコンソフト）

ソフトやアプリを開発する会社ではなく、ソフトを開発しやすいプラットフォームと半導体を提供するビジネスモデルである。集中制御型の設計が浸透すれば、高機能なマイコンが求められるようになるが、搭載数量はいずれ頭打ちとなろう。このため何れ成長止まるマイコンだけではなく、マイコンとアナログ半導体のセット販売に今後傾注する戦略が見えてきた。

自動運転の注力製品は「R-Car」である。次世代コックピットと制御マイコン、ソフトウェア開発環境である。R-Car コンソーシアムやソフトウェア開発環境サービスで BlackBerry との提携、クラウドサービスで AWS との提携などを発表している。R-Car パートナーシップの参加企業は 250 社以上と発表されており、次世代コックピットで採用が拡大すると期待したい。R-Car 製品の役割は、東芝 Visconti が得意な画像認識ではなく、画像認識後の判断・制御分野で、直接の競合が Nvidia、Freescale 社となる。

車載マイコンの成長はそのうち頭打ちになりそう

R-CAR は競争が厳しい

三菱電機（マッピング）

現在の自動車部品事業は、売上高の 80%が ADAS 化や EV 化で必要がなくなると UBS では予想している。このため、今後業績は低迷しよう。この一方で、自動運転のプラス要因は、自動車機器だけでなく、社会基盤技術で出てくる可能性がある。具体的には、(1) 準天頂衛星からの GPS 位置情報システム、(2) 国内主体のダイナミックマッピング技術、(3) 車自らが判断する電子制御技術、などである。特に地図や位置情報などでは、グローバルでも国内でも提携先が広がっており、重要な役割を担う可能性がある。具体的には 2017 年 12 月にヒアとの提携を発表し、三菱電機が持つ自動車の位置を正確に把握する技術と、ヒアの高精度な地図データを相互利用する狙いを示した。ヒアはフィンランドの通信機器大手ノキアの子会社であったが、BMW、ダイムラー、アウディが 15 年に買収。その後 17 年 1 月に米インテルが 15%出資し、9 月にはパイオニアと資本提携している。一方の国内では、三菱電機が参画しているダイナミックマップ基盤には、産業革新機構、ゼンリンに加えて、国内自動車企業の殆ど全てが出資している。

現在の事業分野は厳しいが、マッピング技術には可能性

富士通（サービス、交通インフラ）

自動運転でのプラス要因は、IT サービス分野である。同社は Mobility IoT Platform というクラウドサービスを提供しており、具体的にはビッグデータの管理・分析、高精度地図データの管理・配信、OTA(Over-The-Air)でのソフト更新、車載ネットワークのセキュリティ対処技術などである。協力関係を構築しているのは、ダイナミックマップでは KDDI やゼンリン、位置情報サービスでは HERE、OTA 技術で VMware と提携しており、データ管理や通信領域に集中している。

モビリティサービスが立ち上がれば恩恵が一部出そう

東芝（画像認識）

注力領域は画像認識領域である。強みである AI や画像認識技術とセンサーとの提携を生かして、ソフトウェア開発力を強化できるかに注目したい。ハードウェアでは画像処理プロセッサ「Visconti」や LiDAR を開発している。ソフトではセンサーと協業して自動運転技術開発を行っている。センサーはソフトウェア開発企業への出資や、アイシン精機やアドヴィックス、ジェイテクトと自動運転・車両制御 ECU ソフトウェアの開発を行う合弁会社を設立している。しかしビスコンティ事業は、重い開発費負担から赤字が続いている。顧客がセンサーだけに絞られており、競合相手はインテル傘下の Mobile Eye, Xilinx, TI などグローバル企業と手ごわい。

車載 LSI 事業は赤字事業

Volkswagen

Volkswagen は、今後発売予定（2019 年後半）の EV プラットフォーム、MEB にまったく新しい革新的 IT インフラを搭載予定。「E3」と呼ばれるこのインフラは、同社が自社開発した新 OS「vw.OS」を使用した 3-5 セントラルコンピュータを中心に、様々なソフトウェア・スタック（infotainment、navigation、ADAS 等）で構成する。この構成の中で、ハードウェア、ソフトウェア開発は従来比で大幅に分離される。新システムは主要な自動車機能の無線（OTA）アップグレードを可能にすることで、Tesla の OTA 技術に追従する既存自動車メーカーにとって重要な節目となる。しかし認証がボトルネックとなる可能性があるため、これらの機能を商品化するにはまだ数年を要しよう。Tesla と異なり、VW はソフトウェア・ノウハウを主要自動車部品サプライヤに依存しているが、今後は自社技術の改善を戦略的目標とすることを明確に打ち出している。

MEB プラットフォームに注力

General Motor (Cruise)

GM は、Cruise 社の買収がグループの AV ソフト開発能力によるところが大きかったと述べている。同社は、OnStar との接続性において長らく業界を大きくリードしており、世界的にソフトを中心とする自動車業界のトレンドは、リーダーである同社に大きな恩恵をもたらそう。CEO の Barra 氏は、将来の自動車の「デザインや技術にとってソフトウェアの重要性が高まる」とコメントしている。こうしたトレンドに沿って、同社は総合ソフトウェア・エンジニアリング・グループを立ち上げ、開発に弾みをつける意向である。また最近では、レベル 2 及びレベル 3 の自動運転技術を、ほとんど社内で開発していることを明らかにしている。GM は現在自動運転における先行グループの一社とみられており、投資、技術共に高水準にあることが推測される。

M&A に成功

Ford

同社の新 CEO、Hackett 氏は、再建計画に取り組む中で、新規に開発した自動車に搭載したソフトウェアの OTA アップデートを可能にするため、同社がソフトウェアの盤石な土台作りに注力していることを明かしている。同社は、従来サプライヤに開発を委託していたソフトウェアの多くを社内開発に切り替えるべく、力を入れ始めた。この移行により、新車の開発にも弾みがつくと見ている。同社は Argo への投資を、AV ユニットの前進させるソフトウェア会社への投資と見なしている。2019 年には、自社自動車への

OTA を拡大

OTA アップデートを実現する第一歩として、全車にモデムを搭載する計画である。そのため、電子アーキテクチャ及びソフトウェアのセットアップによる OTA の推進に力を入れている。

Jayson Electronics (カバレッジなし)

BMS 技術では古参の Jayson Electronics 社の技術は世界の上位自動車メーカーにも高く評価されている。同社の BMS 技術はドイツの子会社 Preh 社が開発。その後、ドイツと中国に BMS 研究開発センター及び製造工場を立ち上げた。同社は BMW の EV である i3 及び i8 向けの唯一のサプライヤーである。BMW との独占供給契約は 2020 年まで有効。2019 年には VW から中国 MEB プラットフォーム製品向け BMS 全量を受注。同プロジェクトの生産は 2020 年下期より開始予定である。また、Mercedes 社からも最近、中国 JV 製品向け新規注文を受けている。更に Geely、SAIC GM Wuling 等、国内自動車メーカー向けにも BMS 製品を活発に開発している。

BMS 技術に強み

中国スタートアップ

NIO など中国で新たに EV 市場に参入した企業は、独自のオペレーションシステム及びソフトウェアを開発している。しかしこのプロセスは、少なくとも初期段階において、いつも順調に進展しているわけではない。例えば、ユーザーから時折システムダウンのフィードバックが入ったり、また NIO の最初のモデル ES8 の納品が 2018 年 6 月に開始、カメラやセンサーなどのハードウェアはすでに搭載済みであるにもかかわらず、ADAS ソフトの配給は 2019 年半ばまで始まらない見通しである。

未だトラブル続き

捕捉資料 : Model 3 の BMS 詳細

テスラはバッテリー数が多い

大容量が求められる EV のバッテリー構成は、どんな車種でもバッテリーを多数組み合わせる構成されている。図表 27 ではテスラ (Model 3/S/X)、シボレー (Bolt)、日産 (Leaf) で、組バッテリーの構成を比較している。テスラの特徴はバッテリー数が多い点にあり、正確には並列で並べているバッテリー数が多い。図表 27 で見る通り、テスラのバッテリー数は 3,000~8,000 個もあるのに対し、Bolt や Leaf では 300 個以下と約 1/10 である。この違いが顕著に出るのは並列数である。テスラは 30~90 個も並列しているのに、他社は 3~4 個に留まっている。その一方で直列しているバッテリー数は 80~96 で概ね同じである。全量は同じで、テスラは小さい電池を多数搭載している。

テスラは小さいバッテリーを多数搭載している

図表 27: EV 車でのバッテリー搭載数量

	容量	並列	直列	セル数合計 (並列×直列)
Model 3	75 kWh	46	96	4,416
	50 kWh	31	96	2,976
Model S / X	100 kWh	86	96	8,256
	85 kWh	74	96	7,104
	75 kWh	70	84	5,880
	60 kWh	60	84	5,040
Bolt	60 kWh	3	96	288
Leaf	40 kWh	4	48	192
	60 kWh	3	96	288

出所 : UBS Evidence Lab、各社 HP から UBS 作成

図表 28: Model 3 の 2170 丸型バッテリー



出所 : UBS Evidence lab

図表 29: Bolt のバッテリー



出所 : UBS Evidence lab

バッテリー数が多い設計を選択することで、様々な車種や、同じ車種でも異なる容量のモデルを提供するビジネスモデルが可能になっていると推察される。現在販売されている車種は、Model S、Model X、Model 3、Powerwall、などである。更には社長の Elon Musk 氏は、将来的にはスポーツカータイプの Roadstar、大型トラック Tesla Semi、の販売開始を公言している。例えば Tesla Semi ではバッテリー容量は 600~1000kWh になる（一回充電の航続距離目標 300~500mile、電力効率 2kWh/mile とテスラが説明）と試算される。高出力重視型、航続距離重視型など様々な要求に対して、並列数、直列数を柔軟に変更して対応するものと推察される。

図表 30 は Model 3 分解から判明した、バッテリーの実配置である。まずはバッテリー46 個を一つの塊として「Brick」を形成し、各 Brick 内では 46 個のバッテリーが並列に接続されている。更にこの Brick が直列に接続されている。図表 30 内で左のマイナス極から右のプラス極に向かって 23 個の Brick が並べられ、一つの「Module」が構成されている。システム全体では 4 つの Module から構成される。モジュール内の Brick 数は、正確には上下両端が 23 個、中央の二つが 25 個で、全体では 23+25+25+23 で合計 96 個の Brick が含まれている。この結果バッテリー総数は、46×96 個で 4,416 個となる。

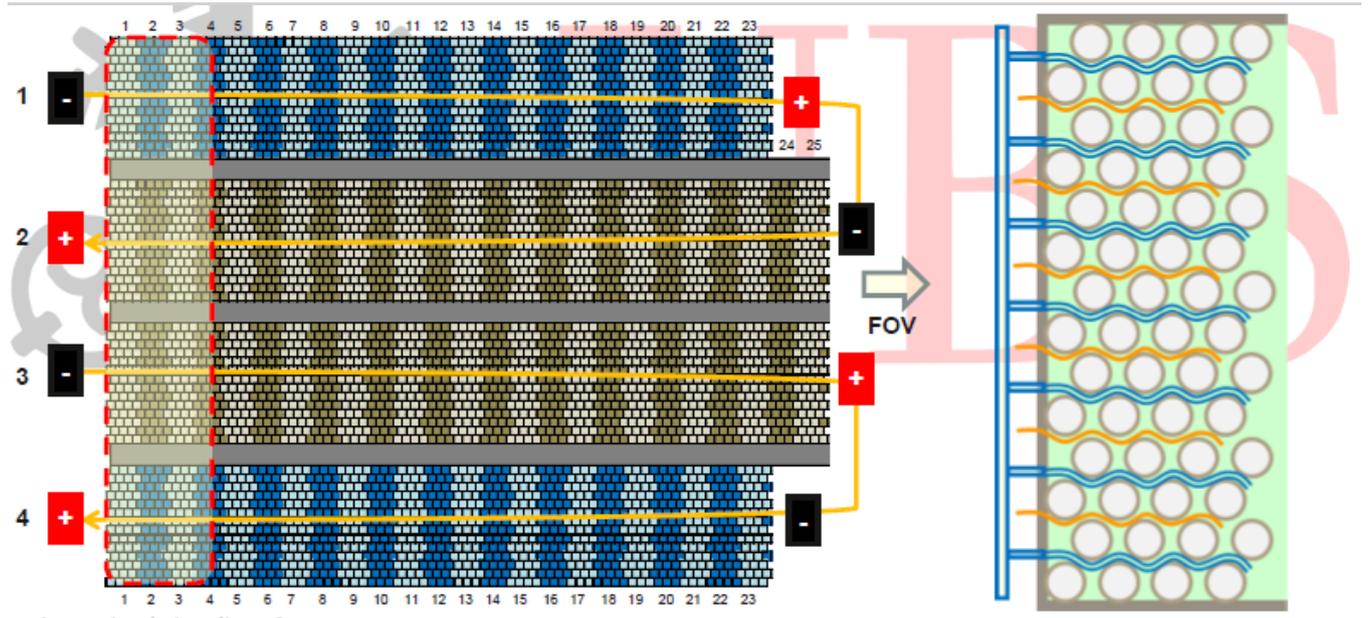
図表 31 で見るように、各バッテリーは熱伝導性の低い材料で接続されている。図表中の右側に緑色で示されている金属片でバッテリー46 個を並列接続しており、これで一つの Brick を形成している。図表中紫色の金属は、各 Brick を絶縁するために挿入されている。これらの金属とバッテリーの間を、電気は通さないが熱伝導性は高い泡状の接着剤で埋め尽くしてある。図表左下に見える緑色の物質がこの接着剤である。

同じバッテリーで色んな車種に対応する計画

Model 3 のバッテリー構成は、並列 46 個×直列 96 個=4,416 個

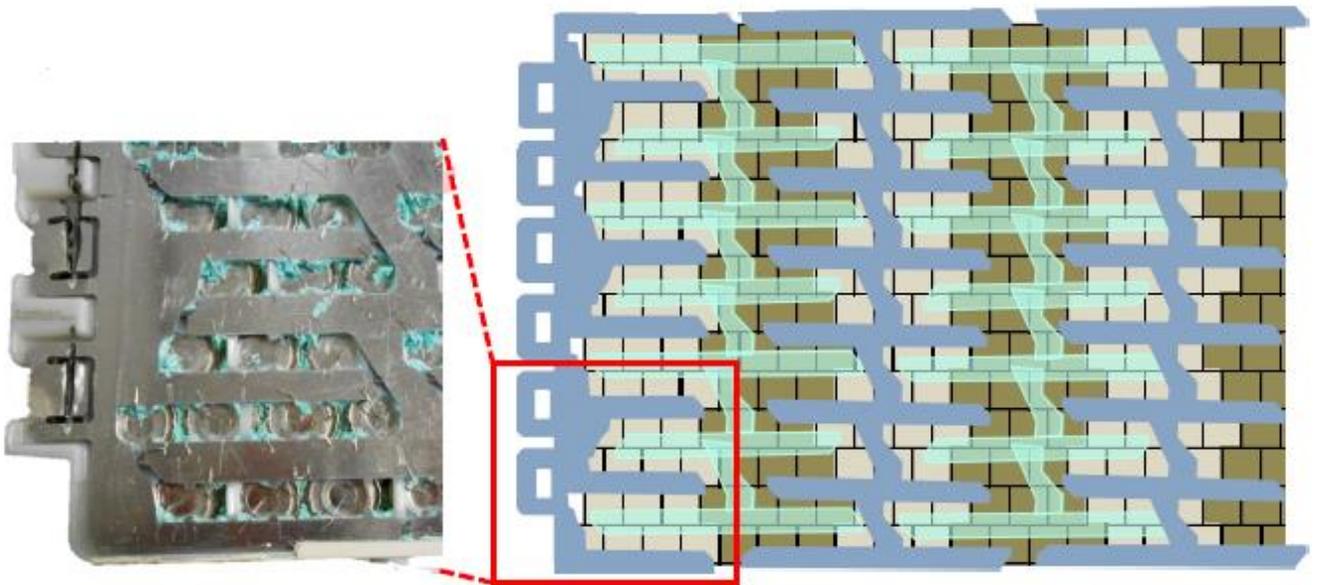
熱的にも電気にも伝導性の低い材料で接着されている

図表 30: Model3 のバッテリー配置の概念図



出所: UBS Evidence lab

図表 31: Model3 のバッテリー配置と概念図



出所: UBS Evidence lab

自社設計のソフト・半導体でバッテリー制御

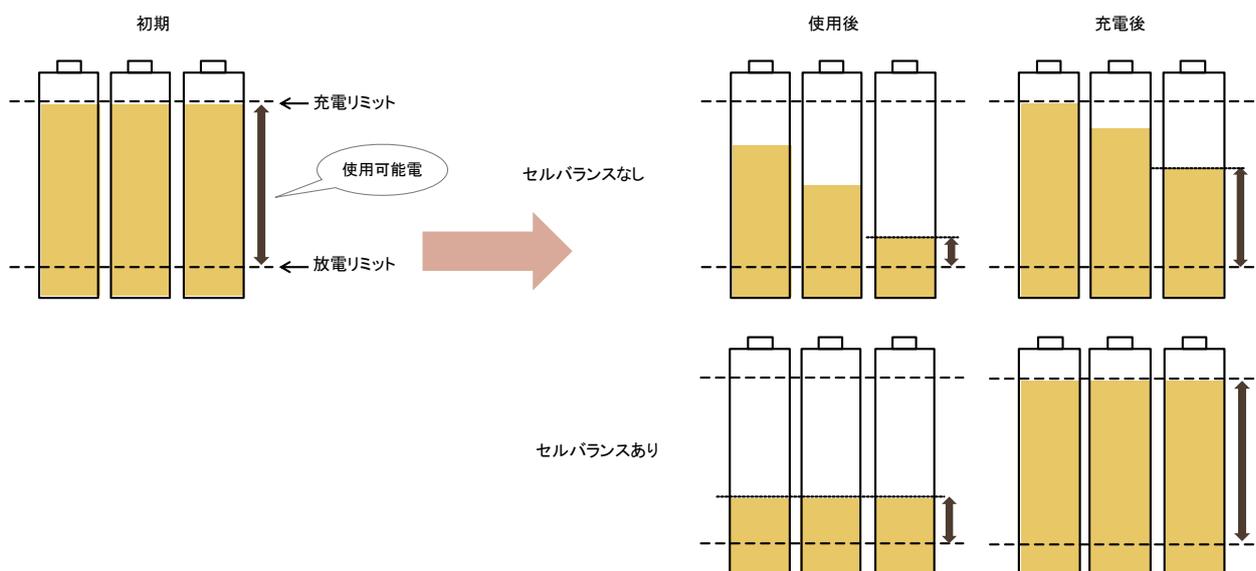
直列接続では、電圧を積み上げることが出来る。ただしバッテリー容量の劣化を低減させるためには、接続単位ごとに同じ電圧に制御する「セルバランス」が重要となる。Model 3 の場合では、96 個もある Brick 直列接続の電圧を、可能な限り同位に揃える必要がある。例えば直列接続の Brick の大半が 100%充電されて別の Brick が 60%しか充電されていない場合を考える(図表 32 の「使用後」の状態)。充電エネルギーは 96 個の Brick にほぼ均等にかかり、60%充電「だけ」の Brick を狙うことはできない。そして 100%充電された Brick に充電を続けると、過剰な電流によって熱せられて火災に繋がる可能性がある。このため、一つがフル充電になると他はまだ 100%でなくてもその時点で充電を止めなければならない(図表 32 の「充電後」の状態となる)。このため各 Brick の充電状態を把握して、電位が等価になるように調整する「セルバランス」が重要となる。

96 個の直列接続の全てで、電位を同一に揃える

Model 3 では、このセルバランスが 2~3mV の精度で実現されているのが、今回の分解分析から判明した(図表 33)。Model 3 で使用されているバッテリーは各 3.8V であり、バッテリー46 本を並列接続した Brick 毎の電位差が僅か 2~3mV という事は、0.05~0.08%(=2~3mV÷3.8V)の誤差である。この精度は電気自動車のバッテリーパックで標準的に求められている水準であり、テスラが相対的敵に特に高い精度で実現できているかどうかは、今回の分析では不十分ではあるが、高い精度で制御できている事実は変わらない。

Model 3 の電位バラつきは僅かに 0.05~0.08%に制御されている

図表 32: セルバランスの機能



出所: UBS

並列接続が増えると、その分だけバッテリー容量が増える。そしてこの並列族数が多い点が、テスラが他社とは大きく異なっている点である。並列接続されているバッテリー同士では電圧が自動的に揃うため、先述した直列接続でのセルバランシングのような細かい制御は必要ない。しかしバッテリー特性にバラつきが大きいと、その分だけバッテリー劣化が進みやすくなる。テスラのバッテリー容量が相対的に低下しにくいのは、並列接続されているバッテリーのバッテリー容量と内部抵抗のバラつきが小さい特性が貢献している可能性がある。

並列接続されたバッテリーの特性バラつきが、組バッテリーとしての電気容量劣化に繋がる様子は下記の通りである。並列接続した場合の微妙な特性の違い(内部抵抗：バッテリーそのものの抵抗値)から、バッテリー間を電流が行ったり来たりして、互いが互いを充電しあって消耗する。更には各バッテリーが劣化するペースにもバラつきがあり、新品のうちは全く性能が揃っていたとしても充電器や熱源に近い方から順に劣化する。劣化すると内部抵抗が増えて発熱してさらに劣化し、隣のバッテリーまで劣化させたりする。

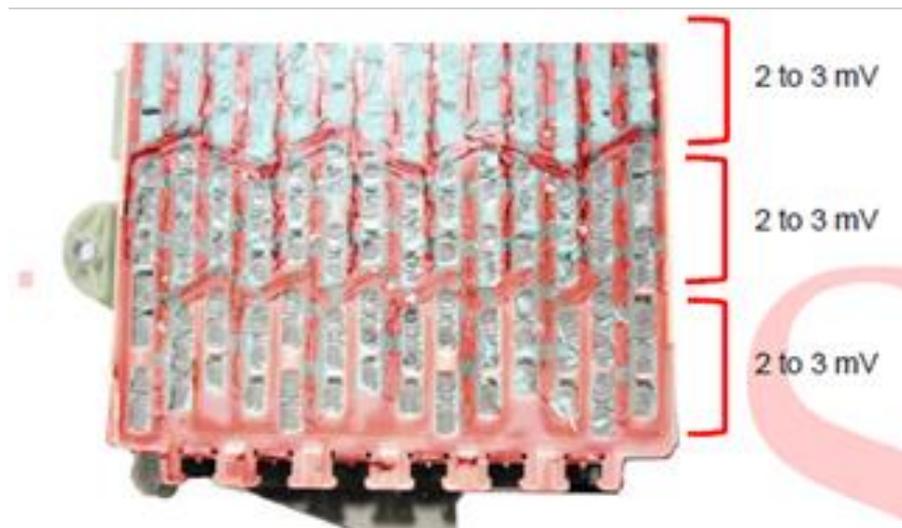
我々の調査によれば、テスラは、組立てる前に無数のバッテリーで特性を測定し、よく似た特性のバッテリーを抽出してグループ分けしてから組立てていると推察される。ここで「大量に」小さいバッテリーを製造している強みを発揮できる。製造段階で多少バラつきが出たとしても、検査して同じ特性が出るバッテリーを集めてくれば、最終的にはバラつきの問題を大幅に低減できるからである。元々品質が高いパナソニック製のバッテリーを検査して、特性毎に分類すればバラつきはかなり低減されると容易に想像される。

並列接続では、バッテリーのばらつきを小さくする必要がある

並列接続内では電子が自由に行ったり来たり出来る

組み立てる前に、よく似た特性のバッテリー毎にグループ分けしている

図表 33: Brick 間での電位差は 2~3mV



出所：UBS Evidence lab

バッテリー制御システム(BMS)の主要なハードとソフトの両方を、テスラは自社で設計している。Model 3 の特徴は、(1) 電圧制御 IC はテスラ自作の半導体チップ、(2) 二段階での電圧制御をかけている、(3) モジュールごとに温度管理をしている、などである。更にこれらの事から、温度・電圧・バッテリー劣化スピードなどの統計データを集め、自社のデータセンターで深層学習から制御アルゴリズムを強化していると推察される。

重要な技術は、テスラが自ら設計している

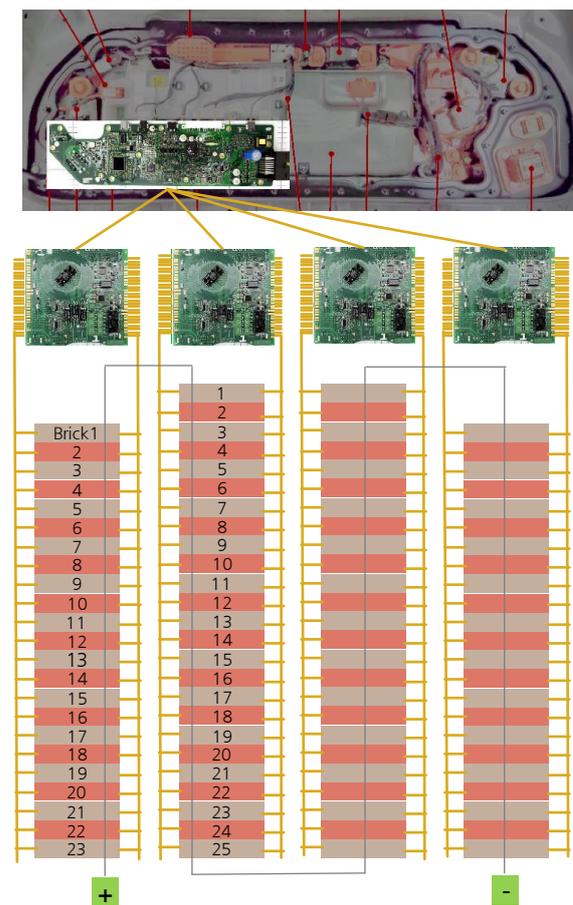
図表 34 は Model 3 のバッテリー部分を車本体から取り外して上方から撮影した写真である。図表 35 はこのバッテリー部分がどのように周辺部品と接続されているかを示した BMS 回路の概念図である。大きなモジュール 4 つの中に、Brick が 23~25 個が収められ、このモジュールそれぞれに半導体や電子部品が搭載される PCB 基盤が具備されている。そして PCB 基盤は上部に設置されている高電圧制御ボードに接続される。高電圧制御盤には、12V への降圧を司る OBC(On Board Charging)が一緒に組み込まれている。

高電圧制御盤とモジュール 4 つから構成されている

図表 34: Model3 の組バッテリー写真



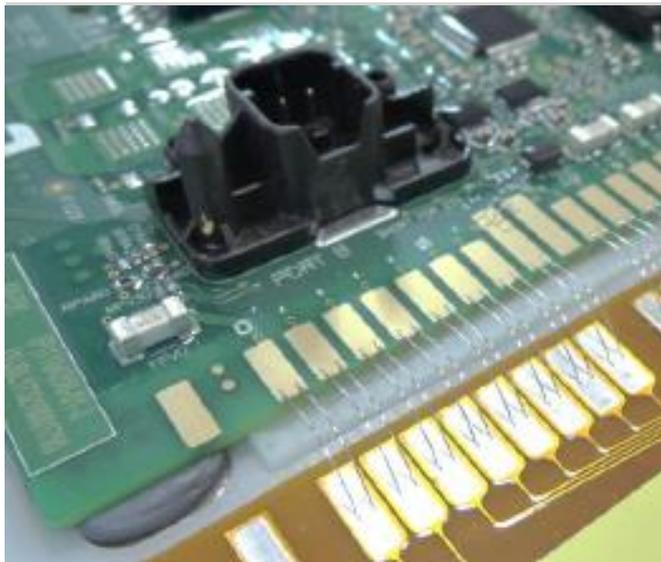
図表 35: Model3 のバッテリーと制御盤配置



出所: UBS Evidence lab

出所: UBS Evidence Lab

図表 36: BMS 基盤の接続端子部分



出所: UBS Evidence lab

図表 37: 各モジュールに搭載されている BMS 基盤



出所: UBS Evidence lab

モジュール上の PCB 基盤には、両端に接続端子が 25 個設置されている(図表 36、37、38、39)。この接続端子から伸びた導線が、組バッテリーの本体にまで伸びている。PCB 本体の左から出ている 1 番上の端子が、Brick1 の左側に接続され、PCB 本体の右から出ている 1 番上の端子が Brick1 の右側に接続されて、Brick1 の左と右の電位差を測定して、Brick 毎の状態観察を可能としている。この様な接続が両端のモジュールでは 23 個、真ん中の二つでは 25 個施されており、超列接続された Brick96 個の全ての電位を測定していると推察される。

各バッテリーモジュールに接続されている PCB 基盤の写真が、図表 38(表)、図表 39(裏)である。テスラが自社設計している制御 IC を、図表 39 で黄色の星形と緑の丸型で示しており、表側でそれぞれが二個ずつ搭載されているのが確認出来る。二つずつ搭載されている理由は、安全のための冗長性もあると推察される。例え一つの IC が機能しなくなっても、残っている IC で時間をかけて演算するか、ソフト的な制御で演算量を少なくしてバックアップできる設計と推察される。

さらに興味深かったのは、(1) これらの自作 IC は「Robin」と「Batman」との呼称が制御盤上に記載されており(図表 40)、制御 IC の樹脂カバーを化学的な処理を行って除去すると、むき出しになった半導体部品の上部に黄色で Model 3 の刻印が出てくる(図表 41)、(2) 各モジュールの搭載されている PCB と高圧制御盤の両方で、Robin・Batman の制御 IC が搭載されている点である。まるで自社設計である点をアピールするような刻印が記されており、テスラと同社開発エンジニアの自負が伺える。

Robin・Batman のそれぞれの役割は、現時点では不明点が多い。UBS の推察では、ダイサイズの小さくピン数が 38 と少ない Robin は電圧・温度のアナログデータ集積とアナログデータのデジタル化を担い、ダイサイズが多くピン数が 64 と多い Batman が Robin から送られてきたデジタルデータから

モジュール上では、Brick 毎に電圧を制御していると推察される

冗長性が担保されている

自作のチップには「Robin」と「Batman」の刻印

Robin がデータを収集、Batman が演算中心と UBS では推察

充電状況の推察・セルバランスの命令・他システムとの通信・連携などを担っていると考えている。

直列接続内のセルバランシングでは、電気エネルギーの高いバッテリーから低いものに電力を移行させるアクティブバランシングが採用されている。セルバランスを行う際には、46 個のセルが並列接続されている「Brick」は一つの大容量のバッテリーとして認識され、各「Brick」が直列接続されており、「Brick」間の電位差を平準化される。この電気エネルギーを一時的に蓄積するために BMS 基盤には多数のアナログデバイスが搭載されている。図表 38 表側にインダクタ 6 つと、キャパシタは 0805 型 63 個、0603 型 23 個、0402 型 26 個、図表 39 の裏側には 0805 型 15 個、0603 型が 10 個、0402 型が 18 個搭載されていた。この様にバッテリーの制御には、デジタル処理を司る MCU チップに加え、アナログデバイスが多数消費される点を確認された。

セルバランシングの制御が二段階で実行されている可能性がある。まずは大きなモジュール 4 つそれぞれに搭載されている PCB 基盤上の Robin・Batman で頻りにセルバランシングを行う。その次に高電圧制御盤に搭載されているもう一つの Robin・Batman の対で、4 つのモジュール間でのバランシングを行っている可能性がある。この二段階制御で、細かい電圧制御をおこなっている可能性が高い。高電圧制御盤に搭載されている Robin・Batman の対は、図表 42 の中央左側の白枠で囲って示した。白枠内には、黄色星型、緑の丸型で、Robin と Batman の位置を示している。

上記のよう二段階制御する仕組みから、容量拡大が比較的簡単に実現できると推察される。モジュールを追加しても、各モジュールに BMS 基盤が搭載されているためセルバランシングの精度は変わらない。高電圧制御盤に搭載されている Robin・Batman が、4 つのモジュールの統合監視をしていると推察される。モジュール毎に設置されている Robin・Batman が、23～25 個の電位状態を監視している点から、集中制御側では 4 つ以上のモジュールを監視・制御するのは大きな問題にならないと我々は考える。例えば現在の 75kWh から倍増するのは、システム的には容易である。

図表 39 でオレンジ色の丸枠で確認出来るように、各モジュールの PCB の裏側に温度センサーが 6 つ搭載されている。今回の分解分析だけでは、温度センサーがどの部分に接続されているかは不明で、正確にバッテリー部分のどこを計測しているのかは、現時点では不明確である。ただしバッテリーは内部材料の化学反応を利用しているデバイスであり、温度によって反応速度が変わりやすい。このため温度の把握と管理が重要となり、PCB 基盤の設計から、Model 3 でも温度管理にも気が配られている点を確認出来た。

アクティブバランシング採用で、アナログ部品も多い

セルバランスは二段階で、モジュール毎に一回目、モジュールをまとめて二回目と推察される

モジュールを追加すればバッテリー容量拡大が、結構簡単にできる

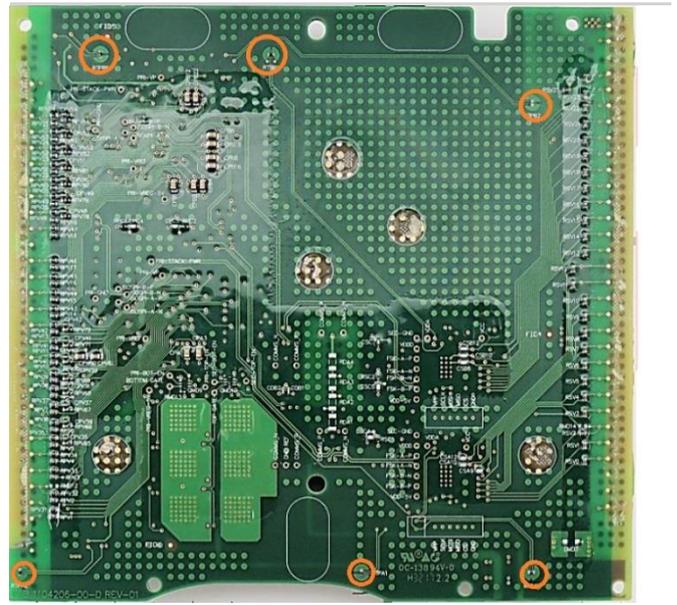
バッテリー温度も制御されている

図表 38: BMS の PCB (表)



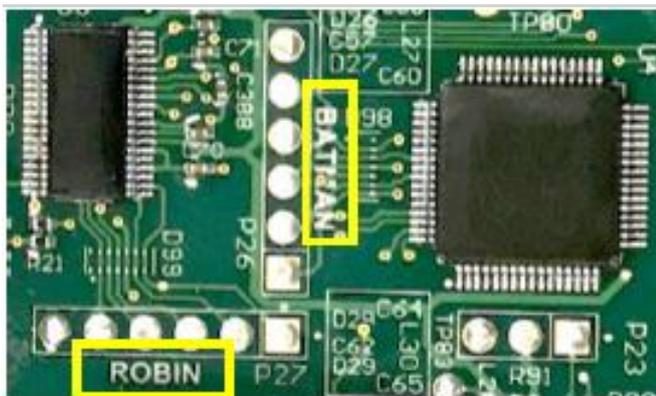
出所: UBS Evidence lab

図表 39: BMS の PCB (裏): オレンジは温度センサー



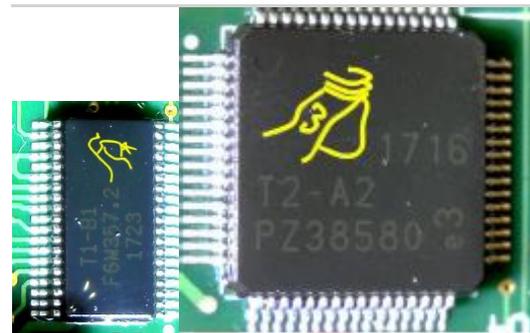
出所: UBS Evidence lab

図表 40: Robin と Batman チップの拡大写真



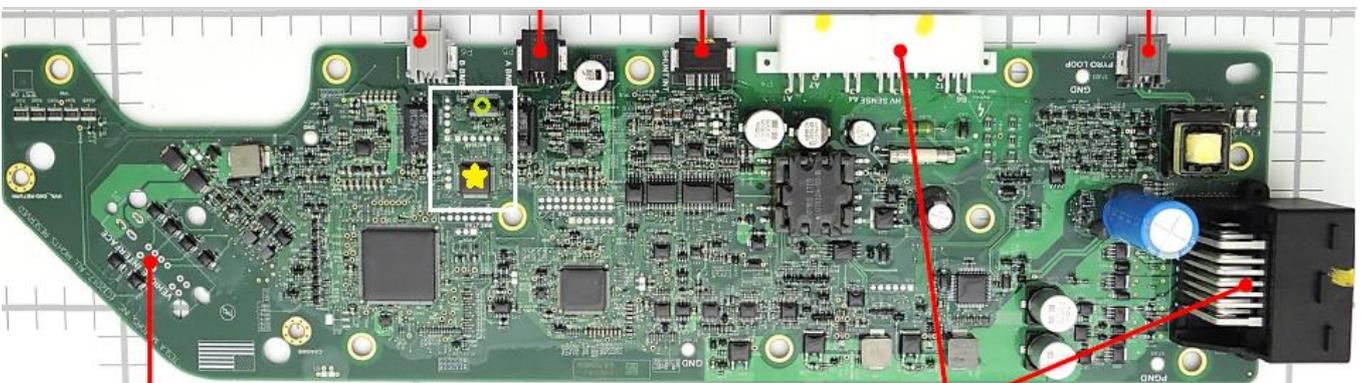
出所: UBS Evidence lab

図表 41: Robin と Batman チップの樹脂パッケージを外した写真 (Model 3 の刻印が見える)



出所: UBS Evidence lab

図表 42: 高電圧制御システム (白枠部分が、Robin と Batman)

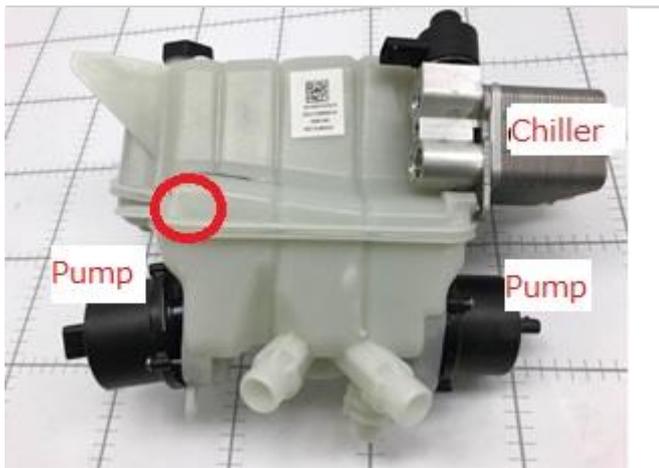


出所: UBS Evidence lab

冷却システムにも独自技術

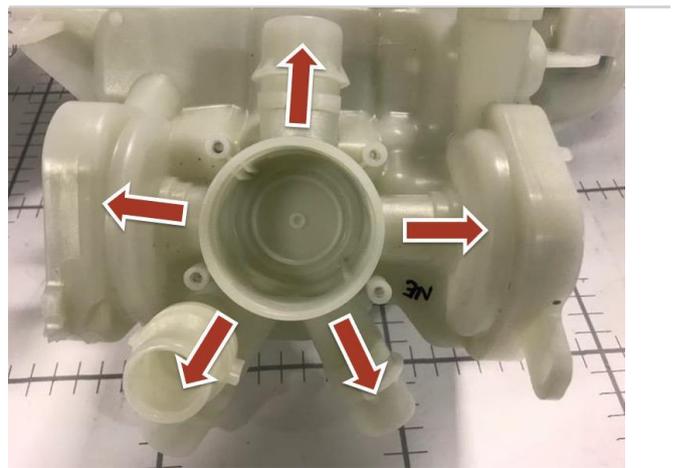
図表 43 で示されているのが、Model3 に組み込まれていた冷却装置(CR : Coolant Reservoir)である。図中に示される赤丸部分には、テスラ Model3 の刻印が刻まれており、自社開発したメッセージが込められている。通常であれば冷却材を貯める容器や冷却水を送り込むポンプなどがバラバラに接続されている機構であるが、Model3 では一つに纏められている。左右についている黒いポンプの開閉は電氣的に制御できるようになっている。そして中央部分からバルブが五方向に向かって出ている。CR は組バッテリーや電子機器に、温水を送って温めたり、冷水を送って熱を冷ましたりするシステムの中核部品である。図表 45 は冷やす時、図表 46 では温める時の流れを示している。温める時でも冷ます時でもラジエーターの役割は同じであるが、CR 内の回転機構の回転角度で 5 つのバルブから出る水を温水から冷水に切り替えたり、その逆に切り替えたり制御できる。このような統合システムを自社開発することで、(1) スペースの確保、(2) 重量削減、(3) 電氣的に一括制御が可能、などを実現していると推察される。

図表 43: 冷却材タンク (Coolant Reservoir)



出所 : UBS Evidence lab

図表 44: バルブ部分の拡大写真



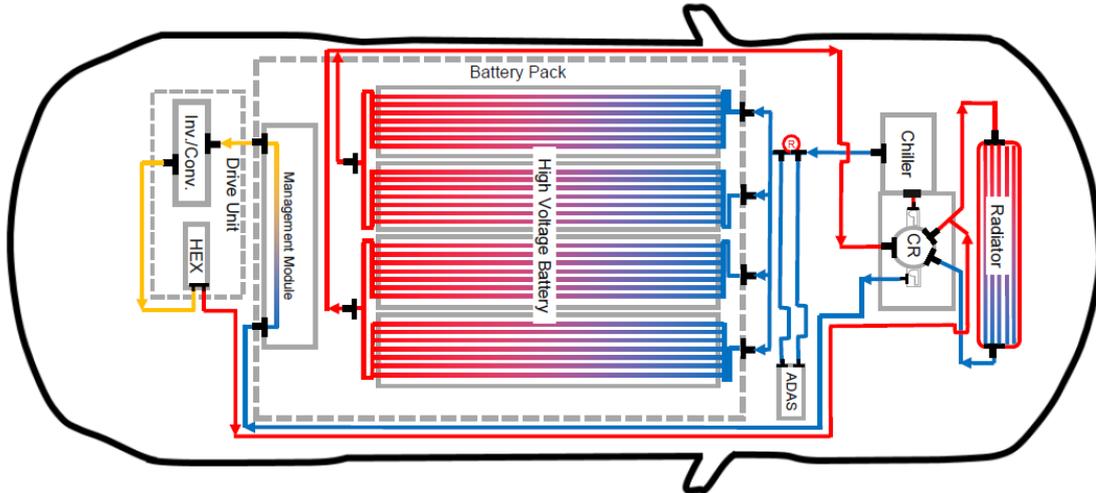
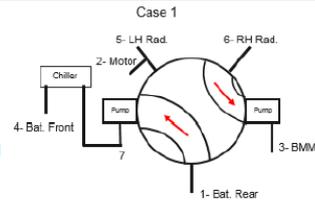
出所 : UBS Evidence lab

図表 45: 冷却時の動作

2018 Tesla Model 3 Coolant Diagram (Case 1 Cooling)

- - High Temp Coolant
- - Low Temp Coolant
- - Medium Temp Coolant
- CR - Coolant Reservoir w/valve (Super Bottle)
-  - Pump
-  - Restrictor

The coolant is routed through two paths: 1- for battery cooling via the chiller, 2- cooling electronics via the radiator.



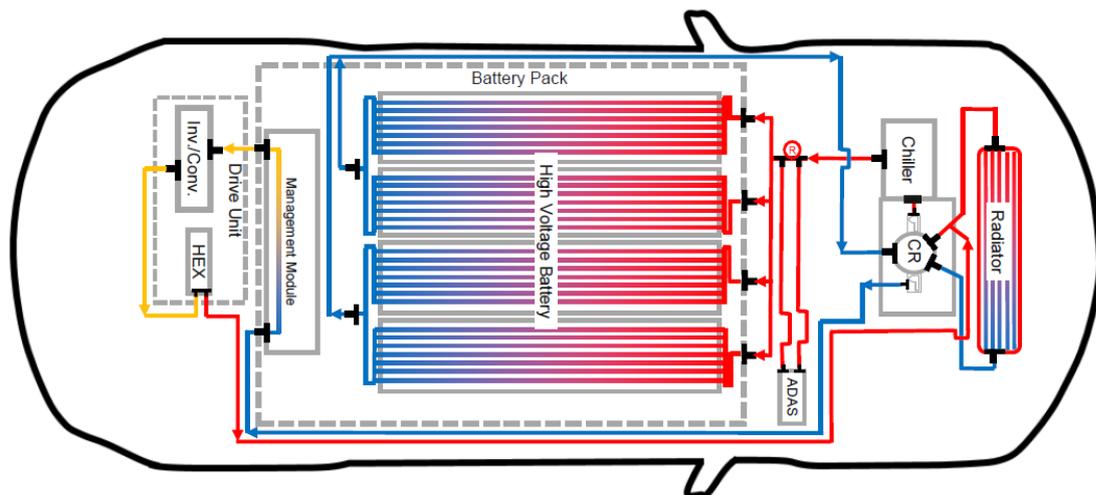
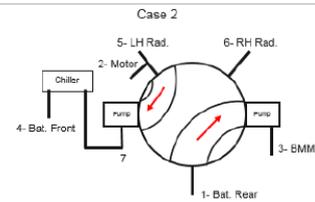
出所: UBS Evidence lab

図表 46: 温める時の動作

2018 Tesla Model 3 Coolant Diagram (Case 2 Heating)

- - High Temp Coolant
- - Low Temp Coolant
- - Medium Temp Coolant
- CR - Coolant Reservoir w/valve (Super Bottle)
-  - Pump
-  - Restrictor

The coolant is routed through a series path bypassing the radiator using heat from the electronics to heat the battery



出所: UBS Evidence lab

Chevy Bolt との比較

Model3 と Bolt の違いは、大きくは下記の 4 点である。(1) Model 3 は自社設計の半導体チップを使っているのに対して、Bolt は外部購入した半導体チップを採用、(2) バッテリー制御関連 MCU 個数は Model 3 の 18 個に対し、Bolt は 25 個と Bolt の方が多い、(3) MCU 搭載金額では Model 3 が\$72 で、Bolt の\$84 と大きく変わらない、(4) セルバランシングは Bolt では一段階、Model 3 のような二段階である可能性は低い、(5) 二重の監視システムを採用していないため、容量拡大に伴いセルバランシングの精度が落ちて性能劣化が早まる可能性が高い、などである。ただし半導体コストの推定は、ダイサイズなどから一般的なコストを試算しただけで、自社設計での開発費用負担などは度外視している。このためテストが負担している実費用との差異は大きい可能性がある。

違いはたくさんある

Bolt の BMS 基盤は、一カ所に集約されている(図表 47)。Model3 では、モジュール毎に 4 つ、高圧制御盤の一つで 5 カ所に分散しているのは好対照である。一方で電圧制御の対象数は、共に 96 個で同じである。60kWh の Bolt では、ラミネート型の大型バッテリー3 つを並列に接続して一つの Brick を継続して、この Brick を 96 個直列接続している。Bolt の場合は、この Brick を 10 個、10 個、10 個、10 個、8 個と並べて銀色の大きなボックスに入れて(図表 48)、ボックス 10 個から組バッテリーを形成している。

制御盤の観点では、Bolt は集約型、Model 3 は分散型

Bolt の制御盤に搭載されている半導体 IC(図表 49)は、下記通り大きく三つある。UBS の各半導体のコスト推定を、(1) LG/STM 品は\$5.0/個、(2) Freescale/NXP の 8bit-MCU は\$1.0/個、(3) 32bit-MCU は\$12/個としている。この結果合計では、(1) \$5.0×12 個、(2) \$1.0×12 個、(3) \$12×1 個で、合計\$84 と UBS では試算している。

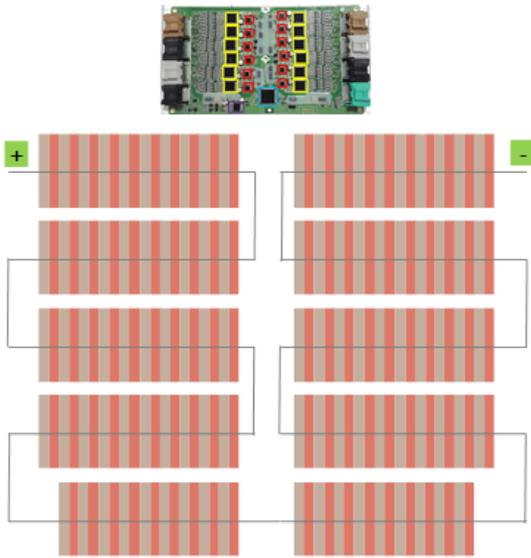
制御 IC ではバッテリー供給社の LG 製を採用している

(1) 図表中黄色の IC : バッテリーを供給している LG 化学が設計し、半導体企業の ST マイクロが製造。バッテリーパックの電圧・温度の監視、セルバランス命令を各バッテリーでの実行など。

(2) 図表中赤色 IC : Freescale/NXP 製の 8bit-MCU。電圧・温度データから充電率、電圧、電流の推定値試算など。

(3) 図表中青色 : Freescale/NXP の 32bit-MCU。バッテリーデータからセルバランスの試算・命令や、バッテリー以外とのシステムとの通信など。

図表 47: Bolt のバッテリーと制御盤配置



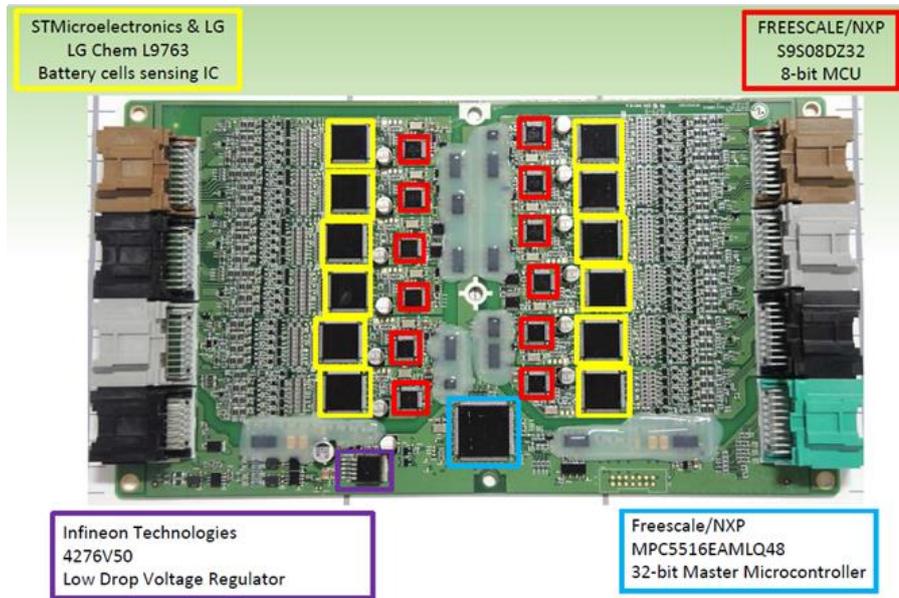
出所 : UBS Evidence lab

図表 48: Bolt 組バッテリーの写真



出所 : UBS Evidence lab

図表 49: BMS の PCB 基盤



出所 : UBS Evidence lab

テスラ BMS とその今後

テスラのバッテリー制御の仕組みは、採用したバッテリー特性の弱さをシステム全体で補完するものと言える。そしてその仕組みが、日々更新されて強化されている。異なるバッテリーでは異なる材料が採用されているため、どれを採用するかでバッテリー単体での特性で既に大きな違いが出る(図表 50、51)。さらにシステム全体特性が使用環境によってどのように変化するかは、実際使ってみないと分からない部分が多くなる。そしてバッテリー単体よりも、多数のバッテリーを組バッテリーにしたシステムは、特性差異がもっと生じやすくなる。

テスラバッテリーの特性上の特徴は、材料でも形状でも、エネルギー密度拡大を重視している点である。材料特性の選択はトレードオフがあり、ある特性を優先すれば、その他の特性では劣位を受け容れなければならない。具体的にはエネルギー密度、安全性(熱暴走温度が低いほど危険)、充電耐用回数、などである。テスラが採用している正極材料は、NCA(ニッケル・コバルト・アルミ)である。NMC(ニッケル・マンガン・コバルト)や LFP(リン酸鉄リチウム)との特性差異は図表 50、51 の通りである。NCA の特徴はエネルギー密度が高い点で、安全性や充電耐用回数では課題が多い。バッテリーの形状では、円筒型、角形、ラミネート型の三種類で、テスラは円筒型を選択している。円筒型の特徴は、安価、大容量、膨張性が少ない点である。

バッテリー材料変化で将来最も期待されている一つに、電解液に固体材料を使う全固体バッテリーがある。そしてこの際に、先述したセルバランシングで高い技術力が求められる可能性が高い。全固体バッテリーになった場合に予想されるプラス要因は、(1) 固体材料で揮発成分が少ないため発火しにくくなる、(2) エネルギー密度が高まる、(3) セル内に直列・並列の組バッテリー構造を組み込めるようになる、などの利点が多い。その一方で、固体であるため Li イオンの移動抵抗が高くなりやすく、また各電極と電解質との接触抵抗も高くなるため、結果としてリチウムイオンバッテリーよりも内部抵抗が高くなってしまふ。内部抵抗が高いと直列接続されたバッテリー間でバッテリー容量差が生まれやすくなるため、セルバランシングで高い技術が求められる。

システム全体として強化が日々更新される仕組み

材料・形状選択ではエネルギー密度を優先

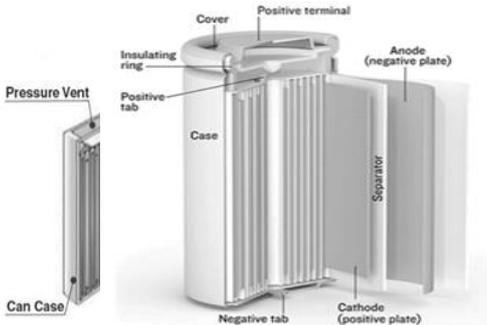
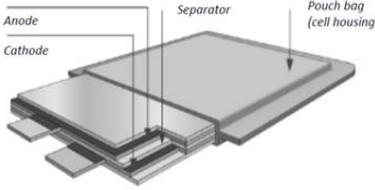
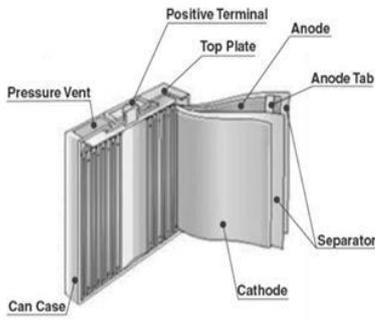
全固体バッテリーでは、テスラはさらに差別化できる可能性が高い

図表 50: 材料でのバッテリー特性の違い

	BMW i3	Bolt	Model 3	CATL BEV
サプライヤー	Samsung SDI	LG Chem	Panasonic	CATL
電流 (Ah)	94	60	4.8	70
電圧 (V)	3.65	3.65	3.65	3.65
消費電力 (Wh)	343.1	219	17.52	255.5
重量 (g)	2,026.40	835.4	68.5	1,250
セル数	96	288	4,416	--
電池容量 (kWh)	33	63	77	--
面積				
正極材 (cm2)	34,433	14,372	1,005	24,099
負極材 (cm2)	38,632	15,284	1,089	25,810
セパレーター (cm2)	45,223	15,599	1,136	29,159
電解液 (ml)	179	96	5.3	170
面積 / kWh				
正極材 (cm2)	100.36	65.63	57.36	94.32
負極材 (cm2)	112.6	69.79	62.16	101.02
セパレーター (cm2)	131.81	71.23	64.84	114.13
電解液 (ml)	0.52	0.44	0.3	0.67
材料				
正極材	NMC 111	NMC 622	NCA	HiNi
負極材	黒鉛	黒鉛	黒鉛	黒鉛
セパレーター	PP,PE,PPの三層構造	PE	PE	PE
電解液	LiPF6	LiPF6	LiPF6	LiPF6

出所 : P3, UBS

図表 51: 形状でのバッテリー特性の違い

	NCA / 円筒型	NCM / パウチ型	NCM / 角型
			
メーカー	パナソニック	LG Chem, SK Innovation	Samsung SDI, CATL
強み	<ul style="list-style-type: none"> 高エネルギー密度 低セルコスト 低パックコスト 技術成熟度が高い 	<ul style="list-style-type: none"> セルサイズが大きい 化学的安定性が高い エネルギー密度上昇の余地あり セルサイズ拡大の余地あり セル形状の自由度が高い 	<ul style="list-style-type: none"> セルサイズが大きい 化学的安定性が高い エネルギー密度上昇の余地あり セルサイズ拡大の余地あり 安全機構部品をより多く搭載
弱み	<ul style="list-style-type: none"> 化学的安定性に乏しい 小型かつ大量にセルが必要 高精度なBMSが必要 エネルギー密度上昇の余地が小さい セルサイズ拡大が難しい 	<ul style="list-style-type: none"> NCAよりも高セルコスト NCAよりも低エネルギー密度 製造の自動化が進んでいない 製造コストが高い 角型よりも安全性が低い 	<ul style="list-style-type: none"> NCAよりも高セルコスト NCAよりも低エネルギー密度 セル形状の自由度が低い 部品点数が多い 製造工程が複雑

出所：P3, UBS

テスラは、小さいバッテリーの生産をパナソニックに委託している以外は、自社設計でバッテリー制御用の半導体やソフト、インフラである充電器を構築してデータを蓄積している。バッテリーデータでは容量や温度変化、充電条件などを積み上げ、走行データであるアクセル・ブレーキ・外部温度などと組合せて、統計的に効率が高くなるバッテリー制御アルゴリズムを構築していると推察される。自社設計である充電器スーパーチャージャーを設置しており、これにより効率の良い充電方法、細かい温度制御、バッテリーの長寿命化などを実現していると推察される。バッテリーの充放電は、バッテリー内部でイオン化した物質から電子が移動する化学反応を利用している。温度が低いと電子が移動しにくく充電スピードが遅くなったり、温度が高すぎると電子の移動が激しくなったり抵抗が高くなったり、そもそも火災の危険度が高まったりする。

テスラは AWS のデータセンター向けに、蓄バッテリーシステムを提供している ([link](#))。アマゾンのデータセンターでの運用実績から、バッテリー管理をテスラは強化出来ている可能性がある。アマゾンのデータセンター構築の設計責任者である James Hamilton は、カリフォルニア州の自社のデー

充電設備、充電器、制御 IC、制御ソフトなどを全て自社開発

大規模データセンターのノウハウも活用できる

タセンターに 4.8MWh() の巨大な蓄バッテリーシステムを構築し、テスラと協業すると言及している。データセンターでは、蓄バッテリーシステムに限らず CPU や DRAM、エアコンなどの電力消費動作をビッグデータ管理している。この膨大なデータから深層学習を通して強化された AI 管理で、データセンターの効率運用化の実績を既に多数残している。この様なデータセンターでの大規模運用により、車の走行データだけでは得られない新しい発想や先端技術を導入したアルゴリズムをテスラは早期に入手できる可能性がある。

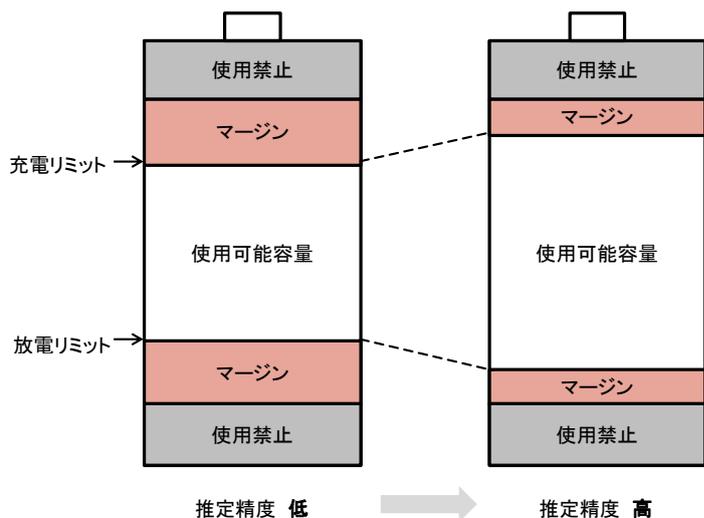
細かい制御を実現しているテスラは、安全マージンを少なくして充放電に使える容量を大きく出来る可能性もある。バッテリーを制御しているということは、バッテリーの充放電のデータを集められるということである。このビッグデータを活用してバッテリー特性の統計データを保有していると推察される。バッテリーは過放電や過充電すると、リチウムイオンが析出して外形が変化したり、熱が発生したりして安全性を維持出来なくなる。このため、過放電・過充電に陥る前に、安全マージンを持って充放電するように設計されている(図表 52)。そして充放電のスピードを正確に制御できるほど、この安全マージンを小さくして、実際に使えるバッテリー容量を大きく持てるようになる。

実際に 2017 年 9 月にハリケーン・イルマがフロリダ半島を襲った際に、テスラは当該地域の車慮保有者に対して、バッテリー容量を一時的に増やす無償アップグレードを無線通信から実行し航続距離を伸ばした過去がある。Model X と Model S のバッテリー容量を 60kWh から 75kWh に増やして、走行距離を 48km 増やした。この際に行われた処置は、安全マージンをなくしてバッテリー大容量のギリギリ最後まで放電するプログラムに変更されたと推察される(それでもゼロにはならないようには設定されたであろう)。

同じバッテリーでも他社よりも容量を大きく出来る可能性がある

ソフト制御で、一時的に容量拡大を実施した実績もある

図表 52: バッテリーの放電・充電マージン



出所: UBS

テスラ型 BMS についてのその他留意点

安全性(過去の火災事故例)

これまで Model S/X は複数回事故を起こしており、その際に炎がバッテリーに飛び移った場合、火災が拡大することが既に確認されている。これはバッテリー素材である NCA が発火しやすい材料である、根本的な問題である。Model S・X では液体グリコール材が熱伝導体としてバッテリー間を満たされている。今回の Model 3 では難燃性の粘着材料で各バッテリーが固定されているため、従来がたの Model S/X よりは燃えにくくなる工夫が凝らされていると見られる。

比較的燃えやすい材料であることは事実

保守サービスが難しくなる

Model 3 の搭載されている無数の丸バッテリーは全て、難燃性の接着剤で接続されている。このためバッテリー部の一部分だけを交換するのは難しいと想定される。この点は UBS レポートの [Lap3:Fit&Finish](#) でも指摘されている。ただし 75kWh モデルでは 4,416 本のバッテリーが接続されており、並列接続 46×直列 96 で構成される。このうちのバッテリー数本が壊れても大きな問題にはなり難く、交換はすぐには必要がない。何故ならば並列接続での本数変化は、バッテリー「容量」を変化させるもので、制御が必要な「電圧」は変化しないからである。並列接続 46 本のうち、例えば 10 本が不良品で並列 36 本となった場合でも、バッテリー特性上の電流・電圧は大きくは変化しない。

バッテリーが数本壊れても問題はない

事故などの理由から一部分だけが破壊されてしまうと、その一部分だけではなく、バッテリーモジュール全部の交換が必要となる。そして Bolt では 10 モジュール、Model 3 では 4 モジュール構成のため、モジュール交換では Model 3 の方が高価になろう。

交換はモジュール単位となるため高価になりそう

電源喪失でのリスク拡大

今回の分解分析から、テスラの電子制御技術の素晴らしさを確認出来た。あらゆるデータを集めて、システム全体としてバランスよくパフォーマンスが高まるような設計である。しかし一旦電源を失ってしまったり、不具合から電源からの供給が一時的遮断されたりすれば、安全機能や温度制御が起動しなくなる可能性がある。

電源がなくなったら電子制御が機能しなくなる

サイバーセキュリティ

車の通信網が発達すればするほど、サイバーセキュリティの問題が拡大する。更にオープンソフトウェア等の活用でソフト開発の共通化が進めば進むほど、リスクが高まる。悪質なソフトが通信網から侵入して、バッテリー制御プログラムが書き換えられたり、機能しなくなったりして、バッテリー容量が急激に劣化したり、またはバッテリーの変形や火災に繋がったりする可能性がある。

悪意のあるソフトは、ソフト共通化での問題

バリュエーション手法とリスク要因

リスクとして、自動車メーカーの最終需要の強まりや、競合の財務悪化、マクロ経済要因、需要変動とイールド悪化の際の過剰供給による供給逼迫などが挙げられる。高シクリカルセクターでは顧客センチメントの急変に対し脆弱である一方、多くの企業がコストベースが高く需要急減時に損失を出す可能性がある。世界経済の低迷と需要の偏在も自動車産業の主なリスク。その他の主要なリスクとして、EV 普及の進捗が遅いこと、バッテリーコストの低下が進まないこと、バッテリー原材料（コバルト、ニッケル）供給に関するリスク、生産能力拡大の齟齬、安全性に関する規制、ディーラーとの紛争、その他業務執行リスクが挙げられる。

必要とされるディスクロージャー

本稿は UBS AG 銀行の関連会社の UBS 証券株式会社が作成しました。本稿では UBS AG 銀行、子会社、支店ならびに関連会社は「UBS」とします。

UBS がコンフリクトを管理することで 調査プロダクトの独立性を保つ方法や、過去のパフォーマンス情報、UBS 調査部による投資判断に関する追加のディスクロージャーについての情報を入手したい場合は、www.ubs.com/disclosures を参照してください。尚、パフォーマンス・チャートの値等はいくまでも過去の実績であり、将来の動向等を示唆するものではありません。詳細につきましては当社連絡先までお問い合わせください。UBS Securities Co. Limited は、中国証券監督管理委員会より証券投資コンサルティング業務の免許を取得しています。UBS は当レポート上の債券（あるいは関連したデリバティブ商品）において主要な役割を務めています、あるいは務める可能性があります。この投資判断はグリニッジ標準時間 2018 年 8 月 28 日 午前 07 時 12 分現在のものであります。UBS は特定の調査部のメンバーをデリバティブ・リサーチ・アナリストに任命しており、主にデリバティブ商品の価格やマーケットの分析に関するリサーチレポートの発行、デリバティブ取引を行う際に参考となる情報の提供を行っています。株式アナリストやエコノミストとの共著においては、デリバティブ・リサーチ・アナリストがデリバティブ商品に関する見解や予想、投資判断の責任を負います。

アナリスト保証事項: この調査レポートの全体あるいは一部の内容に主に責任を持つ各アナリストは、このレポートで言及した各証券または発行者に関し、以下のことを保証します。(1) レポートに記載した全ての意見は、これらの証券または発行者に関するアナリスト自身の意見を正確に反映したものであり、UBS を含め他者からの影響を受けることなく作成されたものです。(2) アナリストの過去の、現在の又は将来の報酬のいかなる部分も、直接的、間接的を問わず、調査レポートの中にアナリストが記載し、又は今後記載する特定の投資判断や意見に関連するものではありません。

UBS Investment Research: グローバル・株式レーティング定義

12 ヶ月レーティング	定義	カバレッジ ¹	投資銀行 (IB) ²
Buy	FSR が MRA を 6% 超上回る	49%	26%
Neutral	FSR が MRA の -6% から +6%	38%	23%
Sell	FSR が MRA を 6% 超下回る	14%	14%
短期レーティング	定義	カバレッジ ³	投資銀行 (IB) ⁴
Buy	Buy: レーティングが付された日から 3 ヶ月以内に特定のカタリストもしくは出来事により株価上昇が見込まれる	1% 未満	1% 未満
Sell	Sell: レーティングが付された日から 3 ヶ月以内に特定のカタリストもしくは出来事により株価下落が見込まれる	1% 未満	1% 未満

出所: UBS. 2018 年 12 月 31 日現在。

1: UBS の世界的なカバレッジ企業のうち 12 ヶ月のレーティングのカテゴリーに含まれる企業の割合

2: 12 ヶ月のレーティングのカテゴリーに含まれる企業で過去 12 ヶ月間に投資銀行 (IB) サービスを提供した企業の割合

3: UBS の世界的なカバレッジ企業のうち短期のレーティングのカテゴリーに含まれる企業の割合

4: 短期のレーティングのカテゴリーに含まれる企業で過去 12 ヶ月間に投資銀行 (IB) サービスを提供した企業の割合

主要定義 FSR (Forecast Stock Return: 予想株式収益率): 今後 12 ヶ月間に予想される株価上昇率と配当利回りの合計。当該利回りは未払配当金に基づく場合あり。MRA (Market Return Assumption: 想定市場収益率): ローカルの 1 年物市場金利 + 5% (株式リスクプレミアムにほぼ相当)。Under Review (UR): アナリストは、投資判断やバリュエーションに影響を与える可能性のある出来事があった際、当該銘柄のレーティングを UR(*) とする場合があります (* により表示)。これは目標株価あるいはレーティングが近い将来変更される可能性のあることを示す。短期レーティング 短期 (最大 3 ヶ月) の予想パフォーマンスを反映しており、ファンダメンタルズや投資判断の変更を反映するものではない。目標株価 は今後 12 ヶ月の予想です。

例外および特殊ケース英国ならびに欧州の投資信託の投資判断と定義 : Buy : 仕組み、運営、パフォーマンス実績、ディスカウントなどの要因についてポジティブ。 Neutral : 仕組み、運営、パフォーマンス実績、ディスカウントなどの要因について中立。 Sell : 仕組み、運営、パフォーマンス実績、ディスカウントなどの要因についてネガティブ。
CBE (Core Banding Exceptions : 投資判断決定基準枠の例外) : IRC (Investment Review Committee : 投資検討委員会) は +/-6%の基準枠の例外を認めることができる。IRC は株価のボラティリティ、当該企業発行の社債のクレジットスプレッドなどの要因を考慮し、リスクが非常に高いもしくは低いと判断される銘柄について投資判断決定基準を緩和・厳格化する場合がある。こうした例外は、レポート末の「ディスクロージャー」の表にこの旨が明示される。

UBS Securities LLC の非米国関連会社のいずれかの従業員であり本レポートの作成に携わったリサーチアナリストは、FINRA のリサーチアナリストとして登録または資格を受けたものではありません。そのようなアナリストは UBS Securities LLC の Associated Person ではないため、リサーチ対象企業とのコミュニケーション、広報、リサーチアナリストの自己勘定による証券取引に関する FINRA のルールに基づく制約の対象となりません。各関連会社名、及び本レポートの作成に携わった同関連各社従業員であるアナリストを以下に記載します。

UBS 証券株式会社 : 安井 健二; 高橋 耕平; 土 雄一朗。 **UBS AG** : Patrick Hummel, CFA。 **UBS Securities LLC** : Colin Langan, CFA; Eric J. Sheridan; Timothy Arcuri。 **UBS AG London Branch** : David Mulholland, CFA。 **UBS AG Hong Kong Branch** : Paul Gong; Nicolas Gaudois; Tim Bush; Taewoo Lee。

会社ディスクロージャー

会社名	ロイター	12ヶ月のレーティング	短期のレーティング	株価	株価の日付
Alphabet Inc. ^{6, 7, 16, 22, 26}	GOOG. O	Buy	N/A	US\$1,173.02	2019年3月27日
Ford Motor Co. ^{7, 16}	F. N	Buy	N/A	US\$8.62	2019年3月27日
General Motors Company ^{6, 7, 16}	GM. N	Buy	N/A	US\$36.61	2019年3月27日
Tesla, Inc. ¹⁶	TSLA. O	Sell	N/A	US\$274.83	2019年3月27日
Volkswagen AG ^{7, 13}	VOWG. DE	Not Rated	N/A	€143.00	2019年3月27日
デンソー ⁷	6902. T	Neutral	N/A	¥4,395	2019年3月27日
トヨタ自動車 ^{7, 16}	7203. T	Neutral	N/A	¥6,623	2019年3月27日
パナソニック ⁷	6752. T	Neutral	N/A	¥965.9	2019年3月27日
ホンダ ^{7, 16}	7267. T	Buy	N/A	¥3,031.0	2019年3月27日
ルネサスエレクトロニクス	6723. T	Buy	N/A	¥539	2019年3月27日
三菱電機 ^{7, 14}	6503. T	Neutral	N/A	¥1,428.5	2019年3月27日
東芝	6502. T	Buy	N/A	¥3,535	2019年3月27日
日産自動車	7201. T	Sell	N/A	¥925.0	2019年3月27日
日立製作所 ^{3, 4, 5, 7}	6501. T	Buy	N/A	¥3,567.0	2019年3月27日
富士通	6702. T	Buy	N/A	¥7,912.0	2019年3月27日

出所 : UBS 株価は現地市場終値ベース

本表のレーティングは本稿発行直前の最新のレーティングであり、株価の日付よりも新しい場合がある。

- UBS 証券株式会社は、2018年12月17日に公表された日立製作所による ABB 社のパワーグリッド事業の買収に関し、日立製作所に対するアドバイザーとして活動しています。
- 過去12ヶ月の間に、UBS AG 銀行、その関連会社または子会社は、当該企業またはその関連会社から投資銀行業務に対する報酬を受けています。
- UBS AG 銀行、その関連会社または子会社は、今後3ヶ月の間に、当該企業より投資銀行業務に対する報酬を受ける予定があるか、または受けるべく活動しています。
- 当該企業は、現在または過去12ヶ月間に及び UBS Securities LLC のクライアントであり、投資銀行関連業務以外のサービスが提供されています、もしくは提供されていました。
- 過去12ヶ月の間に、UBS Securities LLC またはその関連会社は、当該企業またはその関連会社から投資銀行業務以外の商品やサービスに対する報酬を受けています。
- UBS AG 銀行、その関連会社または子会社は、前月末（当レポートの日付が前月末より10日以内である場合はそのさらに前月末）の時点で、当該企業の普通株式等を、実質的に1%以上保有しています。

14. UBS AG London Branch は、当該企業のブローカーとして活動しています。
16. UBS Securities LLC は、当該企業の証券及び／又は ADR に関して、マーケット・メイクを行っています。
22. UBS AG 銀行、その関連会社または子会社は、前月末（当レポートの日付が前月末より 10 営業日以内である場合はそのさらに前月末）の時点で、当該企業または事業体のその他の重要な財務上の持分を有しています。
26. 米国を拠点とするグローバル株式ストラテジスト、そのチーム・メンバー、またはそれら家族の一員は、Alphabet Inc の株式等を保有しています。

特別の指示がない限り、バリュエーション及びリスク要因につきましては、レポート中の各「バリュエーション」、「リスク要因」の項をご参照ください。本レポートで言及されている企業に関連して、バリュエーション、リスク等をはじめとする情報開示の全記述につきましては、〒100-0004 東京都千代田区大手町 1 丁目 5 番 1 号 大手町ファーストスクエア イーストタワー UBS 証券株式会社 調査本部 パブリケーションズまでお問い合わせください

金融商品取引法による業者概要及び手数料・リスク表示

商号等：UBS 証券株式会社、金融商品取引業者、関東財務局長（金商）第 2633 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、一般社団法人日本投資顧問業協会

UBS 証券株式会社における国内株式等の売買取引には、ウェルス・マネジメント本部のお客様の場合、約定代金に対して、最大 1.00%（税抜）、外国株式等の売買取引には、約定代金に対して最大 1.25%（税抜）の手数料が必要となります。ただし、金融商品取引所立会内取引以外の取引（店頭取引やトストネット取引等の立会外取引、等）を行う場合には、個別にお客様の同意を得ることによりこれらの手数料を超える手数料を適用する場合があります。この場合の手数料は、市場状況、取引の内容等に応じて、お客様と当社の間で決定しますので、その金額等をあらかじめ記載することはできません。インベストメント・バンク部門のお客様については、お客様ごとの個別契約に基づいて手数料をお支払いいただくため、手数料の上限額や計算方法は一律に定められておりません。国内株式等の売買取引では手数料に消費税が加算されます。外国株式の取引には国内での売買手数料の他に外国金融商品市場での取引にかかる手数料、税金等のお支払いが必要となります。国により手数料、税金等が異なります。株式は、株価の変動により損失が生じるおそれがあります。外国株式は、為替相場の変動等により損失が生じるおそれがあります。不動産投資信託は、組み入れた不動産の価格や収益力などの変化により価格が変動し損失が生じるおそれがあります。

UBS 証券株式会社において非上場債券（国債、地方債、政府保証債、社債）を当社が相手方となりお買付けいただく場合は、購入対価のみお支払いいただきます。債券は、金利水準の変動等により価格が上下し、損失を生じるおそれがあります。外国債券は、為替相場の変動等により損失が生じるおそれがあります。

グローバルディスクレマー

当資料はUBS AGの関連会社であるUBS証券株式会社によって用意されたものです。UBS AG、その子会社、支店および関連会社は以下UBSと総称します。

当資料はUBSにより明示的に許可された受領者に提供されます。受領を許可されていない場合はただちに本資料を破棄してください。

グローバルリサーチレポートは、UBS Neo、場合によりUBS.com、あるいはUBS NeoやUBS.com（それぞれ「システム」といいます）による一または複数のご連絡事項の中でグローバルリサーチレポートの配布手段として個別に承認を受けたものとして明示的に特定されるその他のシステム又は配信方法によりお客様に提供されます。または、第三者ベンダーにより提供され、UBS及び/または第三者により、eメールあるいはその他の電子媒体により配布される場合もあります。グローバルリサーチレポートによりお客様に提供するサービスの水準や種類は、お客様がご希望される受信頻度や通信手段、お客様のリスクプロフィールや投資目的、お客様の投資の視点（市場全般、セクター、長期、短期など）、お客様とUBSとのお取引関係の規模や範囲、法的制約・規制上の制約など、様々な要因により異なります。

すべてのグローバルリサーチレポートは、UBS Neoから入手できます。UBS NeoへのアクセスについてはUBS営業担当にご連絡ください。

システムからグローバルリサーチレポートの配布を受ける場合、お客様の同レポートへのアクセス及び利用は、当グローバルリサーチ・ディスクレマー及び該当するシステムの使用条件と共にUBS Neoプラットフォームの使用合意(“Neo規約”)により規律されます。

第三者のベンダー、eメール、その他の電子媒体によりグローバルリサーチレポートを入手されたお客様は、同レポートの利用が、当グローバルリサーチ・ディスクレマー、Neo規約及び該当する場合は、UBS Investment Bank terms of business (<https://www.ubs.com/global/en/investment-bank/regulatory.html>)及びUBSの「本ウェブサイトのご利用条件/ディスクレマー（責任に関する注意事項）」(<https://www.ubs.com/global/ja/legalinfo2/disclaimer.html>)により規律されていることに同意したものとします。また、UBSがお客様の個人情報及びCookieを当社の個人情報保護宣言(<https://www.ubs.com/global/ja/legalinfo2/privacy.html>)及びクッキーについての通知(<https://www.ubs.com/global/ja/homepage/cookies/cookie-management.popup.html>)に基づき処理、使用することにお客様が同意したものとしますのであわせてご了承ください。

システムを介して入手したかその他の媒体を介して入手したかを問わず、グローバルリサーチレポートを入手したお客様は、あらかじめ書面によりUBSの同意を得た場合を除き、同レポートの複写、編集、修正、同レポートを利用した派生的な文書等の作成、同レポートの第三者への提供、配布・送付、又は、グローバルリサーチレポートにより提供するUBSのリサーチ情報の商業的な利用をしないこと、そして、グローバルリサーチレポートなどにより提供されるリサーチ資料や評価・推測資料からデータを部分的に抽出しないこと、に同意頂いたこととなります。

当資料は、法により許容される場合のみ配布されます。当資料の配布、発行、入手可能な状態に置くこと又はその使用が法令に反することとなり、又は、UBSに登録や免許を必要とさせることとなるような地方、州、国その他管轄区の市民や住人に宛てられたり、同人らへの配布やその使用をさせることを意図したりするものではありません。

当資料は一般的な情報提供を目的としており、お客様自身の参考情報としてお役立ていただく性格のものであり、いかなる金融商品の売買や特定の取引戦略への参加に係る広告でも勧誘・申込等でもありません。当資料に含まれるいかなる内容も、何らかの投資戦略や推奨が、投資家の個々の状況に適合し、又は適切である旨の保証をするものではなく、個人的な推奨を示すものでもありません。当資料の提供を行ったからといって、フィデューシャリー（受託者その他の信頼関係にある者）その他の立場において投資助言を行う、又は行ったという責任や権限をUBSまたはその代表者が負う・保有するということとはございません。投資にはリスクが生じますので、投資の決定をする場合は慎重を期して、ご自身で判断ください。UBSやその代表者は本資料の受領者その他のいかなる人に対しても具体的な行動を取るよう、あるいは何らかの行動を取るよう提案しているものでもございません。当資料を受領したことにより、受領者は、上述されている当資料の意図する目的を承し同意していることとし、さらに本情報が受領者に対して投資助言の性質を有し、又は受領者の投資目的を満たす目的であるといった期待予想や考えを放棄するものとします。当資料に掲載されている金融商品は全ての法域において販売が認められるものではなく、又はある一定の投資家への販売が不適切となるものも含まれます。

オプション、ストラクチャード・デリバティブ商品および先物（店頭デリバティブを含む）は、全ての投資家にとって適切な商品とは言えません。これらの商品の取引にはリスクが伴うと考えられ、投資判断能力がある投資家のみ適切である場合があります。オプションを購入または売却する前に、オプションに関するリスク全般については「標準化オプションの特性とリスク」という資料を受領して下さい。当該資料は<http://www.theocc.com/publications/risks/riskchap1.jsp>で読むか、セールス担当者から受領することができます。これらの商品リスクについて、様々な理論的な説明が公表されています。諸説、比較、推奨、統計またはその他の技術的なデータの補完的な資料は当社連絡先までお問い合わせ下さい。過去の実績は必ずしも将来の結果を示唆するものではありません。スプレッドやストラドルなどのオプションの複数の購入や売却を伴うオプション取引戦略では、取引費用が高額になる場合があります。オプション取引では税制上の考慮が重要であるため、オプション取引を検討する投資家は、税金が取引の結果へどのような影響を及ぼすかについてご自身の税務アドバイザーと相談して下さい。

不動産担保証券及びその他の資産担保証券は高いリスクが伴い、金利やその他市場の変動に応じて、価格等が非常に不安定となることがあります。為替レートの変動は、当資料に記載されている証券その他の関連商品の時価、価格又は収益性に不利益に影響を与える場合があります。投資のアドバイス、お取引の執行、その他ご質問についてはご自身の現地営業担当者にご連絡ください。

投資や収益価値は上昇もすれば下落もします。投資家は投資した全額（または一部）の返還が保証されているものではありません。過去の実績は将来の実績を示すものではありません。UBSの役員・従業員又はその代理人は、本情報の一部又は全部の利用により生じるいかなる損失（投資による損失を含む）・損害についても責任を負いません。

投資決定や財務決定を行う前に、当資料あるいは本情報の受領者はリスクや投資効果を理解するための対策を講じたり、受領者個人の投資顧問、法律顧問、税務顧問、その他の専門家から、受領者の投資目的に係るあらゆる事実や状況を考慮に入れた、個人の状況に適した助言を求める必要があります。

当資料に表示されている価格は、お客様への情報提供のみを目的とし、個別の証券又はその他の金融商品の評価価値を表明するものではありません。そのような価格で取引が実際に成立する可能性がある、又は成立しえたことを表明したりするものではありません。いかなる価格もUBSの内部の帳簿や記録、又はモデルに基づいた理論的価値を必ずしも反映しているものではなく、ある一定の前提・仮定に基づいている場合があります。UBS又はその他の情報源により異なる前提・仮定がとられると、結果が著しく相違する場合があります。

当資料と関連する資料のいずれかに含まれる情報（「本情報」といいます。）の正確性、完全性及び信頼性については、UBSに関する情報を除き、明示・黙示を問わず、UBSは何ら表明・保証をするものではありません。本情報は当資料において参照されている証券、市場、市況についての完全な内容又は概要であることを意図して作成されたものでもありません。UBSは本情報を更新し常に最新の状態で維持することはしません。当資料に記載された意見は事前予告なしに変更される可能性があります。UBSの他の業務部門や事業グループ、役員、あるいはその他の代表者が表明する意見と相違または相反する可能性があります。当資料に含まれる第三者に起因する内容は当該第三者が公に又は購読サービスにより提供するデータ、情報及び/又は意見のUBSによる解釈であり、その利用や解釈は当該第三者による審査を受けていません。当資料あるいは当資料の情報（予想、価値、指数及びその他の算出された値（「評価値」といいます））は、いかなる場合においても以下の目的のために使用できません：

- (i) 価格評価あるいは会計処理
- (ii) 金融商品や金融契約の支払金や返済金額、価格あるいは価値の決定、また
- (iii) 金融商品のパフォーマンスの分析、運用益や運用実績の追跡及びポートフォリオの資産配分または運用益算出の目的を持って行う分析を含む

当資料及び本情報の受領者は、当資料及びいずれの本情報も上記に記載した目的のいずれのためにも使用しないこと、また当資料や本情報に依拠しない事をUBSに表明・保証したものとみなされます。

UBSは潜在的な利益相反や、UBS部門内や子会社、支店、関連会社間の情報の流れをコントロールするために、独立性に関する内部規則、インフォメーションバリア（情報隔壁）などを含む内部規則や手続を設けており、UBSは、これら内部規則や手続に依拠しています。UBSの利益相反管理やリサーチ成果の独立性の確保の方法、過去の実績情報、UBSのリサーチ推奨に関する追加の開示に関するさらなる情報はwww.ubs.com/disclosuresから入手できます。

リサーチの新規パレツジ、更新、中止は、UBS 調査部門のマネジメントの裁量により決定されます。UBS 調査部門のマネジメントは、その完全な裁量によりリサーチ発行の時期や頻度についても決定します。当資料に掲載されている分析は幾多の前提・仮定から成り立っています。バリュエーション手法、リスク要因、基礎的前提・仮定要因（これらの前提・仮定要因の感応度分析を含む）、過去のレーティングなどの公表されたリサーチレポートに関連する重要情報で Market Abuse Regulations により求められる全ての情報は、UBS Neo から入手できます。別の前提・仮定によっては著しく違う結果をもたらす場合があります。

当資料の執筆を担当するアナリストは、市場の情報の収集、活用、解釈の為にトレーディング及びセールス部門の従業員やその他の関係者と情報のやりとりをする場合があります。UBS は、インフォメーション・バリア（情報隔壁）に依拠して、UBS の一または複数のエリアに存在する情報の UBS の他のエリア、部門、ビジネスグループ又は関連会社との間の情報伝達を管理しています。当資料を執筆したアナリストの報酬は、調査部門のマネジメントとシニア・マネジメント（投資銀行部門を含みません）により独自に決定されます。アナリストの報酬は投資銀行部門の収益に基づいてはいたませんが、投資銀行、セールスやトレーディング部門から成る UBS 及び/あるいはその部門、また、UBS の子会社、支店、関連会社全体の収益に関連する場合があります。

EU 規制市場で取引を認められた金融商品について：UBS AG、その関連会社または子会社（UBS Securities LLC を除く）は、発行体の金融商品のマーケットメイカーやリクイディティプロバイダー（これらの用語の解釈は、英国法あるいは、英国以外の UBS が行っている場合は、その活動が行われていると UBS がみなす当該管轄の法規制に従う）として活動しますが、リクイディティプロバイダーの活動が他の EU の管轄の法規制によって与えられた定義に従って行われる場合は、それらの情報は当資料に別途開示されます。EU 以外の規制市場で取引を認められた金融商品について：UBS は発行体の金融商品のマーケットメイカーとして活動しますが、この活動が米国の管轄の法規制によって与えられた定義に従って行われる場合は、それらの活動は当資料に別途開示されます。UBS は、その価値が当資料に記載された金融商品の一つ又は複数に基づくようなワラントを既に発行している場合があります。UBS とその関連会社、従業員は当資料に記載されている金融商品又はデリバティブ商品のロング又はショート・ポジションを持ち、自己勘定取引を行い、及びその他売買を行っている場合があります。そうした取引又はポジションは、当資料に記載した意見と相違する場合があります。

過去 12 ヶ月の間に、UBS AG 銀行、その関連会社または子会社は、MiFID II に従った投資サービス、活動または付随サービスを受領または提供している可能性があり、当該企業からまたは当該企業へ、これらのサービスに関する支払または支払いの約束が生じている可能性があります。

グローバルリサーチが“UBS Evidence Lab Inside”を参照したり UBS Evidence Lab が提供したデータを使用することがありますが、UBS Evidence Lab はグローバルリサーチから独立した部門であり、リサーチや投資推奨、或いはアドバイスを提供するものではありません。

英国： 当資料は UBS AG, London Branch により、「適格カウンターパーティ (eligible counterparty)」及び「プロ顧客 (professional clients)」であるお客様向けに配布されています。UBS AG, London Branch は英国の the Prudential Regulation Authority に認可され、Financial Conduct Authority 及び the Prudential Regulation Authority に規制されています。**ヨーロッパ：** 以下に別途記載がない限り、当資料は UBS AG の子会社である UBS Europe SE により、「適格カウンターパーティ (eligible counterparty)」及び「プロ顧客 (professional clients)」(Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin) ルールと MIFID に説明されている) 向けに配布、作成されています。当該情報は、リテール顧客には当てはまらないので、参考にしないで下さい。UBS Europe SE は European Central Bank (ECB) に認可され、BaFin と ECB に規制されています。**フランス：** 当資料は UBS Europe SE により発行され、UBS Europe SE 及び UBS Securities France S.A. により配布されます。UBS Securities France S.A. は ACPR (Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution) 及び Autorité des Marchés Financiers (AMF) に規制されています。また、UBS Securities France S.A. のアナリストが当資料の発行に貢献した場合、当資料は UBS Securities France S.A. により発行されたともみなされます。**ドイツ、ルクセンブルグ、オランダ、ベルギー、アイルランド：** UBS AG, London Branch により発行され、UBS AG, London Branch 及び UBS Europe SE により配布されます。**スペイン：** 当資料は UBS Europe SE により発行され、UBS Europe SE 及び UBS Securities España SV, SA により配布されます。UBS Securities España SV, SA は Comisión Nacional del Mercado de Valores (CNMV) に規制されています。**トルコ：** UBS AG, London Branch により配布されます。本情報は、トルコ共和国内のいかなる資本市場商品やサービスの提供、取引及び売買を目的として提供されたものではありません。それ故、当資料はトルコ共和国の住民に対して為された又は為されている取引の申し出と見なされてはなりません。UBS AG, London Branch は資本市場法 (法第 6362 号) の条文によりトルコ資本市場委員会の免許を保有していません。そのためトルコ共和国内の居住者へ資本市場サービスを提供する際は、事前に資本市場委員会から承認なしに当資料も他の金融商品・サービスに関する取引資料も使用してはなりません。ただし、法第 32 条 15d(2) によりトルコ共和国居住者がトルコ国外で証券の売買をすることは規制されていません。**ポーランド：** Polish Financial Supervision Authority に規制されている UBS Europe SE (spolka z ograniczona odpowiedzialoscia) Oddzial w Polsce. により配布されます。UBS Europe SE (spolka z ograniczona odpowiedzialoscia) Oddzial w Polsce のアナリストが当資料の発行に貢献した場合、当資料は UBS Europe SE (spolka z ograniczona odpowiedzialoscia) Oddzial w Polsce により発行されたともみなされます。**ロシア：** UBS Bank (OJSC) により発行及び配布されます。**スイス：** 当資料は UBS AG により機関投資家のみにより配布されます。UBS AG は Swiss Financial Market Supervisory Authority (FINMA). により規制されています。**イタリア：** 当資料は UBS Europe SE により発行され、UBS Europe SE 及び UBS Europe SE Italy Branch により配布されます。また、UBS Europe SE Italy Branch のアナリストは当資料の発行に貢献した場合、当資料は UBS Europe SE Italy Branch により発行されたともみなされます。**南アフリカ共和国：** JSE の会員で認可された Financial Service Provider (FSP 7328) である UBS South Africa (Pty) Limited (登録番号 1995/011140/07) により配布されます。**イスラエル：** 当資料は UBS AG, London Branch により配布されます。UBS Securities Israel Ltd は Israel Securities Authority (ISA) の指導を受ける免許を保有する Investment Marketer です。UBS AG, London Branch 及びイスラエル国外で設立された関係会社はイスラエル投資助言法の免許を保有していません。UBS AG, London Branch はイスラエル投資助言法の管轄下にある免許者による保険が適用されません。UBS は手数料や他の利益のために特に金融資産の発行や他の発行体の金融資産の分配に従事する可能性があります。UBS AG, London Branch とその関係会社は、Affiliation (イスラエル投資助言法で定義される) がある、またはある可能性がある金融資産を選択する可能性があります。当資料の内容のいずれも、イスラエル投資助言法の投資助言とみなすべきではありません。当資料はイスラエル投資助言法で意味する Eligible Clients にのみ発行及び又は向けられたもので、当資料はそれ以外の人間が依拠または行動してはなりません。**サウジアラビア：** 当資料は、スイスで設立・上場されている株式会社で Aeschenvorstadt 1, CH-4051 Basel and Bahnhofstrasse 45, CH-8001 Zurich がその登録住所である UBS AG (及び若しくはその子会社、支店又は関係会社) により発行されました。サウジアラビア王国で設立された Saudi closed joint stock company (登録番号は 1010257812) で Tatweer Towers, P.O. Box 75724, Riyadh 11588, Kingdom of Saudi Arabia を登録住所とする、UBS Saudi Arabia (UBS AG の子会社) が配布を承認しています。UBS Saudi Arabia は免許番号 08113-37 で Capital Market Authority より認可及び規制を受けて証券業務を行っています。**アラブ首長国連邦 / ドバイ：** UBS AG ドバイ支店で配布されている情報は Professional クライアントおよび / または市場、DFSA rulebook の下で分類された計数のみを対象としています。この材料 / 通信時に、他の人が行動する必要があります。されている情報は、アラブ首長国連邦内でさらに配布用ではありません。UBS AG、ドバイでの支店開設は、DFSA で DIFC (で規制されています)。UBS は、UAE 中央銀行、UAE でのバンキングサービスを提供するには、ライセンスされていません。また、UAE 証券・商品機関にライセンスされています。**米国：** 当資料は米国人に対しては主要米国機関投資家に限り、UBS Securities LLC 若しくは UBS Financial Services Inc. (いずれも UBS AG の子会社) 又は、米国のブローカー／ディーラーとして登録されていない UBS AG の子会社若しくは関連会社 (「非米国関連会社」) により配布されます。UBS Securities LLC 又は UBS Financial Services Inc. は、自らが米国人に当資料を配布する際、他の非米国関連会社で作成した当資料の内容について責任を持ちます。当資料で言及された証券に関する米国人による取引はすべて UBS Securities LLC 又は UBS Financial Services Inc. を通じて行われなければならない、非米国関連会社を通じての取引はできません。UBS Securities LLC は、Securities Exchange Act Section 15B (“Municipal Advisor Rule”) に定義されている Obligated person もしくは地方自治体のアドバイザーではありません。また、当資料に含まれた意見等は、Municipal Advisor Rule に定義される advice に該当するものではありません。**カナダ：** 当資料はカナダの登録投資業者で CIPF のメンバーである UBS Securities Canada Inc. 又はカナダで事業をする登録をしているか若しくは登録が免除されている UBS AG の別の関係会社によって配布されます。**メキシコ：** 当レポートは UBS Grupo Financiero, S.A. de C.V. の構成員であり、UBS AG の子会社である UBS Casa de Bolsa, S.A. de C.V., UBS Grupo Financiero によって配布・作成されます。当資料は機関投資家または投資判断能力がある投資家向けです。リサーチレポートは、当レポートの担当アナリストの見解が反映されています。アナリストは UBS Casa de Bolsa, S.A. de C.V., UBS Grupo Financiero または同グループに属している子会社以外からはいかなる報酬も得ていません。当開示のスペイン語約は www.ubs.com/disclosures でご覧下さい。**ブラジル：** 以下に別途記載がない限り、当資料は UBS Brasil CCTVM S.A. により、ブラジル在住の適格投資家であるお客様向けに配布されています。ブラジル在住の適格投資家とみなされるのは、主に 2013 年 11 月 13 日の CVM 規則 539 号 (顧客の属性に対して商品、サービス、取引の適正を確認する義務を定めたもの) で指定された Investidores Profissionais とされるものです。**香港：** 当資料は UBS Securities Asia Limited 及び若しくは UBS AG, Hong Kong Branch により配布されます。当資料または分析に関するお問い合わせは免許 / 登録を受けている UBS Securities Asia Limited または UBS AG, Hong Kong Branch の現地担当にご連絡ください。**シンガポール：** 当資料は UBS Securities Pte. Ltd (MCI (P) 009/09/2018 及び Co. Reg. No.: 198500648C) 又は UBS AG, Singapore Branch により配布されます。当資料に関するお問い合わせは、UBS Securities Pte. Ltd (Singapore Financial Advisers Act (Cap. 110) exempt financial advisor) 又は Monetary Authority of Singapore の管轄下にある UBS AG Singapore Branch (Singapore Financial Advisers Act (Cap. 110)

exempt financial advisor 及び Singapore Banking Act (Cap. 19) a wholesale bank) までお願いします。当資料の受領者は Securities and Futures Act (Cap. 289)に定義される「accredited investor」及び「institutional investor」である事を表明保証します。**日本**：当資料は UBS 証券株式会社によって特定投資家のみ(特に認められている場合を除き)に配布されます。当資料が UBS 証券株式会社により作成された場合は、UBS 証券株式会社が著作者、発行者、配布者になります。また、当資料は外国為替やその他銀行業務に関連する場合に、UBS 銀行東京支店によって特定投資家のお客様(別途認められた場合を除く)に配布されます。**オーストラリア**：UBS AG の顧客：UBS AG (ABN 47 088 129 613 と Australian Financial Services License No. 231087 を取得)により配布されます。UBS Securities Australia Ltd の顧客：UBS Securities Australia Ltd (ABN 62 008 586 481 と Australian Financial Services License No. 231098 を取得)により配布されます。当資料に含まれるのは一般的な情報及び/あるいは一般的な助言のみであり、一個人のための金融商品の助言ではありません。当資料の内容は特定の受領者の投資目的、財産状況あるいは必要性を考慮することなく用意されたものです。投資家は本情報に基づき行動する前に情報の確性、自身の目標、財政状況及び必要性について考慮する必要があります。もし本情報が買取に関連し、又はプロダクトの開示書類が要求される Corporations Act 2001 のセクション 761G で定義される“個人”投資家の金融商品の潜在的な買取に関係する場合は、当該個人投資家はその金融商品を買付けるか否かの決定をする前に関連する商品開示書類を入手し考慮する必要があります。“The UBS Securities Australia Limited Financial Services Guide”は www.ubs.com/ecs-research-fsg より入手する事ができます。**ニュージーランド**：当資料は UBS New Zealand Ltd により配布されます。UBS New Zealand Ltd は、ニュージーランドで登録された銀行ではございません。当資料はニュージーランドの金融アドバイザー法(Financial Advisers Act 2008 of New Zealand)第 5 条 C に規定される“ホールセール顧客”(認定顧客(Permitted Client))であると申し出のあったお客様に提供されています。当資料は、認定顧客以外の顧客(non-permitted Clients)に対する提供を意図したものではありません。認定顧客以外の顧客(non-permitted Clients)に該当するお客様にあつては、当資料を参考にされませんようお願い致します。本忠告に関わらず当資料を参考されようとするお客様にあつては、(i) 当資料を参考にしてはいけない旨、かつ、当資料で提供されている推奨や意見はお客様に対する提供を意図したものである旨を同意されているものとし、(ii) 法によって認められる最大限の範囲において(a) お客様の独自の判断で当資料を参考にしたことにより被った損失、損害、負債、請求に関して、UBS とその子会社あるいは関連会社(及びその取締役、従業員、代理人、アドバイザー)(それぞれ「関係者」)は免責である旨(b) お客様の独自の判断で当資料を参考にしたことにより被った損失、損害、負債、請求に関してお客様が「関係者」に対して保有するあらゆる権利や救済を放棄する旨を同意されているものとします。**韓国**：当資料は UBS Securities Pte. Ltd., Seoul Branch により国内に配布されます。UBS Securities Pte. Ltd., Seoul Branch の関係会社は当資料を適宜編集し、又は当資料の発行に貢献することがあります。当資料はプロ顧客・機関投資家向けのみで作成されており、個人投資家への配布を意図しておりません。**マレーシア**：当資料は UBS Securities Malaysia Sdn. Bhd (Capital Markets Services License No.: CMSL/A0063/2007) による国内での配布が認められています。当資料はプロ顧客・機関投資家向けのみで作成されており、個人投資家への配布はされません。**インド**：UBS Securities India Private Ltd. (会社識別番号 U67120MH1996PTC097299、住所：2/F, 2 North Avenue, Maker Maxity, Bandra Kurla Complex, Bandra (East), Mumbai (India) 400051、電話番号：+912261556000) により配布されました。同社は、SEBI 登録番号 NSE (資本市場部門)：INB230951431、NSE (F&O 部門) INF230951431、NSE (通貨デリバティブ部門) INE230951431、BSE (資本市場部門) INB010951437 のもとで証券業務に、SEBI 登録番号：INM000010809 のもとでマーチャントバンキングサービスに、SEBI 登録番号：INH000001204 のもとで調査サービスにたずさわっています。UBS AG、ならびにその関連会社、子会社は、当該インド企業の債務を保有することがあります。過去 12 か月間において、UBS AG、ならびにその関連会社、子会社は、当該インド企業から非投資銀行証券関連サービスあるいは非証券サービスに対し報酬を受け取った可能性があります。当該インド企業は、投資銀行/非投資銀行証券関連サービスあるいは非証券サービスに関わる調査レポートの発行前 12 か月の間に、UBS AG、ならびにその関連会社、子会社の顧客であつた可能性があります。共同出資者に関する情報については、年次報告書(http://www.ubs.com/global/en/about_ubs/investor_relations/annualreporting.html) を参照してください。台湾：当資料は Taiwan Securities and Futures Bureau に規制されている UBS Securities Pte. Ltd., Taipei Branch により配布されます。**インドネシア**：当資料は PT UBS Sekuritas Indonesia によって発行され、マーケティングやセールスを含むライセンスを持った従業員によって顧客に配布されます。登録オフィスを Wisma GKBI, 22nd floor, Jl. Jend. Sudirman, kav.28, Jakarta 10210, Indonesia に持つ PT UBS Sekuritas Indonesia は、UBS AG の子会社であり、1995 年の Capital Market Law 第 8 号によるライセンスを受けています。また、Capital Market and Financial Institution Supervisory Agency(現 Otoritas Jasa Keuangan/OJK) により発行されたブローカーディーラー及び証券引受会社のライセンスを保有しています。PT UBS Sekuritas Indonesia はインドネシア証券取引所のメンバーでもあり、Otoritas Jasa Keuangan (OJK) の管轄にあります。当資料または当資料のコピーを Indonesian capital market laws and regulations に従う場合をのぞき、インドネシア国内やインドネシア国民に再配布してはいけません。当資料はインドネシアにおいて有価証券を勧誘しているものではありません、また Indonesian capital market laws and regulations で規定する勧誘行為に当てはまるようであれば、インドネシア共和国の領土内あるいはインドネシア国民に配布してはいけません。

UBS AG, London Branch あるいは UBS Europe SE が作成したリサーチ資料に含まれるディスクロージャーは英国法に準拠します。

当資料の全て、またはいかなる部分についても UBS の書面による承諾なしに再配布することを禁じ、この点に関し、いかなる場合でも UBS は当資料や当資料内容の再配布あるいは第三者からの訴訟に対して何ら責任を負わず、またいかなる問合せにも応じかねます。当資料に描写されている画像等は、第三者の著作権、商標その他の知的財産権の対象として保護されることがあります。© UBS 2019. UBS とその鍵のシンボルは登録されている、いなく関わらず UBS の商標です。当資料の著作権は UBS に帰属します。

